

DIN EN 13121-3

ICS 23.020.10

Ersatz für
DIN EN 13121-3:2008-09**Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter –
Teil 3: Auslegung und Herstellung;
Deutsche Fassung EN 13121-3:2008+A1:2010**

GRP tanks and vessels for use above ground –
Part 3: Design and workmanship;
German version EN 13121-3:2008+A1:2010

Réservoirs et récipients en PRV pour applications hors sol –
Partie 3: Conception et fabrication;
Version allemande EN 13121-3:2008+A1:2010

Gesamtumfang 236 Seiten

Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA) im DIN
Normenausschuss Tankanlagen (NATank) im DIN

Nationales Vorwort

Diese Norm (EN 13121-3:2008+A1:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 210 „GFK Tanks und Behälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird. Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. war hierfür der Gemeinschaftsausschuss „GFK Tanks und Behälter“ des Normausschusses Chemischer Apparatebau (FNCA) und des Normausschusses Tankanlagen (NA Tank) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13121-3:2008-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Korrektur der Gleichung (14);
- b) im Anhang ZA „Europäische Gemeinschaft“ durch „Europäische Union“ ersetzt.

Frühere Ausgaben

DIN EN 13121-3: 2008-09

Deutsche Fassung

Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter — Teil 3: Auslegung und Herstellung

GRP tanks and vessels for use above ground —
Part 3: Design and workmanship

Réservoirs et récipients en PRV pour applications hors sol —
Partie 3: Conception et fabrication

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 21. April 2008 angenommen und schließt Änderung 1 ein, die am 11. Januar 2010 vom CEN angenommen wurde.

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 des CEN 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, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, 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: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen.....	8
3 Begriffe	10
4 Symbole und Abkürzungen.....	11
5 Bereitzustellende und zu dokumentierende Angaben und Anforderungen.....	13
5.1 Allgemeines.....	13
5.2 Dem Hersteller bereitzustellende Unterlagen.....	13
5.3 Vom Hersteller vorzulegende Unterlagen	14
5.4 Abschließende Dokumentation.....	14
6 Werkstoffe	15
6.1 Allgemeines.....	15
6.2 Chemieschutzschicht.....	15
6.3 Entflammbarkeit	16
6.4 Elektrischer Widerstand	16
7 Mechanische Eigenschaften	16
7.1 Allgemeines.....	16
7.2 Wärmeformbeständigkeitstemperatur	16
7.3 Laminataufbau	16
7.4 Einzelschichtdicke	18
7.5 Lamineigenschaften.....	18
7.6 Interlaminare Schubfestigkeit	18
7.7 Schälfestigkeit	19
7.8 Ermittlung der physikalischen Eigenschaften der Werkstoffe und der zulässigen Auslegungsfaktoren	19
8 Ermittlung von Auslegungsdehnung und -belastungen	24
8.1 Allgemeines.....	24
8.2 Zulässige Auslegungsdehnung	25
8.3 Zulässige Belastungen des Laminats	26
8.4 Auslegung des Laminats	26
8.5 Laminatdicke.....	27
9 Auslegung	27
9.1 Einführung.....	27
9.2 Bestimmung der äußeren Belastungen	28
9.3 Zeichnungen und Konstruktionsberechnungen	29
9.4 Berechnungsgrößen	30
10 Entwurfsauslegung	30
10.1 Symbole und Einheiten.....	30
10.2 Stehende Behälter oder Tanks, Zylinder unter Last ($t < 0,01 D$)	32
10.3 Zylinderschalen unter Druckbelastung — Kritische Beulkriterien.....	34
10.4 Kegelschalen	38
10.5 Gewölbte Böden	44
10.6 Runde ebene Böden.....	46
10.7 Rundnähte	57
10.8 Öffnungen, Abzweige und Verstärkungslaminat	60
10.9 Ebene Platten	70
10.10 Rechteckige Tanks	80
10.11 Liegende Behälter	83

11	Geschraubte Flanschverbindungen.....	98
11.1	Allgemeines	98
11.2	Vollflächige Flansche (mit vollflächigen Dichtungen).....	104
11.3	Flansche mit Bund und Metall-Stützring	109
11.4	Vorgeformte Flansche	112
11.5	Stumpf und fest verbundene Flansche.....	113
11.6	Flansche mit Bund und nicht metallischem Stützring	113
12	Auflager.....	114
12.1	Allgemeines	114
12.2	Stehende Tanks.....	114
12.3	Auflager und Halterungen für Behälter.....	114
12.4	Erdbebenlasten	120
12.5	Konstruktionsberechnung für Verankerungen von Tanks und Behältern.....	120
13	An- und Einbauteile	122
13.1	Allgemeines	122
13.2	Innen liegende An- und Einbauteile	122
13.3	Außen liegende An- und Einbauteile.....	122
13.4	Hebevorrichtungen	123
14	Berücksichtigung von Punktlasten	123
14.1	Allgemeines	123
14.2	Symbole	123
14.3	Berechnung der Kraft- und Momentenresultierenden	123
14.4	Berechnung von Laminatdehnungen	124
15	Qualitätskontrolle.....	124
15.1	Allgemeines	124
15.2	Anforderungen an die Produktionsstätten.....	125
15.3	Vom Hersteller zu erstellende Dokumentation	126
15.4	Fertigung.....	133
15.5	Prüfungen nach Abschluss der Fertigung	135
15.6	Experimentelles Konstruktionsprüfverfahren.....	137
16	Standortgefertigte Tanks und Behälter	139
16.1	Allgemeines	139
16.2	Auslegung.....	139
16.3	Fertigung.....	139
16.4	Prüfung.....	140
17	Kennzeichnung.....	140
Anhang A (informativ) Produktprüfung für die Serienproduktion oder die Fertigung von Losen		141
A.1	Erst-Typprüfung (ITT)	141
A.2	Stichprobenprüfung.....	141
A.3	Prüfdokumente und -bescheinigungen	143
Anhang B (informativ) Ableitung der Laminatkennwerte von den Kennwerten der Laminatschichten.....		144
B.1	Allgemeines	144
B.2	Schicht-/Laminatdicke	144
B.3	Laminatmoduln.....	145
B.4	Bestimmung der Biegesteifigkeit des Laminats	146
B.5	Bestimmung der Laminatdehnungen aus den Lastresultierenden	146
Anhang C (normativ) Druck- und Dichtheitsprüfung.....		148
C.1	Allgemeines	148
C.2	Offene Tanks und Behälter	148
C.3	Geschlossene Tanks und Behälter	149
C.4	Flüssigkeitsdruckprüfung	149

Anhang D (normativ) Prüfverfahren.....	150
D.1 Allgemeines.....	150
D.2 Glühverlust.....	150
D.3 Schweißnahtfestigkeit bei thermoplastischen Kunststoffen.....	150
D.4 Biegeversuch an Schweißverbindungen bei thermoplastischen Kunststoffen	151
D.5 Bestimmung der Einheitszugfestigkeit bei Bruch von Laminaten.....	153
D.6 Einheitszugmodul von Laminaten	154
D.7 Interlaminare Schubfestigkeit von Laminaten.....	156
D.8 Bestimmung der interlaminaren Schubfestigkeit der Verbindung zwischen thermoplastischer Auskleidung und Laminat oder zwischen Laminatschichten	157
D.9 Schälfestigkeit der Verbindung zwischen Laminatschichten.....	160
D.10 Prüfung des Kurzzeit-Kriechverhaltens bei Biegebeanspruchung.....	160
D.11 Barcol-Härte	163
D.12 Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit.....	163
D.13 Reststyrolgehalt (Polyesterharze)	163
D.14 Acetonprüfung für Polyesterharze	163
D.15 Hochspannungsprüfung thermoplastischer Schweißnähte	163
D.16 Zeitstand-Kriechverhalten bei Biegebeanspruchung.....	164
D.17 Gummihärte.....	166
D.18 Prüfung des Flammpunktes	166
D.19 Prüfung der Wärmeformbeständigkeit.....	166
D.20 Biegefestigkeit von Laminaten.....	166
Anhang E (normativ) Zulassungsprüfung für Laminierer.....	167
E.1 Allgemeines.....	167
E.2 Prüfung von Laminierern.....	167
E.3 Durchführung.....	167
E.4 Probekörper	168
E.5 Prüfung der Probekörper.....	168
E.6 Mindestanforderungen für die Zulassung	169
E.7 Prüfbescheinigung	169
E.8 Geltungsdauer und Erneuerung der Bescheinigung.....	169
E.9 Geltungsbereich	170
Anhang F (normativ) Zulassungsprüfung für Schweißer	171
F.1 Allgemeines.....	171
F.2 Anforderungen für die Prüfung.....	172
F.3 Durchführung.....	172
F.4 Probekörper	173
F.5 Prüfung der Probekörper.....	173
F.6 Mindestanforderungen für die Zulassung	174
F.7 Prüfbescheinigung	174
F.8 Geltungsdauer und Erneuerung der Bescheinigung.....	174
F.9 Geltungsbereich	174
Anhang G (informativ) Beanspruchung durch Punktlasten — Berechnungsverfahren	176
G.1 Allgemeines.....	176
G.2 Punktlasten an Druckbehälterschalen	176
Anhang H (informativ) Auslegungsverfahren für gewickelte Lamine	204
H.1 Allgemeines.....	204
H.2 Eigenschaften fadengewickelter Lamine	205
H.3 Auslegungsverfahren.....	207
H.4 Instabilität in Längsrichtung	210
Anhang I (normativ) Technische Anforderungen für Formflansche	216
I.1 Allgemeines.....	216
Anhang J (informativ) Schalen unter Windlast mit Werten nach Vorschriften für Metall.....	218
J.1 Symbole.....	218

Anhang K (informativ) Auslegung von liegenden Behältern.....	223
K.1 Allgemeines	223
K.2 Änderung des Dehnungswertes für Behälter auf starrem Sattel	223
K.3 Liegende Behälter auf zwei durchgehenden Längsträgern.....	228
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EG-Richtlinie 97/23/EG	232
Literaturhinweise.....	233

Vorwort

Dieses Dokument (EN 13121-3:2008+A1:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 210 „GFK-Tanks und -Behälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis August 2010, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis August 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument enthält die Änderung A1, und wurde vom CEN am 2010-01-11 angenommen.

Dieses Dokument ersetzt EN 13121-3:2008.

Anfang und Ende der durch die Änderung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch Änderungs-
marken **A1** **A1** angegeben.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EG-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EG-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

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

Einleitung

Die Europäische Norm EN 13121 besteht aus den folgenden Teilen mit dem gemeinsamen Titel „*Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter*“:

- Teil 1: Ausgangswerkstoffe — Spezifikations- und Annahmebedingungen
- Teil 2: Verbundwerkstoffe — Chemische Widerstandsfähigkeit
- Teil 3: Auslegung und Herstellung (diese Norm)
- Teil 4: Auslieferung, Aufstellung und Instandhaltung

In diesen vier Teilen sind die Verantwortlichkeiten der Hersteller der Tanks bzw. Behälter sowie die für deren Fertigung zu verwendenden Werkstoffe festgelegt.

Teil 1 dieser Norm enthält die Anforderungen und Annahmebedingungen für die Ausgangswerkstoffe — Harze, Härter, thermoplastische Auskleidungen, Verstärkungs- und Zusatzwerkstoffe. Diese Anforderungen sind erforderlich, um die nach Teil 2 ermittelten Eigenschaften der chemischen Widerstandsfähigkeit sowie die nach Teil 3 bestimmten thermischen, mechanischen und Auslegungsmerkmale festzulegen. Gemeinsam mit den nach Teil 3 bestimmten Grundsätzen für die Bauausführung stellen die Anforderungen und Annahmebedingungen für die Ausgangswerkstoffe sicher, dass Tank bzw. Behälter den konstruktiven Anforderungen entsprechen. Teil 4 dieser Norm enthält Empfehlungen für die Auslieferung, Handhabung, Aufstellung und Instandhaltung von GFK-Tanks und -Behältern.

Bei der Auslegung und Fertigung von GFK-Tanks und -Behältern kommen eine Vielzahl verschiedener Ausgangswerkstoffe wie Harze, Thermoplaste und Verstärkungsfasern sowie eine Reihe verschiedener Fertigungsverfahren zum Einsatz. Es wird davon ausgegangen, dass Tanks und Behälter nach dieser Norm nur von fachkundigen und entsprechend ausgerüsteten Herstellern gefertigt und dabei Ausgangswerkstoffe qualifizierter und erfahrener Hersteller verwendet werden.

Für die Auslegung von Metallbehältern und Behältern aus anderen isotropen, homogenen Werkstoffen können die zulässigen Beanspruchungen aufgrund der gemessenen Zug- und Verformbarkeitsmerkmale berechnet werden. GFK ist dagegen ein laminarer Werkstoff, der durch den fortlaufenden Auftrag einzelner Verstärkungsschichten hergestellt wird. Es gibt daher viele mögliche Kombinationen von Verstärkungsarten, die die baulichen Anforderungen jedes beliebigen Einzelfalls erfüllen. Der Entwickler kann somit die Laminatkonstruktion auswählen, die am besten für die vorhandenen Fertigungsanlagen geeignet und somit auch am kostengünstigsten ist.

Bei der Betrachtung eines mehrschichtigen GFK-Aufbaus wird angenommen, dass die Glasverstärkung dem Werkstoff die notwendige Steifigkeit und Festigkeit verleiht, um mechanischen Belastungen standzuhalten. Da der Anteil der Glasverstärkung in der Regel mithilfe der Masse ausgedrückt wird, wird bei der Bestimmung der mechanischen Eigenschaften die flächenbezogene Masse des Glases (m) anstelle der Dicke betrachtet und daher die Begriffe Last und Modul durch die Einheitsspannung (u) und den Einheitsmodul (X) ersetzt, die in Tabelle 1 definiert sind.

ANMERKUNG Für die Umrechnung einer Einheitslast bzw. eines Einheitsmoduls in eine Last bzw. einen Modul, können U und X einfach durch t geteilt werden, wobei t die massenbezogene Dicke des Glases je Flächeneinheit der Schicht bzw. des Laminats ist.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm enthält Anforderungen an die Auslegung, Fertigung, Prüfung sowie die Nachweise für oberirdische GFK-Tanks und -Behälter mit oder ohne thermoplastische Auskleidung, die im Werk oder auf der Baustelle gefertigt und drucklos oder bis zu 10 bar druckbeaufschlagt sind und zur Lagerung oder Verarbeitung von Fluiden dienen.

Die Begriffe Behälter und Tank im Sinne der vorliegenden Europäischen Norm umfassen auch Abzweige bis zur Verbindung mit Rohrleitungen oder anderen Anlagenteilen, wie Verschraubungen, Stützen, Halterungen und andere Anbauteile, die unmittelbar mit der Schale verbunden sind. Diese Europäische Norm verlangt neben den festgelegten Anforderungen auch, dass die in Abschnitt 5 angegebenen Unterlagen vollständig dokumentiert werden.

Die vorliegende Europäische Norm gilt für Behälter und Tanks, die Temperaturen zwischen -40 °C und $+120\text{ °C}$ ausgesetzt sind.

ANMERKUNG Es ist möglich, dass aufgrund der Entwicklung auf dem Gebiet der Harztechnologie Tanks und Behälter zukünftig für Betriebstemperaturen über $+120\text{ °C}$ geeignet sind. Sollte diese Situation eintreten, und ein Hersteller will sich diese Entwicklungen zu Nutze machen, haben alle anderen Anforderungen der Norm weiterhin Gültigkeit, die Konstruktion der betreffenden Tanks und Behälter muss jedoch nach dem unter 7.8.2 aufgeführten Verfahren erfolgen.

Die vorliegende Europäische Norm gilt nicht für:

- Tanks und Behälter für den Transport von Fluiden;
- unterirdische Lagertanks;
- kugelförmige Behälter;
- Behälter und Tanks mit unregelmäßiger Form;
- Tanks und Behälter mit doppelter Sicherheitshülle;
- Tanks und Behälter, die bei Explosion oder Undichtheit die Emission radioaktiver Strahlungen zur Folge haben können;
- einteilige und mehrteilige oberirdische faserverstärkte Tanks für die Lagerung von Kaltwasser (siehe EN 13280:2001).

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 aller Änderungen).

EN 59, *Glasfaserverstärkte Kunststoffe — Bestimmung der Härte mit dem Barcol-Härteprüfgerät*

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

EN 1993-1-2, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*

EN 1993-1-3, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten*

EN 13121-1:2003, *Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter — Teil 1: Ausgangsmaterialien — Spezifikations- und Annahmebedingungen*

EN 13121-2:2003, *Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter — Teil 2: Verbundwerkstoffe — Chemische Widerstandsfähigkeit*

EN 13121-4:2005, *Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter — Teil 4: Auslieferung, Aufstellung und Instandhaltung*

EN 13923, *Fadengewickelte Druckbehälter aus textilfaserverstärkten Kunststoffen — Werkstoffe, Konstruktion, Herstellung und Prüfung*

EN ISO 75-2, *Kunststoffe — Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur — Teil 2: Kunststoffe und Hartgummi (ISO 75-2:2004)*

EN ISO 291, *Kunststoffe — Normalklimate für Konditionierung und Prüfung (ISO 291:2005)*

EN ISO 527-4, *Kunststoffe — Bestimmung der Zugeigenschaften — Teil 4: Prüfbedingungen für isotrop und anisotrop faserverstärkte Kunststoffverbundwerkstoffe (ISO 527-4:1997)*

EN ISO 527-5, *Kunststoffe — Bestimmung der Zugeigenschaften — Teil 5: Prüfbedingungen für unidirektional faserverstärkte Kunststoffverbundwerkstoffe (ISO 527-5:1997)*

EN ISO 899-1, *Kunststoffe — Bestimmung des Kriechverhaltens — Teil 1: Zeitstand-Zugversuch (ISO 899-1:2003)*

EN ISO 899-2, *Kunststoffe — Bestimmung des Kriechverhaltens — Teil 2: Zeitstand-Biegeversuch bei Dreipunkt-Belastung (ISO 899-2:2003)*

EN ISO 1172, *Textilglasverstärkte Kunststoffe — Prepregs, Formmassen und Laminate — Bestimmung des Textilglas- und Mineralfüllstoffgehalts — Kalzinierungsverfahren (ISO 1172:1999)*

EN ISO 2592, *Mineralölerzeugnisse — Bestimmung des Flamm- und Brennpunktes — Verfahren mit offenem Tiegel nach Cleveland (ISO 2592:2000)*

EN ISO 3915, *Kunststoffe — Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes von leitfähigen Kunststoffen (ISO 3915:1999)*

EN ISO 7500-1, *Metallische Werkstoffe — Prüfung von statischen einachsigen Prüfmaschinen — Teil 1: Zug- und Druckprüfmaschinen — Prüfung und Kalibrierung der Kraftmesseinrichtung (ISO 7500-1:2004)*

EN ISO 9513, *Metallische Werkstoffe — Kalibrierung von Längenänderungs-Messeinrichtungen für die Prüfung mit einachsiger Beanspruchung (ISO 9513:1999)*

EN ISO 14125:1998, *Faserverstärkte Kunststoffe — Bestimmung der Biegeeigenschaften (ISO 14125:1998)*

ISO 48, *Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 IRHD)*

ISO 4901, *Reinforced plastics based on unsaturated polyester resins — Determination of residual styrene monomer content*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Hersteller

Unternehmen, das den Behälter oder Tank entsprechend der vorliegenden Europäischen Norm auslegt, fertigt und prüft

3.2

Käufer

Unternehmen oder Person, das bzw. die den fertig gestellten Behälter oder Tank kauft und die Prozessanforderungen festlegt

3.3

zugelassene Prüfstelle

Körperschaft oder Vereinigung, die prüft, ob Konstruktion, Werkstoffe und Bauausführung mit der vorliegenden Europäischen Norm übereinstimmen

3.4

Behälter

geschlossener Hohlkörper, der einem Über- oder Unterdruck mit oder ohne Flüssigkeitsdruck ausgesetzt ist, einschließlich der Stutzen bis zur ersten Flanschverbindung

3.5

Tank

Hohlkörper zur Lagerung von Flüssigkeiten, der ausschließlich dem Flüssigkeitsdruck ausgesetzt und zur Atmosphäre frei belüftet ist, einschließlich der Stutzen bis zur ersten Flanschverbindung

3.6

Laminat

glasverstärkter Harzformstoff

3.7

Oberflächenschicht

dünne Harzschicht an der Oberfläche eines Laminats mit oder ohne Textilglas- oder Synthetikvliesverstärkung

3.8

Härtung

chemische Reaktion, bei der das polymerisierte Laminat erzeugt wird

3.9

thermische Nachbehandlung

Erwärmung zum Abschließen der Polymerisation

3.10

maximal zulässiger Druck

P_S

höchster Druck, für den das Gerät nach Angaben des Herstellers ausgelegt ist

3.11

Differenzdruck

Druckdifferenz zwischen beiden Seiten eines Bauteils

3.12

Auslegungsdruck

P_D

Druck, der zur Berechnung der Auslegung eines Bauteils dient

3.13

höchste/niedrigste zulässige Temperatur

TS

Höchst- bzw. Mindesttemperatur, für die das Gerät nach Angaben des Herstellers ausgelegt ist

3.14

Prüftemperatur

Temperatur, bei der die Druckprüfung an dem Gerät vorgenommen wird

3.15

Prüfdruck

TP

der Druck, bei dem der Tank oder Behälter geprüft wird

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die in allen Abschnitten und Anhängen verwendeten sowie in Tabelle 1 angegebenen Symbole und Abkürzungen.

Weitere Symbole sind, soweit erforderlich, in den betreffenden Abschnitten erklärt.

Tabelle 1 — Norm-Symbole und Abkürzungen

Symbol	Einheit	Definition
<i>A</i>	mm	Abstand
<i>a</i>	mm	Abmessung
<i>b</i>	mm	Abmessung
<i>d</i>	mm	Durchmesser
<i>D</i>	mm	Innendurchmesser des Tanks oder Behälters
Δ	—	Differenz
<i>E</i>	N/mm ²	Elastizitätsmodul = $\frac{X}{t}$
ε	%	Dehnung
<i>F</i>	—	Auslegungsfaktor gegen Beulversagen
ϕ	°	halber Kegelwinkel
Θ	°	Umschlingungswinkel des Auflagers
<i>g</i>	m/s ²	Erdbeschleunigung
<i>h</i>	mm	Innenhöhe des gewölbten Bodens
<i>H</i>	mm	Höhe des Kegels
<i>I</i>	mm ⁴	zweites Trägheitsmoment
<i>k</i>	—	Korrekturfaktor
<i>K</i>	—	Gesamtauslegungsfaktor
<i>l</i>	mm	Länge
<i>L</i>	mm	Gesamtlänge
<i>m</i>	kg/m ²	Masse je Flächeneinheit
<i>M</i>	Nmm	Biegemoment

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Definition
u	N/mm	Einheitslast = Last/Breite
ν	—	Poissonzahl
P	N	direkt einwirkende Last
p	N/mm ²	Druck
Q	N	Schubkraft
r	mm	Krempenradius
R	mm	Radius
ρ	kg/m ³	Dichte der Flüssigkeit
σ	N/mm ²	Last = $\frac{U}{t}$ und $\frac{q}{t}$
t	mm	Dicke
τ	N/mm ²	Schublast
T	°C	Temperatur
TS	°C	Auslegungstemperatur
zul. U_{Lam}	N/mm	zulässige Einheitslast des Laminats
U	N/mm je kg/m ² Glas	massenbezogene Einheitszugfestigkeit des Laminats (UTUS)
V	m ³	Volumen
W	kg	Masse
x	—	Koordinate in Längsrichtung
X	N/mm	Einheitsmodul = Last/Breite × Dehnung
X_i	N/mm je kg/m ² Glas	Einheitsmodul der Schicht je kg/m ² Glas bei Zugbeanspruchung
q	N/mm	Einwirkende Einheitslast

Abkürzungen		
CSM	—	Matte, Wirrfaserlage
ECTFE	—	Ethylen-Chlortrifluorethylen-Copolymerisat
zul.	—	zulässig
FEP	—	fluoriertes Ethylen-Propylen-Copolymerisat
FU	—	Furanharz
FW	—	Wickellage
HDT	°C	Wärmeformbeständigkeitstemperatur
IRHD	°	internationaler Gummihärtegrad
ln	—	natürlicher Logarithmus
PF	—	Phenolformaldehydharz
PFA	—	Perfluoralkoxid-Copolymerisat

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Abkürzungen		
PP-B	—	Polypropylen, Blockpolymerisat
PP-H	—	Polypropylen, Homopolymerisat
PP-R	—	Polypropylen, Randompolymerisat
PVC-U	—	Polyvinylchlorid, weichmacherfrei
PVDF	—	Polyvinylidenfluorid
UP	—	ungesättigtes Polyesterharz
VE	—	Vinylesterharz
WR	—	Rovinggewebe
CRL	—	chemikalienbeständige Schicht, siehe EN 13121-2
VL	—	Vliesschicht, siehe EN 13121-2
TPL	—	thermoplastische Auskleidung, siehe EN 13121-2
Supp.	—	Auflager
Lam	—	Laminat
S.G	—	spezifische Erdbeschleunigung (relative Dichte)
OD	—	Außendurchmesser
ID	—	Innendurchmesser

5 Bereitzustellende und zu dokumentierende Angaben und Anforderungen

5.1 Allgemeines

Die maßgebenden Anforderungen, die in der gesamten Norm festgelegt sind, und die Dokumentation müssen erfüllt werden, bevor ein Anspruch auf Übereinstimmung mit dieser Norm erhoben und bestätigt werden kann.

5.2 Dem Hersteller bereitzustellende Unterlagen

Der Hersteller muss vom Käufer oder dessen Vertreter ausreichende Angaben erhalten, um die Auslegung, die Bauausführung und (sofern erforderlich) die Risikobewertung ausführen zu können.

- Einzelheiten über die als Beschickungsgut vorgesehenen Fluide;
- Auslegungsdruck (oder Unterdruck) und Auslegungstemperatur sowie Prüfanforderungen;
- Betriebsbedingungen;
- Einzelheiten zu etwaigen zusätzlichen Belastungen (Personal/Bewegung des Behälterinhalts usw.);
- Anforderungen an die Aufstellung;
- gegebenenfalls bereits verfügbare Angaben über die Eignung von Harzen oder Thermoplasten für die vorgegebenen Bedingungen;
- alle geometrischen Eigenschaften von vorgestellten Produkten und erforderlichen Füllungen;
- geltende Vorschriften, z. B. Gesetze, Rechtsverordnungen und Erlasse;
- Bedingungen am Aufstellungsort, einschließlich Umgebungsbedingungen, unter Angabe von Extremtemperaturen und Zusatzlasten, z. B. durch Wind, Schnee, Erdbeben und zugehörige Rohrleitungen.

5.3 Vom Hersteller vorzulegende Unterlagen

Vor Beginn der Fertigung muss der Hersteller technische Unterlagen mit Berechnungen, Zeichnungen und einer Bauspezifikation anfertigen, die bei Bedarf zur Verfügung zu stellen sind.

Diese Spezifikationsunterlagen müssen mindestens folgende Angaben enthalten:

Gewölbte Böden: Lagenaufbau, Kalottenradius, Innenradius der Krempe, Kugeltorusform und die Mindest-Wanddicke.

Mantelschale: Lagenaufbau, Wanddicke, Durchmesser.

Flansche (einschließlich Blindflansche): Typ, Norm und Nenndruck nach Tabelle 20 und 21; bei nicht genormten Flanschen: Mindestdicke, Bohrungen, Innen- und Außendurchmesser, Abmessungen des Flanschansatzes und Angaben zur Dichtfläche.

Dichtungen: Typ, Nenngößen, Werkstoff, Dicke, Innen- und Außendurchmesser und Angaben zum Dichtungssitz.

Abzweige, Stutzen, Ausläufe: Der Lagenaufbau, Abmessungen wie Wanddicke und Außendurchmesser. Darüber hinaus das Verfahren des Zusammenbaus, ggf. festzulegende Lasten, Lage der Ausschnitte zueinander.

Verstärkungen: Angaben zu Stutzen, Auflagerungen, Hebeösen usw.

Deckel, Einstiegsöffnungen: Lagenaufbau, Abmessungen, einschließlich Mindestdicke, Schraubenlöcher und Lochkreisdurchmesser.

Kegelförmige Abschnitte: Lagenaufbau, Mindestdicke und gerade Länge der Kegelschale, einschließlich Öffnungswinkel, ggf. Krepfenradius zur Schale; Durchmesser an beiden Enden der Kegelabschnitte.

Auflager (liegender Behälter): Anzahl der Sättel, Abmessungen, einschließlich Grundplatte. Angaben zum Untergrund: Abstand von der Wölbungskante des Bodens bis zur Auflagermitte, Abstand zwischen den Auflagern sowie Höhe der Behältermittelachse über der Grundplatte.

Auflager (stehender Behälter): Abmessungen der Standzarge, einschließlich Durchmesser, Höhe, Wanddicke, Lagenaufbau sowie Art der Verbindung mit Schale oder Boden; bei Verwendung der Standfüße: Anzahl, Dicke der Verstärkungsrippen, Höhe usw., Innen- und Außendurchmesser des Tragrings, Innen- und Außendurchmesser, Anzahl und Teilung der Befestigungsschrauben.

Hebeösen: Anzahl, Dicke, Außendurchmesser, Hebewinkel, Abmessungen der Ösen, Lage der Ösen, Angaben zum Anbaulaminat.

Ebene Platten: Lagenaufbau; Länge, Breite und Dicke der Versteifungen, sofern vorhanden, Teilung, Anzahl.

Einbauten: Halterungen, Auflager von Böden usw.

Toleranzen: Zusätzliche spezielle Toleranzen, die über die in Bild 34a) geforderten hinausgehen.

Flachböden: Die Anforderungen an die Verwendung von Flachböden müssen EN 13121-4 entsprechen.

Befestigungen für Leitern/Zugangsplattformen und andere Anbauten: Angaben zur Art der Anbringung und Ausführung des Anbaulaminats.

5.4 Abschließende Dokumentation

Die abschließende Dokumentation muss den Anforderungen in 15.3 entsprechen.

6 Werkstoffe

6.1 Allgemeines

Die für die Herstellung von Tanks und Behältern nach dieser Europäischen Norm verwendeten Werkstoffe müssen den Anforderungen von EN 13121-1 entsprechen.

Die Empfehlungen des Lieferanten zur Verwendung der Ausgangswerkstoffe sind zu befolgen. Farbstoffe dürfen nicht verwendet werden, es sei denn, sie sind für die äußere Harzschicht oder zur Einhaltung der Anforderungen in 6.3 und 6.4 erforderlich.

Thixotropiermittel dürfen in begrenztem Umfang verwendet werden, vorausgesetzt, sie beeinträchtigen weder die Sichtprüfung (siehe Tabelle 23) noch die in EN 13121-2 geforderten chemischen und mechanischen Eigenschaften des ausgehärteten Harzes.

6.2 Chemieschutzschicht

6.2.1 Allgemeines

Die Chemieschutzschicht ist entsprechend den Anforderungen von EN 13121-2 auszuwählen. Chemieschutzschichten bleiben bei Festigkeits- und Stabilitätsberechnungen unberücksichtigt.

6.2.2 Thermoplastische Auskleidungen

Thermoplastische Auskleidungen werden nach EN 13121-2:2003, 4.4 als TPL bezeichnet, und die Mindestdicke des Auskleidungswerkstoffs muss Tabelle 2 entsprechen.

Tabelle 2 — Dicke von Tafeln und Rohren aus Thermoplasten

Werkstoffe	Tafeldicke mm	Rohrwanddicke mm
PVC-U	3,0 bis 4,5	3,0 bis 4,5
PVDF	3,0 bis 6,0	2,4 bis 4,0
PP-H, -B, -R	3,0 bis 6,0	3,0 bis 6
ECTFE	min. 1,7	min. 1,7 bis 4,0
FEP	min. 1,7	min. 1,7 bis 4,0
PFA	min. 1,7	min. 1,7 bis 4,0

6.2.3 Auskleidungen auf Harzbasis

Wird eine Auskleidung auf Harzbasis als Chemieschutzschicht eingesetzt, muss die Wahl der zu verwendenden Schutzschicht für alle Anwendungen sowie die zugehörige Dicke den jeweiligen Abschnitten von EN 13121-2 entsprechen.

Ist die Schutzschicht als einzelnes Schutzsystem ausgelegt, in den Abschnitten von EN 13121-2 als (SPL) bezeichnet, darf das Oberflächenvlies (VL) entweder aus C-Textilglas, Synthetikvlies, Kohlefasern oder E_{CR}-Glas bestehen.

Nach der Vliesschicht (VL) ist/sind die nachfolgende(n) Wirrfaser- oder Spritzfaserlage(n), die einen Fasergehalt von 25 % bis 35 % (Massenanteil) haben muss/müssen, vor dem Härten aufzubringen.

Ist die Schutzschicht ein Harzschichtsystem, in EN 13121-2:2003, 3.1 als RL bezeichnet, muss die Dicke der Schutzschicht zwischen 0,3 mm und 0,7 mm betragen.

6.3 Entflammbarkeit

Bei Bedarf muss die Ausführung der äußeren Schicht(en) derart geändert werden, dass die Merkmale der Flammenausbreitung den Anforderungen entsprechen.

ANMERKUNG Am Aufstellungsort des Tanks oder Behälters können örtliche oder nationale Brandschutzbestimmungen gelten, die zu berücksichtigen sind.

6.4 Elektrischer Widerstand

In Fällen, in denen eine elektrostatische Aufladung zu Problemen führen kann, darf bei Prüfung nach Verfahren D.12 der Oberflächenwiderstand nicht mehr als $10^6 \Omega$ oder der spezifische Durchgangswiderstand der fluidberührten Flächen des Tanks oder Behälters nicht mehr als $10^6 \Omega\text{m}$ betragen.

7 Mechanische Eigenschaften

7.1 Allgemeines

Die Festigkeitseigenschaften des Laminats müssen bei Messen nach den Verfahren D.5 und D.6 mindestens den in Tabelle 3 angegebenen Werten entsprechen. Dies gilt für Lamine mit einem Textilglasanteil an der Gesamtmasse innerhalb der nachstehend aufgeführten Bereiche:

Lamine aus Wirrfaserlagen (CSM): 25 % bis 35 %;

Lamine aus Rovinggewebe (WR): 45 % bis 55 %;

Im Wickelverfahren hergestellte Lamine (FW): 60 % bis 75 %.

Der Hersteller darf höhere Werte für die in Tabelle 3 angegebenen mechanischen Kennwerte verwenden, vorausgesetzt, die Werte wurden in statistisch gesicherten Prüfungen ermittelt und werden bei der Fertigung überprüft (siehe 7.8.2).

Die Prüfungen müssen von einem unabhängigen und zertifizierten Prüflabor durchgeführt werden.

7.2 Wärmeformbeständigkeitstemperatur

Die Wärmeformbeständigkeitstemperatur des für die Laminatverstärkung verwendeten ausgehärteten Harzsystems (Harzformstoff) muss mindestens 20 °C höher sein als die Auslegungstemperatur des Tanks oder Behälters.

Bei $TS \leq 60 \text{ °C}$ gilt:

$$(\text{HDT}-20 \text{ °C}) \geq TS.$$

Bei $TS > 60 \text{ °C}$ gilt:

$$(\text{HDT}-40 \text{ °C}) \geq TS.$$

7.3 Laminataufbau

Die äußere Laminatoberfläche des Tanks oder Behälters muss eine Wirrfaserlage mit einer flächenbezogenen Masse von mindestens 450 g/m² oder eine Wickelkonstruktion aus Endlosfaser enthalten und ist mit einer Oberflächenvlieschicht zu versehen.

Tabelle 3 — Mindestkennwerte für Laminatschichten

Verstärkungsart	Verstärkungsrichtung	Geltende Kriterien	UTUS U_i N/mm je kg/m ² Glas	Massebezogener Schnittmodul X_i N/mm je kg/m ² Glas	Schubfestigkeit τ N/mm ²	Schubmodul G N/mm ²
CSM	alle		200	14 000	50	2 200
CSM (Furan/Phenol)	alle		140	14 000		
WR	Schuss	$\xi \geq \frac{1}{6}$	$500 \times \xi$	$4\,000 + 24\,000 \times \xi$		
		$\xi < \frac{1}{6}$	60	4 000		
	Kette	$\xi \leq \frac{5}{6}$	$500 \times (1 - \xi)$	$4\,000 + 24\,000 \times (1 - \xi)$		
		$\xi > \frac{5}{6}$	60	4 000		
WR (Furan/Phenol)	Schuss	$\xi \geq \frac{1}{6}$	$320 \times \xi$	$4\,000 + 24\,000 \times \xi$	50	2 200
		$\xi < \frac{1}{6}$	40	4 000		
	Kette	$\xi \leq \frac{5}{6}$	$500 \times (1 - \xi)$	$4\,000 + 24\,000 \times (1 - \xi)$		
		$\xi > \frac{5}{6}$	40	4 000		
FW	Faserrichtung	$85^\circ < \theta < 90^\circ$	500	28 000		
FW (Furan/Phenol)	Faserrichtung	$85^\circ < \theta < 90^\circ$	280	28 000		

Dabei ist

- ξ das Verhältnis zwischen Textilglasmassen in entweder Kett- oder Schuss-Richtung und der Gesamtglasmasse der Laminatschicht;
- θ der Winkel zwischen Wickelrichtung und Zylinderachse;
- U_i die massebezogene Einheitszugfestigkeit (UTUS), d. h. die Tragfähigkeit einer Verstärkungsart i, ausgedrückt als Kraft je Breitereinheit und Masseneinheit;
- X_i der massebezogene Elastizitätsmodul, d. h. das Verhältnis der Last je Breitereinheit zur entsprechenden Dehnung in einem zugbeanspruchten Probekörper je Masse einer Verstärkungsart i.

7.4 Einzelschichtdicke

Die Dicke einer einzelnen Laminatschicht t_i ist mit Gleichung (1) zu bestimmen, die in Anhang B graphisch dargestellt ist:

$$t_i = \left(\frac{1}{\rho_g} + \frac{(100 - m_g)}{m_g \times \rho_r} \right) \times 10^3 \quad (1)$$

Dabei ist

t_i die Dicke einer Laminatschicht der Verstärkungsart i (mm), mit einer Masse von 1 kg/m²;

m_g der Masseanteil des Glases an der Masse der Schicht in %;

ρ_r die Dichte des gehärteten Harzes (kg/m³);

ρ_g die Dichte des Glases (kg/m³).

7.5 Lamineigenschaften

Die bei der Auslegungsberechnung zu Grunde gelegten mechanischen Kennwerte sind entsprechend den Vorgaben von 7.8 zu überprüfen. Anhand der in Anhang B beschriebenen Verfahren lassen sich die Kennwerte des Laminats aus den Kennwerten der Einzelschichten herleiten.

7.6 Interlaminare Schubfestigkeit

7.6.1 Laminat

Die interlaminare Schubfestigkeit zwischen einzelnen Laminatschichten muss bei Prüfung nach Verfahren D.7 den in Tabelle 4a) angegebenen Mindestwerten entsprechen. Bei Anwendung von Laminatkombinationen sind die niedrigsten Werte zu verwenden.

Tabelle 4a) — Interlaminare Mindestschubfestigkeit

Verstärkungsart	Interlaminare Schubfestigkeit N/mm ²
CSM	7,0
CSM (Furan/Phenol)	5,0
WR	6,0
WR (Furan/Phenol)	4,0
FW (Faserrichtung)	6,0
FW (Furan/Phenol)	4,0

7.6.2 Thermoplastische Auskleidungen

Bei Verwendung einer thermoplastischen Auskleidung muss bei der Prüfung nach Verfahren D.8 die Schubfestigkeit der Verbindung zwischen Verstärkung und thermoplastischer Auskleidung mindestens den Werten in Tabelle 4b) entsprechen.

Tabelle 4b) — Interlaminare Mindestschubfestigkeit thermoplastischer Auskleidungen

Auskleidungswerkstoff	Schubfestigkeit der Verbindung
	N/mm ²
PVC-U	7,0
PP-H, PP-B, PP-R	3,5
PVDF	5,0
ECTFE, FEP, PFA	5,0

7.7 Schälfestigkeit

7.7.1 Schälfestigkeit zwischen Laminatschichten

Bei Prüfung nach Verfahren D.9 muss die Schälfestigkeit von Laminatschichten eine Breite von mindestens 5 N/mm haben.

7.8 Ermittlung der physikalischen Eigenschaften der Werkstoffe und der zulässigen Auslegungsfaktoren

7.8.1 Allgemeines

In der vorliegenden Norm wird die Auslegung von GFK-Laminatstrukturen, die statischen Beanspruchungen (Überdruck, Unterdruck und anderen mechanischen Belastungen) ausgesetzt sind, unter dem Gesichtspunkt von Einheitslasten gemeinsam mit Stabilitätskriterien betrachtet.

Der Hersteller kann die in Tabelle 3 aufgeführten Mindestkennwerte verwenden, die anhand von Prüfungen nach 7.8.2 nachzuweisen sind; dieses Verfahren wird als „standardmäßige Auslegung“ bezeichnet; als Alternative hierzu ist es möglich, mit einem als „weiterentwickelte Auslegung“ bezeichneten Verfahren zu arbeiten, bei dem ein erweitertes Prüfprogramm durchgeführt wird, mit dem weitergehende mechanische Eigenschaften der betreffenden Laminatstruktur ermittelt werden können (siehe 7.8.3).

7.8.2 Standardmäßige Auslegung

Die geforderten Mindesteigenschaften sind durch Prüfung von fünf verschiedenen Proben (siehe 15.6) nachzuweisen:

- Textilglasgehalt (Glühverlust), Prüfverfahren D.2;
- Einheitsmodul der Zugdehnung (ausgedrückt als Last, die zu einer Dehnung von 0,25 % führt), Prüfverfahren D.6;
- Zugfestigkeit bei Bruch (Prüfung unter (2), fortgesetzt bis zum Versagen), Prüfverfahren D.5;
- interlaminare Schubfestigkeit (ausgedrückt in der über eine bestimmte Länge wirkenden maximalen Schublast), Prüfverfahren D.7;
- Barcol-Härte, Prüfverfahren D.11;
- Kurzzeit-Kriechverhalten, Prüfverfahren D.10;
- Biegefestigkeit des Laminats, Prüfverfahren D.20;

Bei Verwendung einer thermoplastischen Auskleidung sind zusätzlich die nachstehenden Prüfungen durchzuführen;

- h) interlaminare Schubfestigkeit (zur Ermittlung der Haftfestigkeit zwischen Auskleidung und angrenzender Laminatschicht über eine bestimmte Schublänge), Prüfverfahren D.8;
- i) Schälfestigkeit (zur Ermittlung der Haftfestigkeit zwischen Auskleidung und Laminatschicht bei Schälbeanspruchung), Prüfverfahren D.9;
- j) UTUS des Auskleidungswerkstoffes, Prüfverfahren D.3;
- k) UTUS der Nähte im Auskleidungswerkstoff, Prüfverfahren D.3.

Die Kennwerte von Filamentwicklungen sind EN 13923 zu entnehmen.

Die zu verwendenden Werte berechnen sich anhand der Ergebnisse aus den mechanischen Prüfungen durch entweder Bildung des

- a) arithmetischen Mittels aus den 5 Prüfergebnissen

oder

- b) arithmetischen Mittels aus den verbleibenden 3 Prüfergebnissen bei Streichung des höchsten und des niedrigsten Werts.

Der niedrigste der nach (a) oder (b) ermittelten Werte muss größer oder gleich dem in Tabelle 3 angegebenen Mindestwert für die jeweilige Eigenschaft sein, damit die Werte in Tabelle 3 angewandt werden können.

7.8.3 Weiterentwickelte Auslegung

Höhere Werte für die Werkstoffeigenschaften können angewendet werden, sofern bei allen in Anhang D beschriebenen Verfahren jeweils mindestens 15 Proben geprüft werden.

Die bei dieser Auslegung zu Grunde zu legenden Werte sind wie folgt zu bestimmen:

Die Standardabweichung s ist ein statistisches Maß für die Streuung der Ergebnisse. Bei einem Prüfprogramm mit N Prüfungen (wobei $N \geq 15$ ist), die jeweils ein Ergebnis mit dem Wert J haben, lässt sich die Standardabweichung s vom Mittel der Prüfergebnisse nach folgender Gleichung berechnen:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (J - \bar{J})^2}{N - 1}} \quad (2)$$

Dabei ist

- s die Standardabweichung;
- N die Anzahl der Prüfungen;
- J das einzelne Prüfergebnis;
- $\bar{J}$ das arithmetische Mittel der Prüfergebnisse.

Der in die Auslegungsgleichung einzusetzende Kennwert ist $\bar{J} - k \times s$

Dabei ist

$$k = 1,6 + \frac{4}{N} \quad (3)$$

Liegen bereits nachgewiesene Prüfdaten vor, ist der Kennwert zu überprüfen, indem weitere 5 Proben geprüft werden und das Mittel aus diesen Prüfergebnissen oder, unter Streichung des höchsten und des niedrigsten Wertes, aus den Ergebnissen von 3 Prüfungen gebildet wird. Der niedrigste auf diese Weise berechnete Wert muss größer als der Kennwert des weiterentwickelten Auslegungsverfahrens $\bar{J} - k \times s$ sein.

Liegen die Prüfergebnisse unter den Daten aus früheren Prüfungen, ist eine Neubewertung der Behälterauslegung erforderlich.

7.8.4 Auslegungsfaktoren

7.8.4.1 Allgemeines

Auf die nach 7.8 berechneten Kennwerte der mechanischen Eigenschaften sind die Auslegungsfaktoren wie folgt anzuwenden:

7.8.4.2 Gesamtauslegungsfaktoren K und F

Der Gesamtauslegungsfaktor K ist mit Gleichung (4) zu bestimmen:

$$K = 2 \times A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times A_5 \quad (4)$$

Die Höchst- und Mindestwerte der Auslegungsteilfaktoren sind in Tabelle 6 angegeben.

Der Auslegungsfaktor gegen Beulversagen F ist mit Gleichung (5) zu bestimmen.

$$F = 2 \times A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \sqrt{A_5} \quad (5)$$

ANMERKUNG Der Auslegungsteilfaktor A_5 schwankt je nach Art der Belastung, sodass sich unterschiedliche Werte ergeben, je nachdem, ob eine Zug- oder Biegespannung als Kurz- oder Langzeitbelastung anliegt, siehe 7.8.4.7.

Dementsprechend kann es notwendig sein, verschiedene Faktoren K und F zu ermitteln, je nachdem, welche Belastungsbedingungen betrachtet werden, siehe Abschnitt 9.

Anhand dieser Faktoren werden die zulässigen Auslegungsdehnungen mit den Verfahren nach 8.2 ermittelt, umso die zulässigen Auslegungslasten (8.3) zu berechnen, die für die Gesamtentwurfsauslegung nach Abschnitt 10 verwendet werden.

7.8.4.3 Bestimmung des Auslegungsteilfaktors A_1

A_1 ist der Auslegungsteilfaktor, mit dem der Nachweis der Werkstoffeigenschaften berücksichtigt wird und der wie folgt nach Tabelle 6 ermittelt wird.

$A_1 = 2$, wenn die maximal zulässige Last anhand der in Tabelle 3 aufgeführten Kennwerte ermittelt und mit vorliegenden Prüfergebnissen, die nicht älter als 18 Monate sein dürfen, bestätigt wird;

$A_1 = 1,5$, wenn die maximal zulässige Last anhand der in Tabelle 3 aufgeführten Kennwerte ermittelt und mit vorliegenden Prüfergebnissen, die nicht älter als 12 Monate sein dürfen, bestätigt wird;

$A_1 = 1,3$, wenn die maximal zulässige Last anhand der in Tabelle 3 aufgeführten Kennwerte ermittelt wird und ein Nachweis durch Prüfung von Laminatmustern nach 7.8.2 erfolgt;

$A_1 = 1,2$, wenn die maximal zulässige Last anhand der in Tabelle 3 aufgeführten Kennwerte ermittelt wird und ein Nachweis durch Prüfung von Mustern aus dem betreffenden Behälter oder Tank nach 7.8.2 erfolgt;

$A_1 = 1,1$, wenn die maximal zulässige Last durch Prüfung von Laminatmustern nach 7.8.3 ermittelt wird;

$A_1 = 1,0$, wenn die maximal zulässige Last durch Prüfung von Proben aus dem betreffenden Behälter oder Tank nach 7.8.3 ermittelt wird.

7.8.4.4 Bestimmung des Auslegungsteilfaktors A_2

A_2 ist der Auslegungsteilfaktor, durch den der Einfluss der chemischen Beanspruchung des Behälters oder Tanks Berücksichtigung findet; seine Bestimmung erfolgt nach EN 13121-2.

7.8.4.5 Bestimmung des Auslegungsteilfaktors A_3

A_3 ist der Auslegungsteilfaktor, durch den der Einfluss der Auslegungstemperatur und der Wärmeformbeständigkeitstemperatur des Harzformstoffes berücksichtigt wird; er wird mit Gleichung (6) berechnet:

$$A_3 = 1,0 + 0,4 \frac{T_D - 20}{HDT - 40} \quad (6)$$

und für isolierte Tanks $A_3 = 1,0 + 0,4 \frac{T_D}{HDT - 40}$

ANMERKUNG A_3 sollte stets $> 1,0$ und $\leq 1,4$ sein.

7.8.4.6 Bestimmung des Auslegungsteilfaktors A_4

A_4 ist der Auslegungsteilfaktor, durch den der Einfluss der voraussichtlichen Anzahl der Lastzyklen im Sinne einer Wechselbeanspruchung durch Druck oder Temperatur bzw. Temperatur und Druck berücksichtigt wird. Für die nach dieser Norm zulässigen Auslegungsspannungen beträgt dieser Faktor 1,0.

7.8.4.7 Bestimmung des Auslegungsteilfaktors A_5

A_5 ist der Auslegungsteilfaktor, durch den der Einfluss des Langzeitverhaltens des Laminats berücksichtigt wird; seine Ermittlung erfolgt nach Tabelle 5 oder dem in D.16 beschriebenen Prüfverfahren.

Wenn entsprechende Prüfdaten nicht vorliegen, ist A_5 Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5 — Wert des Auslegungsteilfaktors A_5

	Kurzzeitbelastung	A_5 bei Zuglast		A_5 bei Biegebelastung	
	Beanspruchung	Lebensdauer von Tank oder Behälter		Lebensdauer von Tank oder Behälter	
Verstärkungsharz Polyester und Vinylester	bis zu 30 Minuten	bis zu 10 Jahre	bis zu 50 Jahre	bis zu 10 Jahre	bis zu 50 Jahre
WR	1,0	1,25	1,30	1,50	1,90
CSM	1,0	2,00	2,40	2,00	2,40
FW in Umfangsrichtung	1,0	1,20	1,30	1,30	1,40
FW in Längsrichtung	1,0	1,50	1,60	1,60	1,70

Bei Verwendung von Laminaten aus kombinierten Schichten von CSM/WR/FW ist für den Wert von A_5 der Wert des Hauptbestandteils zu wählen.

Bei Lebensdauerwerten zwischen 10 und 50 Jahren können die Werte für A_5 durch lineare Interpolation bestimmt werden.

Wenn der Wert für A_5 durch Prüfung des Laminats zu ermitteln ist, muss diese Prüfung nach dem Verfahren D.16 in Anhang D durchgeführt werden.

Eine vorläufige Abschätzung des Auslegungsteilfaktors A_5 kann anhand der Prüfung zur Bestimmung der Kurzzeit-Kriechneigung (siehe Prüfverfahren D.10) getroffen werden, der endgültige Wert ist jedoch über den Langzeit-Kriechversuch (siehe Prüfverfahren D.16) zu ermitteln.

Anders als bei kurzzeitiger Belastung darf der Auslegungsteilfaktor A_5 nicht kleiner sein als 1,20 (siehe Tabelle 5).

Zur Berechnung des Auslegungsfaktors gegen Beulversagen F (siehe 7.8.4) ist für A_5 nur der Wert für die Biegebeanspruchung zu verwenden.

Zur Berechnung des Gesamtauslegungsfaktors K (siehe 7.8.4) hängt der Wert für A_5 von der jeweils aufgetragenen Last ab. Wird sowohl eine Zug- als auch eine Biegebeanspruchung angelegt, muss der Wert für A_5 für die Zugbeanspruchung verwendet werden.

Die verschiedenen Faktoren A_5 für unterschiedliche Lastarten können zu einer gewissen Spannweite der Faktoren K und F (siehe 7.8.4) und damit auch der zulässigen Auslegungsspannungen und entsprechenden Auslegungslasten, die zu bewerten sind, führen (siehe 8.2.4 und 8.3). Die Entwurfsauslegung kann jedoch vereinfacht werden, wenn für alle Berechnungen jeweils der größte Wert des Faktors A_5 verwendet wird.

Tabelle 6 — Zusammenfassung der Auslegungsverfahren und Auslegungsteilfaktoren

	Zulässiges Auslegungsverfahren		
	Weiterentwickelte Auslegung	Standardmäßige Auslegung	
		entweder	oder
Ermittlung der mechanischen Kennwerte (Prüfung)	Benutzerdefinierte Werkstoffkennwerte können nach strenger Prüfung (mindestens 15 Proben) verwendet werden.	Festlegung der Mindest-Kennwerte nach den Angaben dieser Norm und Bestätigung durch eingeschränkte Prüfung (5 Proben).	Festlegung der Mindest-Kennwerte nach den Angaben dieser Norm und Bestätigung durch eingeschränkte Prüfung (5 Proben).
Vorliegende Prüfergebnisse	Vorliegende Ergebnisse nur mit Bestätigung durch ein beschränktes Prüfprogramm für die Produktion zulässig.	Vorliegende Ergebnisse verwendbar, falls in den 12 Monaten nach der letzten Prüfung ähnlich ausgelegte Lamine hergestellt wurden.	Vorliegende Ergebnisse verwendbar, falls in den 18 Monaten nach der letzten Prüfung ähnlich ausgelegte Lamine hergestellt wurden.

Tabelle 6 (fortgesetzt)

	Zulässiges Auslegungsverfahren		
	Weiterentwickelte Auslegung	Standardmäßige Auslegung	
		entweder	oder
Auslegungsteilfaktor entsprechend dem Prüfungsnachweis der Werkstoffkennwerte	$A_1 = 1,0$ (Behälterausschnitte) $A_1 = 1,1$ (Laminatproben) (Für mechanische Kennwerte) $A_1 = 1,1$ bei Verwendung vorhandener Prüfergebnisse und mit Nachweisprüfungen (7.8.3)	$A_1 = 1,2$ (Behälterausschnitte) $A_1 = 1,3$ (Laminatproben) $A_1 = 1,5$ (wenn keine zusätzlichen Prüfungen erfolgen und vorliegende Prüfergebnisse zur Stützung der Auslegungskennwerte verwendet werden)	$A_1 = 2,0$
Auslegungsteilfaktor entsprechend der chemischen Widerstandsfähigkeit des Laminats	A_2 (nach EN 13121-2)	A_2 (nach EN 13121-2)	A_2 (nach EN 13121-2)
Auslegungsteilfaktor entsprechend der Auslegungstemperatur des Behälters und der Wärmeformbeständigkeitstemperatur des Harzes	A_3 (7.8.4.5)	A_3 (7.8.4.5)	A_3 (7.8.4.5)
Auslegungsteilfaktor entsprechend den Wechselbeanspruchungen	A_4 (7.8.4.6) = 1	A_4 (7.8.4.6) = 1	A_4 (7.8.4.6) = 1
Auslegungsteilfaktor entsprechend dem Langzeitverhalten	A_5 (7.8.4.7)	A_5 (7.8.4.7)	$A_5 = 2,4$
Mindestauslegungsfaktor K	K (Mindestwert) = 4 K (Mindestwert) = 5, wenn A_5 nicht durch Prüfprogramm D.16 nach Anhang D nachgewiesen wird	K (Mindestwert) = 6	K (Mindestwert) = 8
Mindestauslegungsfaktor F gegen Beulversagen	$F \geq 2,7$	$F \geq 3,0$	$F \geq 4,0$

8 Ermittlung von Auslegungsdehnung und -belastungen

8.1 Allgemeines

In der vorliegenden Norm werden drei verschiedene Wege zur Bestimmung der in Abschnitt 7 aufgeführten, maßgebenden Lamineigenschaften beschrieben, die entsprechend den vorgesehenen Programmen für die Werkstoffprüfung anzuwenden sind.

Nach Bestimmung dieser Kennwerte sind die zulässigen Auslegungsdehnungen und die Auslegungslasten wie folgt zu ermitteln.

8.2 Zulässige Auslegungsdehnung

8.2.1 Allgemeines

Nachstehend sind die zulässigen Auslegungsdehnungen für einen Laminataufbau unter Berücksichtigung sowohl der Auslegungs- als auch der Prüfanforderungen angegeben.

8.2.2 Zulässige Dehnung des Harzes ε_{ar}

Die zulässige Dehnung ε_{ar} für jeden verwendeten Harztyp ist nach Gleichung (7) festzulegen:

$$\varepsilon_{ar} = 0,1 \times \varepsilon_R \quad (7)$$

Dabei ist

ε_R die Bruchdehnung des unverstärkten Harzformstoffes.

8.2.3 Grenzdehnung des Laminats ε_L oder der Laminatschicht ε_i

Die Grenzdehnung ist für ein Laminat nach Gleichung (8a) und für eine Laminatschicht nach Gleichung (8b) zu ermitteln.

$$\varepsilon_L = \frac{U_{Lam}}{K \times X_{Lam}} \quad (8a)$$

$$\varepsilon_i = \frac{U_i}{K \times X_i} \quad (8b)$$

Dabei werden U_{Lam} und X_{Lam} entweder aus Gleichung (10) anhand der Werkstoffgrenzeigenschaften nach den Ergebnissen des Prüfprogramms in Abschnitt 7 ermittelt oder nach 7.1 aus Tabelle 3 entnommen.

Der Auslegungsfaktor K ist entweder mit Gleichung (4) zu ermitteln, oder es ist der Höchstwert aus Tabelle 6 für das verwendete Auslegungsverfahren zu übernehmen, je nachdem, welcher Wert höher ist und gegebenenfalls unter Verwendung unterschiedlicher Werte für A_5 (siehe 7.8.4.7).

8.2.4 Maximal zulässige Dehnung der Laminatschicht ε_d

Die zulässige Dehnung der Laminatschicht ε_d ist der niedrigste Werte von:

- 0,10 % Dehnung bei Furanharzen,
0,23 % Dehnung bei Polyesterharzlaminate,
0,27 % bei Vinylesterlaminaten,
0,20 % bei thermoplastischen PVC-U-Auskleidungen;
- bei thermoplastischen PVDF-, PP-, ECTFE- und PFA-Auskleidungen muss die Auslegungsdehnung der Auslegungsdehnung des Laminats entsprechen;
- der zulässigen Dehnung nach Gleichung (7);
- der minimalen Grenzdehnung der Faserschnittmatten-Laminatschicht nach Gleichung (8a); wird keine thermoplastische Auskleidung verwendet, ist die minimale Grenzdehnung der Laminatschicht aus Gleichung (8b) zu übernehmen.

ANMERKUNG Bei selten und jeweils nur über einen kurzen Zeitraum auftretenden Ausnahmezuständen, die weniger als 10-mal während der Lebensdauer des Tanks oder Behälters auftreten und jeweils weniger als 30 min andauern, darf eine höhere zulässige Dehnung von 0,4 % angesetzt werden, sofern die Bruchdehnung des für den Tank oder Behälter verwendeten Harzformstoffs höher ist als 2,0 %.

Wird bei der Auslegung eines Tanks oder Behälters dieser Ansatz zu Grunde gelegt und tritt während des Betriebs ein derartiger Ausnahmezustand ein, ist aufzuzeichnen, bei welchem Anlass dieser Zustand auftritt, und es sind jene Tank- oder Behälterbereiche mit der höheren Auslegungsdehnung zu untersuchen und die Anforderungen an die Überprüfung des Tanks bzw. Behälters festzulegen.

8.2.5 Zulässige Dehnung $\varepsilon_{\text{test}}$ unter Prüfbedingungen

Tanks und Behälter müssen nach den in Anhang C (normativ) angegebenen Anforderungen geprüft werden und so ausgelegt sein, dass dabei die maximale Dehnung die folgenden Grenzwerte nicht überschreitet:

- 0,133 % bei FU-Harzformstoffen;
- 0,30 % bei Polyester-Harzformstoffen;
- 0,35 % bei Vinylester-Harzformstoffen;
- 0,26 % bei thermoplastischen PVC-U-Auskleidungen.

Bei thermoplastischen PP-, PVDF-, ECTFE- und PFA-Auskleidungen muss die maximale Dehnung unter Prüfbedingungen der maximalen Dehnung des Harzes entsprechen.

8.3 Zulässige Belastungen des Laminats

Die zulässige Einheitsbemessungslast des Laminats ist anhand der zulässigen Einheitslast der Laminatschichten nach Gleichung (9) zu ermitteln.

$$\text{zul. } u_i = \varepsilon_d \times X_i \quad (9)$$

Diese Werte für die Laminatschichten sind dann für die Berechnung der entsprechenden Werte für die Einheitsbemessungslast des Laminats und der Laminatschichten nach 8.3 und 8.4 für die Entwurfsauslegung nach Abschnitt 10 zu verwenden.

Dabei ist U_{Lam} nach Gleichung (10a) und X_{Lam} nach Gleichung (10b) zu ermitteln.

8.4 Auslegung des Laminats

Der Laminataufbau sollte möglichst symmetrisch sein.

Für jeden Bereich des Tanks oder Behälters ist ein Entwurf für den Laminataufbau zu erstellen. Dabei ist die nach 8.2, 8.3 und Anhang B (normativ) berechnete Einheitsbemessungslast für jede Laminatschicht zu berücksichtigen. Diese zulässigen Lasten sind dann mit den für die betroffenen Bereiche geforderten Festigkeiten zu vergleichen.

$$\text{zul. } U_{\text{Lam}} = u_1 \times m_1 \times n_1 + u_2 \times m_2 \times n_2 \dots u_i \times m_i \times n_i \quad (10a)$$

Wert X_{Lam} für den vorgeschlagenen Laminataufbau ist mit Gleichung (10b) zu ermitteln:

$$X_{\text{Lam}} = X_1 \times m_1 \times n_1 + u_2 \times m_2 \times n_2 \dots u_i \times m_i \times n_i \quad (10b)$$

Ist $q > \text{zul. } U_{\text{Lam}}$, wobei q die angewandte Einheitslast ist, muss die Auslegung des Laminats neu erfolgen.

Dabei ist

- zul. U_{Lam} die zulässige Zugfestigkeit eines Laminats, in N/mm;
- u_i die zulässige Zugfestigkeit einer Laminatschicht I , in N/mm je kg/m² Glas, die aus Gleichung (9) ermittelt wird;
- m_i die Masse je Flächeneinheit der Verstärkung in einer Schicht des Typs i , in kg/m² Glas;
- n_i die Anzahl der Schichten vom Typ i im betreffenden Laminataufbau;
- ANMERKUNG Bei fadengewickelten Strukturen muss eine Schicht aus zwei im Winkel von $\pm \theta$ gewickelten Lagen bestehen, wobei $85^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$.
- q die größte aufgebrachte Einheitslast, die vom Laminat an dem betrachteten Punkt getragen werden muss, in N/mm;
- X_{Lam} der Einheitsmodul des Laminats, in N/mm je kg/m² Glas bei Zugdehnung;
- X_i der Einheitsmodul einer Schicht des Typs i , in N/mm je kg/m² Glas bei Zugdehnung.

Zur Beurteilung der Auslegung eines fadengewickelten Tanks oder Behälters ist das in Anhang H (informativ) beschriebene ausführliche Analyseverfahren zu verwenden.

8.5 Laminatdicke

Wird für Berechnungen die Dicke des Laminats benötigt, ist diese als die Summe der Dicken sämtlicher Laminatschichten anzunehmen.

Für Auslegungszwecke ist die Dicke jeder einzelnen Laminatschicht über den Glasanteil der betreffenden Schicht mit Gleichung (1) in 7.4 zu ermitteln.

Die Laminatdicke muss mindestens 3 mm betragen, ohne Chemieschutzschichten.

Tragendes Laminat muss symmetrisch zum Mittelpunkt der Wand angeordnet sein.

Abrupte Übergänge der Laminatdicke sind zu vermeiden. Der Verjüngungskegel zwischen Bereichen unterschiedlicher Dicke darf nicht größer sein als 1 : 6.

9 Auslegung

9.1 Einführung

Der Behälter oder Tank ist entsprechend der ungünstigsten Kombination aus den nachstehend aufgeführten Belastungen auszulegen:

- 1) Innendruck oder Außendruck;
- 2) hydrostatischer Druck des Behälterinhalts (unter Betriebs- und Prüfbedingungen);
- 3) Masse des Behälters oder Tanks, einschließlich seines Inhalts;
- 4) Auslegungstemperatur;
- 5) überlagerte und Windlasten;

- 6) Biegemomente aufgrund außermittiger Lasten;
- 7) punktuelle Lasten auf Halterungen, Ösen und anderen Anbauteilen;
- 8) stoßartige Belastungen;
- 9) Belastungen in Form von Erwärmung oder Abkühlung und Temperaturgefällen;
- 10) während des Schienen-, Straßen- oder Seetransports und bei der Aufstellung auftretende Belastungen;
- 11) während Transport und Aufstellung durch das Personal verursachte Belastungen;
- 12) Ermüdung;
- 13) sämtliche Anforderungen an die Feuerfestigkeit zugehöriger Behälter- oder Tankauflager, z. B. Zargen, Stützen.

Mithilfe der Entwurfsauslegung nach Abschnitt 10 ist die angewandte Einheitslast in jedem Bereich des Tanks oder Behälters für die jeweils ungünstigste Lastkombination zu ermitteln.

Mit Gleichung (10) ist die Eignung der jeweiligen Laminatausführung zu bestimmen.

Es sind zwei Bewertungen auszuführen, und zwar:

- a) Nur Langzeitbelastungen, wobei die einwirkende Gesamteinheitslast mithilfe der zulässigen Einheitsbemessungslast des Laminats ermittelt wird, die mit dem Langzeitwert für A_5 bei der Bestimmung der maximal zulässigen Auslegungsdehnung berechnet wurde.
- b) Lang- und Kurzzeitbelastungen, wobei die einwirkende Gesamteinheitslast mithilfe der zulässigen Einheitsbemessungslast des Laminats ermittelt wird, die mit dem Kurzzeitwert für A_5 für die Ableitung der maximal zulässigen Auslegungsdehnung berechnet wurde.

Beispiele für Kurzzeitbelastungen sind etwa Wind- und Schneelasten sowie durch Erdbeben, Personal und Aufstellung verursachte Belastungen.

ANMERKUNG Die Entwurfsauslegung kann vereinfacht werden, wenn für alle dabei durchgeführten Berechnungen jeweils der größte Wert des Faktors A_5 verwendet wird.

9.2 Bestimmung der äußeren Belastungen

9.2.1 Schneelasten

Angaben zu Schneelasten sind den vor Ort geltenden Empfehlungen für Belastungsproben zu entnehmen.

ANMERKUNG Gegebenenfalls kann EN 1991-1-3 hinzugezogen werden.

9.2.2 Wind

Die Windgeschwindigkeiten sind nach den Empfehlungen zu den am Aufstellungsort des Tanks oder Behälters herrschenden Bedingungen zu ermitteln.

Besondere Beachtung ist oben offenen Tanks zu schenken, da der Inhalt durch Wind in heftige Bewegungen versetzt werden kann, wodurch es zum Überlaufen oder übermäßiger Belastung des Tanks kommen kann. Sind diese Phänomene nicht quantifizierbar, wird empfohlen, den Tank mit einem Dach zu versehen, sofern nicht zufrieden stellende Erfahrungswerte mit vergleichbaren Bedingungen vorliegen.

Für den Außendruck durch Windlasten gilt für p_{Wind} :

$p_{\text{Wind}} = 0,6 \times \text{dynamischer maximaler Winddruck bei geschlossenen Behältern};$

$p_{\text{Wind}} = 1,6 \times \text{dynamischer maximaler Winddruck bei offenen Behältern}.$

Die Ränder oben offener Tanks müssen mit einem Flansch oder einer Versteifung verstärkt werden, um Verformung zu vermeiden. Anhang J (informativ) enthält das Auslegungsverfahren für Schalen unterschiedlicher Querschnitte unter Windlast.

9.2.3 Erdbebenlasten

Sofern vorgeschrieben, ist der Tank so auszulegen, dass er den örtlich zu erwartenden Erdbebenlasten standhält. Bei der Auslegung ist nicht davon auszugehen, dass Erdbebenlasten und Windlasten gleichzeitig auftreten.

9.2.4 Lasten aufgrund der Isolierung

Dies sind Lasten, die sich aus der Eigenmasse der Isolierung, einschließlich Verkleidung, ergeben.

Wird Hartschaum für die Isolierung verwendet, kann ein hoher Außendruck auf die Innenschale einwirken. Aufgrund der Ausdehnung muss diese Wirkung bei der Behälterauslegung berücksichtigt werden.

9.2.5 Lasten aufgrund von Anschlüssen

Die Lasten, die sich aus Rohren, Ventilen und anderen an den Tank oder Behälter angeschlossenen Teilen ergeben, sollten bei der Auslegung in einer Analyse der örtlichen Lasten nach Anhang G (informativ) berücksichtigt werden.

9.2.6 Bewegung durch Rührwerke

Der Hersteller muss die Belastungen durch Rührwerke und die Belastungen auf zugehörige Leitbleche bestimmen. Diese Belastungen sind als auf den Tank oder Behälter einwirkende Lasten zu betrachten. Soweit möglich, sollte die Lagerung von Rührwerken unabhängig vom Tank oder Behälter sein.

9.2.7 Verkehrslasten durch Personen

Oberseiten von Tanks oder Behältern, die begehbar sein müssen, sind so auszulegen, dass sie diese zusätzliche Last tragen können. Ist kein besonderer Wert für derartige Verkehrslasten durch Personen festgelegt, sind die folgenden Lastwerte anzuwenden.

$P_{\text{Verkehr}} = 1,5 \text{ kN/m}^2$ über die gesamte Fläche und/oder

$P_{\text{Verkehr}} = 1,5 \text{ kN}$ auf einer Fläche mit einem Durchmesser von 300 mm.

9.3 Zeichnungen und Konstruktionsberechnungen

Sieht die Konstruktion Verstärkungen mit richtungsabhängigen Festigkeitswerten vor, muss die Faserrichtung in Zeichnungen und Berechnungen angegeben werden, um sicherzustellen, dass die durch die Auslegung erforderlichen baulichen Kennwerte erfüllt werden; die vollständigen Anforderungen an Zeichnungen sind in 15.3 erläutert.

9.4 Berechnungsgrößen

9.4.1 Auslegungstemperatur T_S

Muss der Definition in 3.13 entsprechen.

9.4.2 Druck

Der Berechnungsdruck p_D , d. h. der Druckwert am betreffenden Punkt, der in Berechnungen zur Bestimmung der geforderten Festigkeit von Bauteilen eines Behälters oder Tanks zu verwenden ist, muss die folgenden Druckbelastungen berücksichtigen:

p_S = zulässiger Höchstdruck (+ oder –) kurz- oder langfristig;

p_{Wind} = siehe 9.2.2 kurzzeitig;

$p_{Fluid} = p \times g \times h_{Fluid}$ langfristig;

p_{Schnee} = siehe 9.2.1 kurz- oder langfristig;

$p_{Verkehr}$ = siehe 9.2.7 kurzzeitig.

p_D ist jeweils der ungünstigste Wert der kombinierten Druckbelastungen. Bei der Auslegung ist nicht davon auszugehen, dass Schnee- und Verkehrslasten gleichzeitig auftreten.

10 Entwurfsauslegung

10.1 Symbole und Einheiten

Symbol	Einheit	Größe
α	1/°C	Wärmeausdehnungskoeffizient
λ	—	Schalenparameter
d_r	mm	Durchmesser der Nullachse des Verstärkungsringes
D	mm	Innendurchmesser des Tanks/Behälters
D_{pc}	mm	Lochkreisdurchmesser der Ankerschrauben
D_m	mm	mittlerer Durchmesser der Dichtung
D_s	mm	Nullachse des Versteifungsringes
E_R	N/mm ²	E-Modul, Ring
E_s	N/mm ²	E-Modul, Versteifung
G_{Schale}	N/mm ²	Schubmodul der Schale
$h_{Flüssigkeit}$	mm	Höhe der Flüssigkeit
I_s	mm ⁴	Trägheitsmoment der Versteifung
$I_{über}$	mm	Trägheitsmoment des überlappenden Laminats

Symbol	Einheit	Größe
L_c	mm	Länge der örtlichen Wanddickenerhöhung, da dieses Symbol ebenfalls für Verbindungen ohne Krempe wie in Bild 4b) gilt
L_j	mm	Länge des Überlaminats/Verbindungskante
L_s	mm	Abstand zwischen zwei Versteifungen oder Auflager
M	Nmm	Biegemoment
M_D	Nmm	Berechnung des Biegemoments
M_H	Nmm	maximales Biegemoment am Sattelhorn des Auflagers beim liegenden Behälter
M_S	Nmm	Biegemoment im Versteifungsring
q_c	N/mm	Einheitslast, Ausschnitt
$q_{\text{über}}$	N/mm	Einheitslast, überlappendes Laminat
$q_{x,w}$	N/mm	massenbedingte Einheitslast, Längsrichtung
N_b	—	Anzahl der Ankerschrauben
N_S	N	Normallast am Versteifungsring
p_D	N/mm ²	Berechnungsdruck
p_c	N/mm ²	Druck, der Instabilität verursacht
t_{ck}	mm	Dicke der Zylinderschale im Krempebereich
u_c	N/mm	Einheitslast, die zu axialer Instabilität führt
$t_{\text{über}}$	mm	Dicke des überlappenden Laminats
t_s	mm	Dicke der Versteifung
t_{Schale}	mm	Dicke der Schale am Abzweig
W_D	N	Berechnungsmasse
Z	mm ³	Abschnittsmodul des Rings
W	N	Masse
X	N/mm	Einheitsmodul
PS	N/mm	zulässiger Höchstdruck

Indizes	
ΔT	aufgrund der Temperaturdifferenz
ϕ	Umfangsrichtung
b	Biegung
bk	unterer Krempebereich
D	Auslegung
c	kritisch
Zyl	Zylinder
e	kurzzeitig
f	Biegung
H	Sattelhorn

Indizes	
k	Krempenbereich
lam	Laminat
l	Last
M	aufgrund des Biegemoments
N	aufgrund der Normallast
p	aufgrund von Druck
R	Ring
s	Versteifung
Sk	Zarge
Sku	oberer Teil der Zarge
T	aufgrund der Zuglast
w	aufgrund der Masse
x	axiale Richtung

10.2 Stehende Behälter oder Tanks, Zylinder unter Last ($t < 0,01 D$)

10.2.1 Belastung in Umfangsrichtung

Die maximale Einheitslast in Umfangsrichtung q_ϕ wird mit Gleichung (11) berechnet:

$$q_\phi = \frac{p_D \times D}{2} \quad (11)$$

Dabei ist $p_D = PS + \text{hydrostatischer Druck}$.

Das mithilfe von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss in Umfangsrichtung eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (11) berechneten Wert entspricht.

10.2.2 Kombinierte axiale Belastung

Die maximale axiale Einheitslast q_x am betreffenden Punkt, ist aus den kombinierten axialen Einheitslasten zu ermitteln, die bedingt sind durch:

a) Druck:

$$\text{axiale Einheitslast} \quad q_{x,p} = \frac{p_D \times D}{4}; \quad (12)$$

$$\text{bei Stabilität} \quad p_D = PS + \frac{p_e}{(A_5)^{0,5}};$$

$$\text{und bei Zugdehnung} \quad p_D = PS + \frac{p_e}{A_5}.$$

Dabei ist

p_e jede beliebige kurzzeitige Drucklast.

- b) Biegemoment aufgrund von Wind-, Erdbeben- oder Schneelasten (nach örtlicher Systematik ermittelt):

$$\text{axiale Einheitslast} \quad q_{x,m} = \frac{4 \times M_D}{\pi \times D^2}; \quad (13)$$

$$\text{bei Stabilität} \quad M_D = M + \frac{M_e}{(A_5)^{0,5}};$$

$$\text{und bei Zugdehnung} \quad M_D = M + \frac{M_e}{A_5}.$$

Dabei ist

M_e jedes beliebige kurzzeitige Biegemoment.

- c) Gewichtskraft von Behälter, Formstücken, Beschickungsgut, Anbauteilen und Personal:

$$\text{axiale Einheitslast} \quad q_{x,w} = \frac{W_D}{\pi \times D}; \quad (14)$$

$$\text{bei Stabilität} \quad \boxed{A_1} \quad W_D = W + \frac{W_e}{(A_5)^{0,5}}; \quad \boxed{A_1}$$

$$\text{und bei Zugdehnung} \quad W_D = W + \frac{W_e}{A_5}.$$

Dabei ist

W_e jede beliebige kurzzeitige Gewichtsbelastung.

Die kombinierte axiale Einheitslast q_x ist die Summe der sich aus den Gleichungen (12) bis (14) ergebenden Werte unter Berücksichtigung der Belastungsrichtung.

Für die Schalenstabilität (d. h. die Druckbelastung) gilt:

$$q_{x,c} = q_{x,M} + q_{x,W} + q_{x,p} \quad (15)$$

Dabei ist

$q_{x,W}$ die axiale Einheitslast der Gewichtskraft jenes Teils des Behälters, einschließlich der Formstücke, der Anbauteile und der aufgetragenen Lasten, die oberhalb des betreffenden Punktes einwirken.

Bei $q_{x,p}$ aus Überdruck gilt:

$$q_{x,c} = q_{x,M} + q_{x,W} - q_{x,p} \quad (16)$$

Für die Schale unter Zugbelastung gilt:

$$q_x = q_{x,p} + q_{x,M} + q_{x,W} \quad (17)$$

Dabei ist

$q_{x,W}$ die axiale Einheitslast der Gewichtskraft jenes Teils des Behälterteils, einschließlich der Formstücke, des Beschickungsguts, der Anbauteile und der aufgetragenen Lasten, die unterhalb des betrachteten Punktes einwirken.

Das mithilfe von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine axiale Tragfähigkeit $zul.U_{LAM}$ haben, die mindestens dem mit Gleichung (15), (16) und (17) berechneten Wert entspricht.

Der Höchstwert von $q_{x,c}$ ist ebenfalls hinsichtlich der Stabilitätskriterien nach 10.3 zu prüfen.

10.3 Zylinderschalen unter Druckbelastung — Kritische Beulkriterien

10.3.1 Allgemeines

Die Zylinderschale ist auf eine ausreichende Wanddicke zu überprüfen, um Festigkeit gegen Versagen bei Druckbelastung in axialer oder Umfangsrichtung und gegebenenfalls einer kombinierten Belastung in axialer und Umfangsrichtung sicherzustellen.

10.3.2 Kritische Beullast in axialer Richtung

Bei Druckbelastung in axialer Richtung ist eine Kontrollrechnung durchzuführen, um sicherzustellen, dass der Bereich der Schale, der der höchsten Druckbelastung ausgesetzt ist, eine ausreichende Beulfestigkeit aufweist. Für die Berechnung der Beuleinheitslast der Schale unter Drucklast ist Gleichung (18) zu verwenden.

$$u_c = k \times \sqrt{E_{\phi b} \times E_x} \times \frac{t^2}{D} \quad (18)$$

Dabei ist

$E_{\phi b}$ der Biegemodul in Umfangsrichtung;

E_x der Axialmodul;

$$k = \frac{0,84}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \times t}}}$$

In allen Fällen gilt $\frac{u_c}{q_{xc}} \geq F$, wobei F der Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu berechnen ist, je nachdem, welcher Wert größer ist.

Bei Schalenbereichen oder Zargenauflagern mit Ausschnitten wird k für derartige Ausschnitte mit folgender Gleichung berechnet:

$$\text{wenn } \frac{d_{co}}{\left(\frac{D \times t}{2}\right)^{0,5}} \leq 3,5 \quad k = \frac{0,78}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \times t}}} \quad (19)$$

und

$$\text{wenn } \frac{d_{co}}{\left(\frac{D \times t}{2}\right)^{0,5}} > 3,5 \quad k = \frac{0,54}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \times t}}} \quad (20)$$

Dabei ist

d_{co} der Durchmesser des Ausschnitts.

10.3.3 Kritischer Beuldruck in Umfangsrichtung

Bei kurzen Zylindern mit $L_s \leq 6 \times D$ gilt:

$$p_c = 2,40 \times \sqrt[4]{E_{\phi b}^3 \times E_x} \times \frac{D}{L_s} \times \left(\frac{t}{D}\right)^{2,5} \quad (21)$$

Dabei ist

L_s die mittragende Länge des Zylinders oder der Abstand zwischen zwei Versteifungen, siehe Bild 1.

Bei langen Zylindern mit L_s oder $L > 6 \times D$ gilt:

$$p_c = 2,1 \times E_{\phi b} \times \left(\frac{t}{D}\right)^3 \quad (22)$$

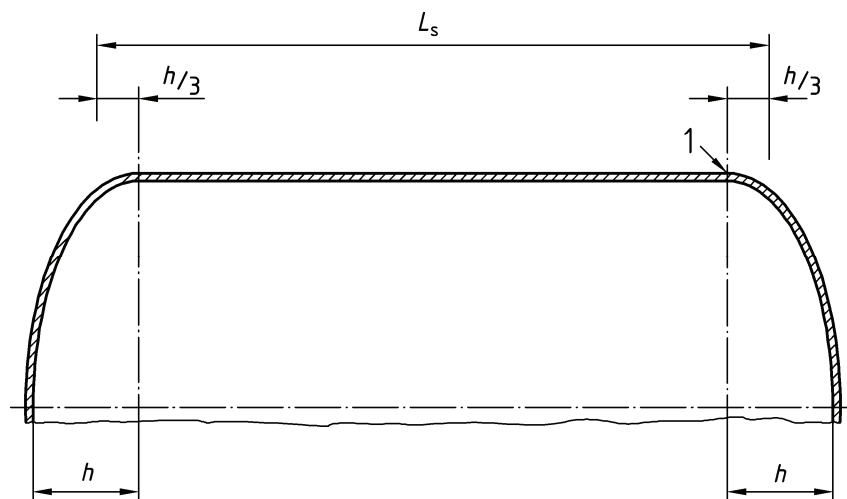
In allen Fällen gilt $\frac{p_c}{p_D} \geq F$, wobei F der Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu berechnen ist, je nachdem, welcher Wert größer ist.

10.3.4 Kombinierte axiale und radiale Drucklasten

Bei gleichzeitigem Auftreten axialer und radialer Lasten, muss die folgende Bedingung erfüllt sein:

$$\left(\frac{q_{xc} \times F}{u_c}\right)^{1,25} + \left(\frac{p_D \times F}{p_c}\right)^{1,25} \leq 1 \quad (23)$$

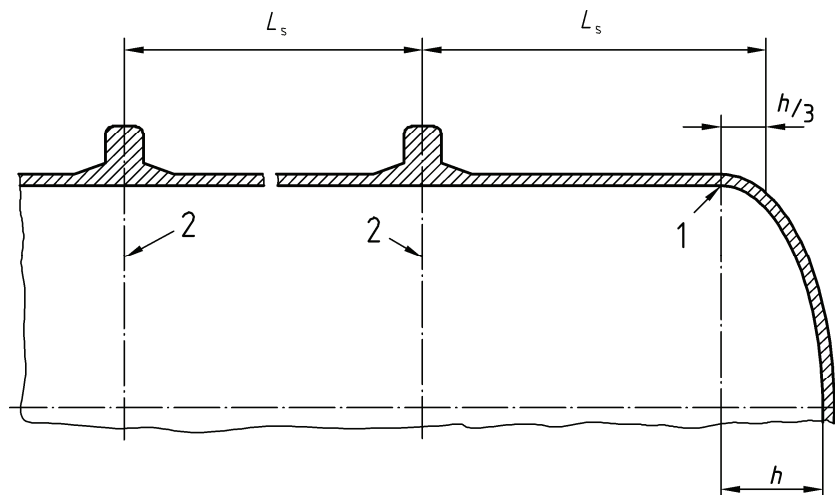
Dabei ist q_{xc} mit Gleichung (15), u_c mit Gleichung (18) und p_c mit Gleichung (21) oder (22) zu berechnen. F ist Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu berechnen, je nachdem, welcher Wert größer ist.



Legende

1 Tangentialpunkt

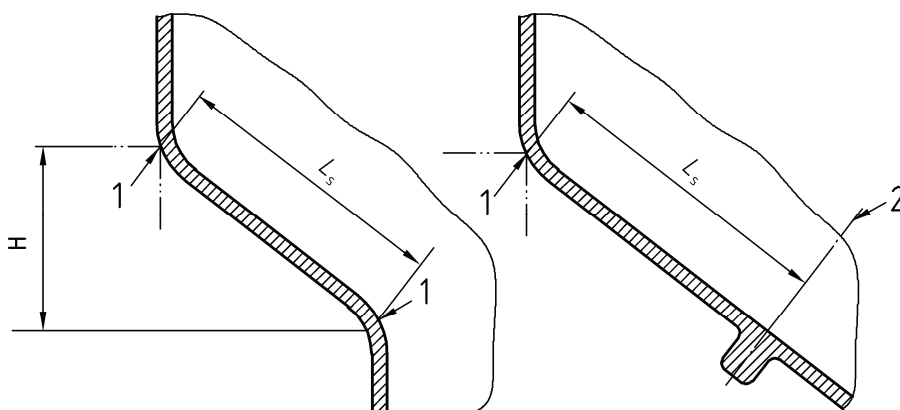
Bild 1a) — Wirksame Länge von unverteiften Zylindern



Legende

- 1 Tangentenpunkt
- 2 C_L der Versteifung

Bild 1b) — Wirksame Länge von versteiften Zylindern



Legende

- 1 Tangentenpunkt
- 2 C_L der Versteifung

Bild 1c) — Wirksame Länge zwischen Versteifungen für Kegel unter Außendruck

10.3.5 Kritischer Beuldruck für eine Zylinderschale mit äußeren oder inneren Versteifungsringen

Ergibt sich aus den Gleichungen (21) oder (22) eine unannehmbar hohe Wanddicke, kann die Schale in der Länge unterteilt und für die resultierende, kürzere, wirksame Länge mit Gleichung (24a) neu berechnet werden.

Sämtliche Versteifungsringe müssen den Zylinder vollständig umschließen, und alle Nahtstellen in den Ringen müssen so ausgeführt sein, dass die volle Steifigkeit der Ringe sichergestellt ist. Alle Ringe müssen vollflächig mit der Schale verklebt sein.

Der kritische Beuldruck p_c wird mit Gleichung (24a) berechnet.

$$p_c = \left[(E_{\phi b}^3 \times E_x)^{0,25} \times \frac{2 \times t_c}{D} \right] \times \frac{\lambda^4}{\left(m^2 - 1 + \frac{\lambda^2}{2} \right) \times (m^2 + \lambda^2)^2} + \frac{8 \times (m^2 - 1) \times E_s \times I_s}{L_s \times D_s^3} \quad (24a)$$

Dabei wird $m = 2, 3$ usw. eingesetzt, um den kleinsten Wert für p_c zu ermitteln. Ist $L > 20 \times D$, oder wenn die Auswirkung der Schale unberücksichtigt bleibt, ist die Steifigkeit des Rings mit Gleichung (24b) zu berechnen.

$$E_s \times I_s \geq \frac{p_D \times L_s \times D_s^3 \times F}{24} \quad (24b)$$

Dabei ist

- m die Umfangswellenzahl;
- E_s der Biegemodul der Versteifung, in Umfangsrichtung;
- λ der Schalenparameter;
- I_s das Trägheitsmoment zweiten Grades der Versteifung, siehe Bild 2 und 3;
- L_s der Abstand zwischen zwei Versteifungen. Sind die Abstände zwischen den Versteifungen nicht gleich, wird für L_s der Mittelwert angenommen;
- t_c die Mindestdicke der Schale von t_{c1} oder t_{c2} im Bereich der Versteifung, siehe Bild 2.

$$\lambda = \frac{\pi \times D}{2 \left\{ L_s + \frac{2}{3} h \right\}}$$

Dabei ist für F der größere der Werte aus Tabelle 6 oder Gleichung (5) zu verwenden.

In allen Fällen gilt: $\frac{p_c}{p_D} \geq F$.

- a) Die für eine massive GFK-Versteifung in Gleichung (24) zu verwendenden Abmessungen sind in Bild 2 dargestellt und werden wie folgt berechnet. Dabei ist die in dieser Gleichung eingesetzte wirksame Breite der Schale $b_s + 1,15 \times \sqrt{D \times t_c}$.

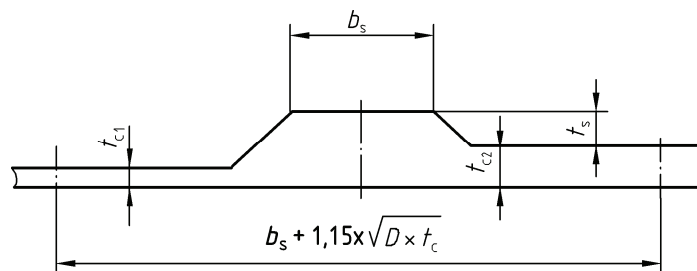


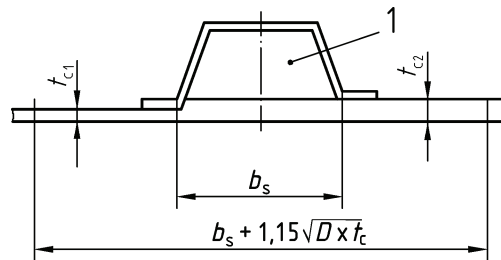
Bild 2 — Massive GFK-Versteifungen

Dabei ist $5 \times t_c \leq b_s \leq 20 \times t_s$

und $1,5 \times t_c \leq t_s \leq 4 \times b_s$

und $b_s \leq 300 \text{ mm}$.

- b) Für GFK-Versteifungen mit anderen Konfigurationen, wie z. B. in Bild 8, sind in Gleichung (24) die in Bild 3 angegebenen Abmessungen zu verwenden.



Legende

- 1 Verfüllung (Schaum) oder offen

ANMERKUNG t_c = mittlere Dicke.

Bild 3 — Andere Konfigurationen von GFK-Versteifungen

- c) Bei Versteifungsringen aus Stahl:

Gekapselte Versteifungsringe aus Stahl dürfen verwendet werden, sofern nachstehende Voraussetzungen erfüllt sind:

- 1) Statt E_s wird der E-Modul von Stahl für die Auslegung der Versteifung verwendet.
- 2) Die Auslegung stellt sicher, dass der Stahl ausreichend gegen Korrosion geschützt ist.
- 3) Die Auslegungstemperatur beträgt höchstens 60 °C.

10.4 Kegelschalen

10.4.1 Allgemeine Anforderungen

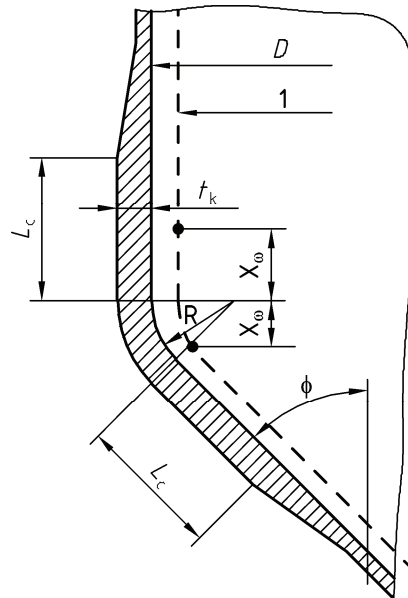
Die Geometrie von Kegelschalen muss einer der beiden in 10.4 dargestellten Formen entsprechen.

Die in Bild 4a) gezeigte Form ist mit Ausnahme der unten genannten Fälle bei allen Werkstoffen, einschließlich gewebekaschierten thermoplastischen Auskleidungen, zu verwenden; der Krempe radius R sollte vorzugsweise nicht kleiner als $0,1D$, darf jedoch nicht kleiner als $0,06D$ sein, wobei D der Durchmesser der angrenzenden Schale ist.

Die in Bild 4b) gezeigte Form darf nur bei Tanks mit gewebekaschierter Auskleidung aus Thermoplasten verwendet werden. Diese Ausführung ist auf Tanks beschränkt, die zur Lagerung mit ausschließlich statischer Belastung dienen und höchstens folgende Abmessungen haben: einen Durchmesser von 1,5 m, eine Zylinderhöhe von 2 m und einen maximalen Kegelwinkel von 120 °.

Bei allen mit Über- oder Unterdruck beaufschlagten Kegelschalen mit Krempe darf der Öffnungswinkel höchstens 150 ° betragen.

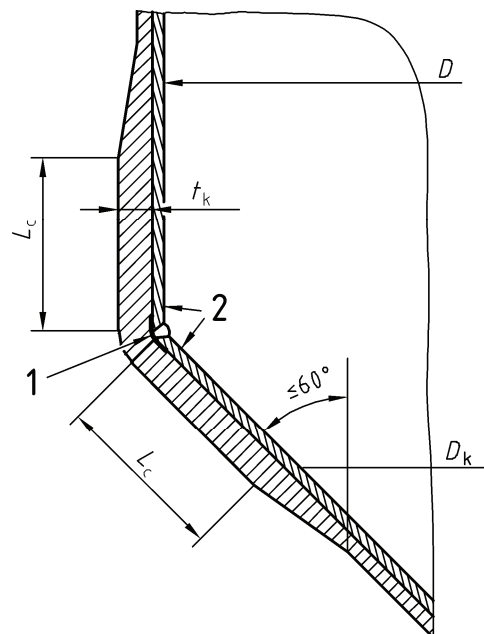
Kegelförmige Deckel von nicht mit Innen- oder Außendruck beaufschlagten Lagertanks ohne Krempe sind entsprechend 10.4.5 auszulegen. Bei einem angelegten Druck von weniger als 65 mbar bzw. einem Unterdruck von 6 mbar ist bei kegelförmigen Deckeln keine Krempe erforderlich.



Legende

- 1 Auskleidung $x_w > 80$ mm, d. h. die Lage der Schweißnähte

Bild 4a) — Kegelförmiger Abschnitt mit Krempe mit oder ohne thermoplastische Auskleidung



Legende

- 1 leitfähige Schicht hinter Schweißnaht
2 keine Hohlräume hinter der Schweißzone

Bild 4b) — Kegelförmiger Abschnitt ohne Krempe (nicht empfohlene Konstruktion)

10.4.2 Flachkegelförmige Böden

Flachkegelförmige Böden mit einem Öffnungswinkel von mehr als 150° sind entsprechend 10.9 als ebene Böden auszulegen.

10.4.3 Kegelförmige Böden unter Innendruck

10.4.3.1 Am Kegel in Umfangsrichtung angreifende Einheitslast

Bei kegelförmigen Böden mit einem Öffnungswinkel von bis zu 150 ° wird die Einheitslast in Umfangsrichtung mit Gleichung (25) berechnet.

Einheitslast in Umfangsrichtung

$$q_{\Phi} = \frac{p_D \times D_K}{(2 \cos \Phi)} \quad (25)$$

Dabei ist

Φ der halbe Öffnungswinkel des Kegels; und

D_K der Darstellung in Bild 4 zu entnehmen.

Das mithilfe von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss in Umfangsrichtung eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (25) berechneten Wert entspricht.

10.4.3.2 Axiale Einheitslast am Übergang zwischen Kegel und Krempe

a) Die axiale Einheitslast bei Böden mit der in Bild 4a) gezeigten Form wird mit Gleichung (26) berechnet:

$$q_{x1} = \frac{p_D \times D_K \times K_{c1}}{2} \quad (26)$$

Dabei ist K_{c1} Tabelle 7 entnommen.

Das mithilfe von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (26) berechneten Wert entspricht.

Tabelle 7 — Spannungskonzentrationsfaktor K_{c1} für Kegelschalen mit Krempe

$\frac{r}{D}$	K_{c1} für Φ					
	10°	20°	30°	45°	60°	75°
0,06	1,57	2,18	2,55	3,22	4,1	6,28
0,08	1,52	2,02	2,34	2,74	3,51	5,53
0,1	1,46	1,86	2,13	2,26	2,93	4,79
0,15	1,33	1,46	1,46	1,53	1,93	3,59
0,2	1,06	1,2	1,2	1,26	1,53	2,79
0,3	1	1,06	1,13	1,2	1,33	1,86

b) Bei Böden mit der in Bild 4b) gezeigten Form entspricht die axiale Einheitslast dem mit Gleichung (27) berechneten Wert

$$q_{x2} = \frac{p_D \times D_K \times K_{c2}}{2} \quad (27)$$

Dabei ist K_{c2} Tabelle 8 entnommen.

Das mithilfe von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (27) berechneten Wert entspricht.

Tabelle 8 — Konzentrationsfaktor K_{c2} für Kegelschalen ohne Krempe

$\frac{t_c}{D}$	K_{c2} für ϕ			
	15°	30°	45°	60°
0,002	2,94	5,62	8,9	13,6
0,005	2,05	3,7	5,8	8,7
0,01	1,6	2,75	4,12	6,3
0,02	1,24	2	3	4,4
0,04	1	1,55	2,2	3,2
0,05	1	1,45	2	2,75

Die für den Krempebereich berechnete Schalenverdickung muss sich über eine mit Gleichung (28) berechnete Länge L_c sowohl auf die Schale als auch auf den kegelförmigen Abschnitt erstrecken.

$$L_c = \sqrt{\frac{D \times t_k}{\cos \phi}} \quad (28)$$

Weitere Angaben zu Übergängen zwischen kegelförmigen Böden und Zylinderschalen aus faserrichtungsorientiertem Laminat, z. B. fadengewickelte Schalen, sind Anhang H zu entnehmen.

Es ist darauf zu achten, dass die zur Berechnung des Laminats verwendete Einheitslast in Längsrichtung nicht kleiner sein darf als q_ϕ , q_{x1} oder q_{x2} , sofern zutreffend, nach Gleichung (10).

10.4.4 Kegelförmige Böden unter Außendruck

10.4.4.1 Anforderung an die Festigkeit

Die Einheitslast in Umfangsrichtung ist mit Gleichung (26) zu berechnen. Das mithilfe von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (26) bis (28) berechneten Wert entspricht.

10.4.4.2 Elastische Stabilität

10.4.4.2.1 Allgemeines

Die Zylinderschale ist auf eine ausreichende Wanddicke zu überprüfen, um ihre Festigkeit gegen Versagen bei Druckbelastung und Belastung in Umfangsrichtung sicherzustellen. Es ist ferner sicherzustellen, dass der Zylinder einer kombinierten Belastung in axialer und Umfangsrichtung standhält.

10.4.4.2.2 Kritische Beullast p_c in radialer Richtung

Für kurze Kegelschalen mit $L \leq 6 \times D_m$ gilt:

$$p_c = 2,40 \times \sqrt[4]{E_{\phi b}^3 \times E_x} \times \frac{D_M}{\cos \phi \times L_S} \times \left(\frac{\cos \phi \times t}{D_m} \right)^{2,5} \quad (29)$$

Dabei ist

$L_s = \frac{H}{\cos \Phi}$ die wirksame Länge des Kegelzylinders oder der Abstand zwischen Versteifungen, siehe Bild 1;

D_m der mittlere Auslegungsdurchmesser des Kegels $= \frac{(D_1 + D_2)}{2}$.

Für lange Kegelschalen mit $L > 6 \times D_m$ gilt:

$$p_c = 2,1 \times E_{\phi b} \left(\frac{\cos \Phi \times t}{D_m} \right)^3 \quad (30)$$

In allen Fällen gilt $\frac{p_c}{p_D} \geq F$, wobei F der Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu berechnen ist, je nachdem, welcher Wert größer ist.

10.4.4.2.3 Axiale Druckbelastung

Bei Druckbelastung in axialer Richtung ist eine Kontrollrechnung durchzuführen, um sicherzustellen, dass der Bereich der Schale, der der höchsten Druckbelastung ausgesetzt ist, eine ausreichende Beulfestigkeit nach Gleichung (31) aufweist.

$$u_c = k \times \sqrt{E_{\phi b} \times E_x} \times \frac{t^2 \times \cos \Phi}{D_m} \quad (31)$$

$$\text{Dabei ist } k = \frac{0,84}{\sqrt{1 + \frac{D_m}{200 \times t \times \cos \Phi}}}$$

In allen Fällen gilt:

$$\frac{u_c}{q_x} \geq F \quad (32)$$

Dabei ist für F der größere der Werte aus Tabelle 6 oder Gleichung (5) zu verwenden, je nachdem, welcher Wert größer ist.

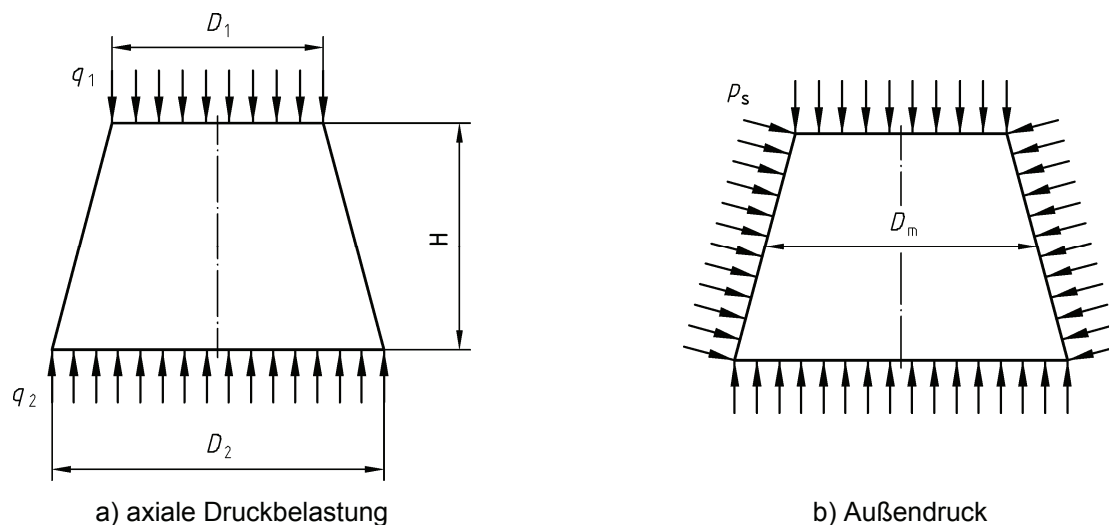


Bild 5 — Kegelschalen unter Außendruck

Dabei sind q_1 und q_2 die Normal-Einheitslasten in Längsrichtung bei Formänderung und unter der Axiallast N_{x1} sowie N_{x2} .

$$q_1 = \frac{N_{x1}}{\pi \times D_1} \quad q_2 = \frac{N_{x2}}{\pi \times D_2} \quad (33)$$

10.4.4.2.4 Kombinierte axiale und radiale Druckbelastung

Bei gleichzeitigem Auftreten axialer und radialer Lasten muss die folgende Bedingung (34) erfüllt sein:

$$\left(\frac{q_x \times F}{u_c} \right)^{1,25} + \left(\frac{p_D \times F}{p_c} \right)^{1,25} \leq F \quad (34)$$

p_c ergibt sich aus Gleichung (29) oder (30);

u_c ergibt sich aus Gleichung (31).

10.4.5 Kegelförmige Deckel

10.4.5.1 Deckel unter Innendruck

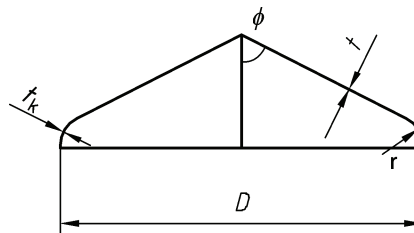


Bild 6 — Kegelförmige Deckel

Für kegelförmige Deckel mit $60^\circ \leq \phi \leq 75^\circ$ und $0 \leq \frac{r}{D} \leq 0,1$ wird die Einheitslast an der Krempe in axialer Richtung mit Gleichung (35) berechnet. Kegelförmige Deckel mit Werten außerhalb dieser Bereiche sind als ebene Platten nach 10.9 auszulegen.

$$q_x = \alpha_b \times p_D \times \frac{1}{\sin \phi \times \cos \phi} \times \left(\frac{D}{t_k} \right)^{1+\beta_b} \times t_k \quad (35)$$

Dabei ist

$$\alpha_b = 51,6 \times \left(\frac{r}{D} \right)^2 + 7,6 \times \left(\frac{r}{D} \right) + 0,13 \quad (36a)$$

$$\beta_b = 51,6 \times \left(\frac{r}{D} \right) + 1,6 - 8,18 \times \left(\frac{r}{D} \right) + 0,52 \quad (36b)$$

Das mithilfe von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss in axialer Richtung eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (35) berechneten Wert entspricht.

10.4.5.2 Kegelförmige Deckel unter Außendruck

Die Stabilität des Deckels wird mit Gleichung (37) berechnet.

$$p_c = 13,58 \times E_b \times \sin \Phi \times \cos^{1,5} \Phi \times \left(\frac{t}{D} \right)^{2,5} \quad (37)$$

Dabei ist

E_b der Einheitsbiegemodul (Mindestwert) der kegelförmigen Deckelkonstruktion.

In allen Fällen gilt:

$$\frac{p_c}{p_D} \geq F \quad (37a)$$

Dabei ist für F der größere der Werte aus Tabelle 6 oder Gleichung (5) zu verwenden.

10.5 Gewölbte Böden

10.5.1 Allgemeine Anforderungen

Gewölbte Böden müssen eine der folgenden Formen aufweisen:

Halbkugelförmiger Boden, siehe Bild 7, oder Kugeltorusboden, siehe Bild 8. Als Grenzbedingungen für diese Art von Böden gilt $0,8D \leq R < D$, und der Krepfenradius muss mindestens $0,1D$ und höchstens $0,25D$ betragen.

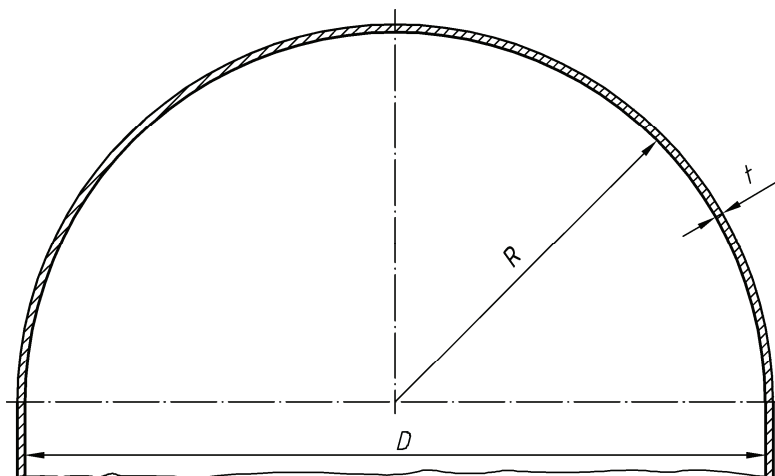


Bild 7 — Gewölbte Halbkugelböden

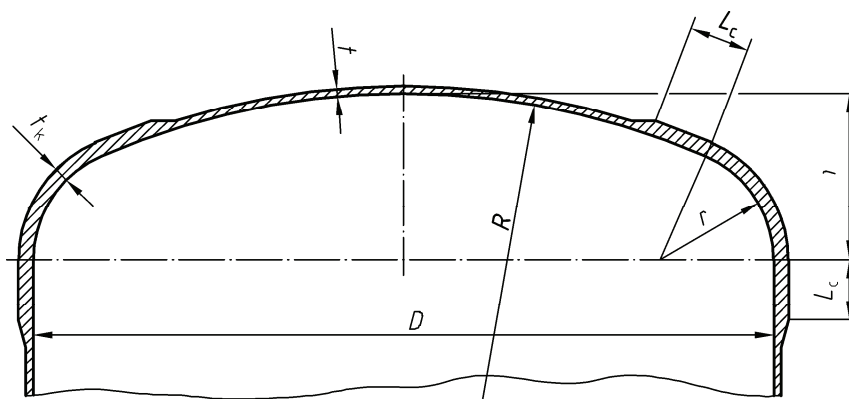


Bild 8 — Gewölbte Kugeltorusböden

10.5.2 Gewölbte Böden unter Innendruck

Die Einheitsbelastung in einem elliptischen Boden und im Krepfenbereich eines Kugeltorusbodens wird mit Gleichung (38) berechnet.

$$q_{k,p} = \frac{p_D \times D \times K_d}{2} \quad (38)$$

Der Wert der Größe K_d ist anhand von Tabelle 9 für verschiedene Dicken zu ermitteln, bis die zulässige Laminatbelastung den mit Gleichung (41) berechneten Wert übersteigt.

Die Einheitsbelastung im gewölbten Bereich eines Kugeltorus- oder halbkugelförmigen Bodens wird mit Gleichung (39) berechnet.

$$q_p = 0,6 \times p_D \times R \quad (39)$$

Dabei ist

R der Wölbungsradius.

Bei Kugeltorusböden, die im Krepfenbereich eine größere Laminatdicke als im Bereich der Wölbung erfordern können, muss sich die Laminatverdickung über eine mit Gleichung (40) berechnete Länge L_c sowohl auf die Wölbung als auch auf die Schale erstrecken.

$$L_c = \sqrt{D \times t_k} \quad (40)$$

Dabei ist

t_k die Dicke der Krempe, ermittelt über den Wert von $q_{k,p}$ aus Gleichung (38).

Das mithilfe von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (38) und (39) berechneten Wert entspricht.

Tabelle 9 — Konzentrationsfaktoren K_d für Krepfen von gewölbten Kugeltorusböden

$\frac{h_i}{D}$	$\frac{t}{D}$	Kugeltorusboden K_d	
		$R = D$	$R < D$
		$0,1 \leq \frac{r}{D} \leq 0,15$	$0,15 \leq \frac{r}{D} \leq 0,25$
0,2	0,005	2,95	unzulässig
	0,01	2,85	
	0,02	2,65	
	0,04	2,35	
	0,05	2,25	
0,25	0,01	2,35	1,90
	0,01	2,25	1,80
	0,02	2,10	1,75
	0,04	1,85	1,70
	0,05	1,75	1,70
0,32	0,005	1,95	1,45
	0,01	1,85	1,45
	0,02	1,60	1,40
	0,04	1,40	1,35
	0,05	1,30	1,30

10.5.3 Stabilität gewölbter Böden unter Außendruck

Der kritische Beuldruck wird mit Gleichung (41) berechnet.

$$p_c = 0,242 \times E_b \left(\frac{t}{R} \right)^2 \quad (41)$$

In allen Fällen gilt:

$$\frac{P_c}{P_D} \geq F \quad (42)$$

Dabei ist für F der größere der Werte aus Tabelle 6 oder Gleichung (5) zu verwenden.

10.6 Runde ebene Böden

10.6.1 Vollflächig gelagerte Flachbodentanks

10.6.1.1 Allgemeines

Ebene Böden sind mit Ausnahme der Stellen, wo Wannen oder Ablaufvorrichtungen vorgesehen sind, vollflächig zu lagern. Der nicht unterstützte Bereich des Bodens ist als flache Platte nach den Bestimmungen in 10.9 auszulegen.

Die für Abzweige in ebenen Böden vorgesehenen Abstände zwischen den Auflagerungen sind so zu bemessen, dass ausreichend Raum für Eckverstreibungen vorhanden ist (siehe Bild 15), damit örtliche Lastspitzen nicht auf die zu Ausgleichszwecken dienenden zusätzlichen Verstärkungen an den Abzweigöffnungen wirken.

Es sind Verankerungen vorzusehen, wenn unter ungünstigsten Bedingungen die Gefahr besteht, dass die Schale vom Fundament abhebt. Konstruktive Vorkehrungen gegen das Abheben von Tanks sind unter 12.5 aufgeführt, EN 13121-4 enthält Angaben über typische Anordnungen zur Bodenbefestigung.

Die baulichen Anforderungen für den unteren Abschnitt des Zylinders, einschließlich der Auslegung der Krempendicke t_k , sind wie folgt zu bestimmen.

10.6.1.2 Wenn $r > 30$ mm oder $\frac{r}{D} > 0,05$ ist,

wird die maximale axiale Einheitslast $q_{xk,1}$ an der Krempe mit folgenden Gleichungen berechnet.

a) Einheitslast $q_{xk,1}$ aufgrund des Innendrucks (hydrostatischer Druck und Überdruck)

$$q_{xk,1} = 3 \times k_p \times p_D \times D \quad (43)$$

Dabei ist

$$k_p = 0,22 + \left(0,6 + 0,056 \cdot 6 \frac{D}{t_k} \right) \times \left(\frac{2 \times r}{D} - 4,44 \left(\frac{t_k}{D} \right)^{1,15} - 0,04 \right) \quad (44)$$

und der Wert von k_p muss dabei immer $\geq 0,22$ betragen.

- b) Einheitslast $q_{xk,2}$ aus den in axialer Richtung an der Zylinderwand angreifenden Lasten Σq_{xi} durch Eigenlast, Windlasten, Gewichtslasten usw.

$$q_{xk,2} = 6 \times k_n \times \Sigma q_{x,i} \quad (45)$$

Dabei ist

$$k_n = \left| 1,38 + 0,41 \frac{r}{D} \left(\frac{D}{t_k} \right)^{1,15} - 0,077 \left(\frac{r}{t_k} \right)^2 \right| \quad (46)$$

Die Höchstwerte dieser Lasten treten in verschiedenen Positionen auf, und die Wechselwirkung der Lasten wird mit Gleichung (47) beschrieben.

$$q_{xk} = q_{xk,1} + 0,3 \times q_{xk,2} \quad (47)$$

oder

$$q_{xk} = q_{xk,2} + 0,3 \times q_{xk,1} \quad (48)$$

Der Höchstwert von q_x ist für die Auslegung zu verwenden.

Das mithilfe von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (49) berechneten Wert entspricht.

$$q_{xk,max} = -\frac{W_D}{\pi \times D} \pm \frac{4 \times M_D}{\pi \times D^2} \pm q_{xk} \quad (49)$$

Auch die mit Gleichung (11) berechnete Einheitslast in Umfangsrichtung ist daraufhin zu überprüfen, dass sie geringer ist als die Tragfähigkeit in Umfangsrichtung.

10.6.1.3 Wenn $r \leq 30 \text{ mm}$ oder $\frac{r}{D} \leq 0,05$ ist, wird die maximale axiale Einheitslast aufgrund von Innendruck (hydrostatischer Druck und Überdruck) im Bereich der Krempe mit folgenden Gleichungen berechnet.

- a) Für $t_{b1} \leq t_k$ gilt:

$$q_{x1} = 0,72 \times p_D \times D. \quad (50)$$

- b) Für $t_{b1} > t_k$ gilt:

$$q_{x1} = 0,90 \times p_D \times D. \quad (51)$$

Die maximale Einheitslast ergibt sich durch Gleichung (52).

$$q_{xk,max} = -\frac{W_D}{\pi \times D} \pm \frac{4 \times M_D}{\pi \times D^2} \pm q_{xk,1} \quad (52)$$

Das mithilfe von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (52) berechneten Wert q_{xk} entspricht. Auch die mit Gleichung (11) berechnete Einheitslast in Umfangsrichtung ist daraufhin zu überprüfen, dass sie geringer ist als die Tragfähigkeit in Umfangsrichtung.

Eine Verdickung im unteren Bereich der Schale oder im Boden muss sich, ausgehend vom Ende der Krempe, über eine mit Gleichung (53) berechnete Länge L_c erstrecken, siehe Bild 9.

Dabei ist

$$L_c = \sqrt{D \times t_k} \quad (53)$$

Bei Behältern mit gewebekaschierter thermoplastischer Auskleidung, die einen nicht ausgerundeten Schalen-Boden-Übergang aufweisen, siehe Bild 10, sind folgende Gleichungen zu verwenden.

$$q_{kx} = 1,80 \times p_D \times D \quad (54)$$

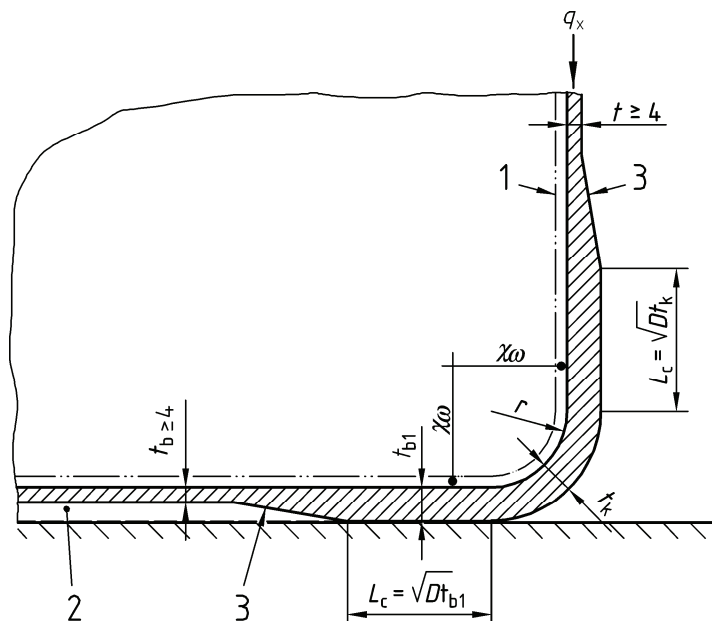
Das mithilfe von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem berechneten Wert q_{xk} entspricht.

Ausmaß örtlicher Verdickungen bei nicht ausgerundeten Übergängen:

$$L_c = 1,5 \times \sqrt{D \times t_k} \text{ für die Schale} \quad (55)$$

und

$$L_c = 1,5 \times \sqrt{D \times t_{b1}} \text{ für den Boden}$$



Legende

- 1 thermoplastische Auskleidung, wie festgelegt
- 2 Verfüllung bei Aufstellung, falls erforderlich
- 3 Neigung 1 : 6

$\chi_\omega > 80$ mm der Mindestlage der Schweißnaht

**Bild 9 — Ausgekleidete und nicht ausgekleidete Tanks und Behälter mit Krempe
(empfohlene Ausführung)**