

Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter
Teil 3: Berechnung, Konstruktion und Bauausführung
Deutsche Fassung prEN 13121-3:2001

DIN
EN 13121-3

ICS 23.020.10

Einsprüche bis 2001-08-31

GRP tanks and vessels for use above ground —
Part 3: Design and workmanship;
German version prEN 13121-3:2001

Réservoirs et appareils en PRV pour utilisation hors sol —
Partie 3: Etude et fabrication;
Version allemande prEN 13121-3:2001

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten an Chemischer Apparatebau (FNCA) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Kamekestraße 8, 50672 Köln.

Nationales Vorwort

Der Europäische Norm-Entwurf EN 13121-3:2001 ist vom Technischen Komitee CEN/TC 210 „GFK-Tanks und Behälter“ (Sekretariat: Deutschland) ausgearbeitet worden. Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. war hierfür der Gemeinschaftsausschuss „FNCA GA 210 Behälter und Apparate aus GFK“ des Normenausschusses Chemischer Apparatebau (FNCA) und des Normenausschusses Tankanlagen (NA Tank) zuständig.

Für die in Abschnitt 2 zitierten Normen wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 48 siehe E DIN ISO 48
ISO 3010 siehe DIN 4149-1
ISO 4901 siehe DIN 53394

Fortsetzung Seite 2
und 263 Seiten prEN

Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
Normenausschuss Tankanlagen (NA Tank) im DIN

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN 4149-1, *Bauten in deutschen Erdbebengebieten — Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten.*

DIN 53394, *Prüfung von Kunststoffen — Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen — Verfahren mit Wijs-Lösung.*

E DIN ISO 48, *Elastomere und Thermoplastische Elastomere — Bestimmung der Härte (Härte zwischen 10 IRHD und 100 IHRD) (ISO 48:1994).*

Deutsche Fassung

Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter
Teil 3: Berechnung, Konstruktion und Bauausführung

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

Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CEN-Mitgliedern zur Umfrage vorgelegt. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 210 erstellt.

Wenn aus diesem Norm-Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CEN-Mitglieder 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.

Dieser Europäische Norm-Entwurf wurde vom CEN in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. 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, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

Warnvermerk : Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäische Norm in Bezug genommen werden.



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

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

Inhalt

Vorwort 3

Einleitung 3

1 Anwendungsbereich 4

2 Normative Verweisungen 4

3 Begriffe 6

4 Symbole und Abkürzungen 7

5 Bereitzustellende und zu dokumentierende Informationen und Anforderungen 9

6 Werkstoffe 11

7 Mechanische Eigenschaften 12

8 Ermittlung der zulässigen Dehnung und der zulässigen Belastungen 21

9 Auslegung 22

10 Entwurfsberechnung 25

11 Geschraubte Flanschverbindungen 93

12 Unterstützungen 106

13 An- und Einbauteile 115

14 Berücksichtigung von Punktlasten 116

15 Werkseigene Qualitätslenkung 117

16 Standortgefertigte Tanks und Behälter 131

17 Kennzeichnung 132

Anhang A (informativ) Produktprüfung für die Serienfertigung oder die Fertigung von Losen 134

Anhang B (informativ) Konformitätsbescheinigung und Anforderungen an Tanks und Behälter für Betriebsdrücke über 0,5 bar 137

Anhang C (normativ) Druck- und Dichtheitsprüfung 154

Anhang D (normativ) Prüfverfahren 156

Anhang B (normativ) Laminiererprüfung 176

Anhang C (normativ) Schweißerprüfung 180

Anhang D (normativ) Berechnungsverfahren für Spannungen durch Punktlasten 185

Anhang E (normativ) Auslegungsverfahren für gewickelte Lamine 228

Anhang F (informativ) Auslegung gegen Erdbebenlasten 241

Anhang G (normativ) Tanks und Behälter unter Windlast 244

Anhang H (informativ) Ableitung der Laminatkennwerte von den Kennwerten der Laminatschichten 248

Anhang I (normativ) Technische Anforderungen an Formflansche 253

Anhang J (informativ) Liegende Behälter 254

Anhang K (informativ) Schrifttum 262

Anhang ZA (informativ) Abschnitte in dieser Europäischen Norm, die grundlegende Anforderungen oder andere Vorgaben von EU-Richtlinien betreffen 263

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 210 „GFK-Tanks und -Behälter“ erarbeitet.

Der Text dieses Norm-Entwurfs wurde vom CEN/TC 210 am xx.yy.1998 angenommen und zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Diese Europäische Norm fällt unter die Druckgeräte-Richtlinie (DGRL) und enthält wesentliche Anforderungen dieser EG-Richtlinie.

Diese Europäische Norm muss bis spätestens zum xx.yy.199z entweder durch Veröffentlichung einer gleichlautenden Fassung oder durch Einführung den Status einer nationalen Norm erhalten; entgegenstehende nationale Normen müssen bis zu diesem Zeitpunkt zurückgezogen werden.

In Übereinstimmung mit der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind folgende Staaten verpflichtet, diese Europäische Norm anzuwenden: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien und das Vereinigte Königreich.

Einleitung

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

Teil 1: Ausgangswerkstoffe — Annahme- und Anwendungsbedingungen

Teil 2: Verbundwerkstoffe — Chemische Widerstandsfähigkeit

Teil 3: Auslegung und Bauausführung

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.

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.

Teil 1 dieser Norm enthält die Anforderungen und Annahmebedingungen für die Ausgangswerkstoffe — Harze, Härter, thermoplastische Auskleidungen sowie Verstärkungs- und Zusatzwerkstoffe — sowohl hinsichtlich ihrer werkstofftechnischen Eigenschaften als auch hinsichtlich des Fertigungsverfahrens. Diese Anforderungen müssen eingehalten werden, um die chemische Widerstandsfähigkeit nach Teil 2 sowie in Teil 3 geforderten mechanischen, thermischen und konstruktiven Merkmale zu erfüllen. Bei Zugrundelegung der in Teil 3 angegebenen Bedingungen für die Bauausführung und gleichzeitiger Erfüllung der Anforderungen und Annahmebedingungen für die Ausgangswerkstoffe ist gewährleistet, 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.

1 Anwendungsbereich

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

Die Begriffe Behälter und Tank im Sinne der vorliegenden Europäischen Norm umfassen auch Stutzen bis zur Verbindung mit Rohrleitungen oder anderen Anlagenteilen, wie 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 bei Temperaturen zwischen -30 und $+120$ °C ausgesetzt sind.

ANMERKUNG Es ist möglich, dass auf Grund der Entwicklung auf dem Gebiet der Harztechnologie Tanks und Behälter zukünftig für Betriebstemperaturen über $+120$ °C geeignet sind. Tritt diese Situation ein und ein Hersteller will sich diese Entwicklungen zu Nutze machen, so haben alle anderen Anforderungen der Norm weiterhin Gültigkeit, und die Konstruktion der betreffenden Tanks und Behälter muss jedoch nach dem unter 7.8.3 aufgeführten Verfahren erfolgen.

Die vorliegende Europäische Norm gilt nicht für:

- Tanks und Behälter für den Transport von Fluiden;
- unterirdische Lagertanks;
- kugelförmige Behälter;
- Tanks und Behälter mit unregelmäßiger Form;
- Doppelwandige Tanks und Behälter mit doppelter Sicherheitshülle;
- gewickelte Druckbehälter mit blasgeformten, rotationsgegossenen oder spritzgegossenen Auskleidungen (siehe prEN XYZ);
- Tanks und Behälter, die bei Explosion oder Undichtheit die Emission radioaktiver Strahlungen zur Folge haben können;
- einteilige und mehrteilige oberirdische für die Lagerung von Kaltwasser (siehe prEN 13280).

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

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

EN 60, *Glasfaserverstärkte Kunststoffe — Bestimmung des Glühverlustes.*

EN 61, *Glasfaserverstärkte Kunststoffe — Zugversuch.*

EN 62, *Glasfaserverstärkte Kunststoffe — Normalklima für Vorbehandlung und Prüfung.*

EN 764, *Druckgeräte — Terminologie und Symbole — Druck, Temperatur, Volumen.*

EN 10002-2, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 2: Prüfung der Kraftmesseinrichtung von Zugprüfmaschinen.*

EN 10002-4, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 4: Prüfung von Längenänderungs-Messeinrichtungen für die Prüfung mit einachsiger Beanspruchung.*

prEN 13121-1, *Oberirdische GFK-Tanks und –Behälter — Teil 1: Ausgangsmaterialien — Annahme- und Anwendungsbedingungen.*

prEN 13121-2:1998-08, *Oberirdische GFK-Tanks und –Behälter — Teil 2: Verbundwerkstoffe — Chemische Widerstandsfähigkeit.*

prEN 13121-4, *Oberirdische GFK-Tanks und –Behälter — Teil 4: Auslieferung, Aufstellung und Instandhaltung.*

prEN 13280, *Anforderungen für ein- und mehrteilige GFK-Tanks zur oberirdischen Lagerung von Kaltwasser.*

EN 22592, *Mineralölerzeugnisse — Bestimmung des Flamm- und Brennpunktes im offenen Tiegel nach Cleveland (ISO 2592:1973).*

EN ISO 75-2, *Kunststoffe — Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur — Teil 2: Kunststoffe und Hartgummi (ISO 75-2:1993).*

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

EN ISO 899-1, *Kunststoffe — Bestimmung des Kriechverhaltens — Teil 1: Zeitstand-Zugversuch (ISO 899-1:1993).*

EN ISO 899-2, *Kunststoffe — Bestimmung des Kriechverhaltens — Teil 2: Zeitstand-Biegeversuch bei Dreipunktbelastung (ISO 899-2:1993).*

EN ISO 9001, *Qualitätsmanagementsysteme — Forderungen (ISO 9001:1999).*

EN ISO 9002, *Qualitätsmanagementsysteme — Modell zur Darlegung des Qualitätsmanagementsystems in Produktion, Montage und Wartung (ISO 9002:1994).*

EN ISO 9003, *Qualitätsmanagementsysteme — Modell zur Qualitätssicherung/QM-Darlegung bei der Endprüfung (ISO 9003:1994).*

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

ENV 1991-2-3, *Eurocode 1: Konstruktionsgrundlagen und Wirkungen auf Bauwerke — Teil 2-3: Wirkungen auf Bauwerke — Schneelasten.*

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

ENV 1993-1-1/A1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau — Ergänzung A1.*

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

ENV 1993-1-3, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Regeln — Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche.*

ENV 1993-1-4, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen.*

ENV 1998-1-1, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1-1: Grundlagen — Erdbebeneinwirkungen und allgemeine Anforderungen an Bauwerke.*

ISO 48, *Gummi oder Thermoplaste — Bestimmung der Härte (Härte zwischen 10 IRHD und 100 IRHD).*

ISO 3010, *Berechnungsgrundlagen für Bauten — Erdbebenkräfte auf Bauwerke.*

ISO 3915, *Kunststoffe — Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes von leitfähigen Kunststoffen.*

ISO 4901, *Verstärkte Kunststoffe basierend auf ungesättigten Polyesterharzen — Bestimmung des Restgehaltes an Styren-Monomer.*

IEC 60721-2-6/CEI 60721-2-6, *Klassifikation von Umgebungsbedingungen — Teil 2: In der Natur auftretende Umweltbedingungen; erdbebenbedingte Schwingungen und Stoßbelastung.*

Richtlinie 97/23/EC des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Druckgeräte.

3 Begriffe

Im Sinne dieser Europäischen Norm gelten folgende Definitionen:

3.1

Hersteller

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

3.2

Käufer

Unternehmen oder Person, das bzw. die den fertiggestellten Behälter oder Tank kauft und die Produktforderungen 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 hydrostatischen Flüssigkeitsdruck ausgesetzt und zur Atmosphäre frei belüftet ist, einschließlich der Stutzen bis zur ersten Flanschverbindung

3.6

Laminat

textilglasverstärkter Harzformstoff

3.7

Oberflächenschicht

dünne Harzschicht an der Oberfläche eines Laminats mit oder ohne Einlagen aus Textilglas- oder Synthetikvliesen

3.8

Härtung

chemische Reaktion des Harzes bei Herstellung des Laminats

3.9

thermische Nachbehandlung

Erwärmung zur Aushärtung des Harzformstoffs

3.10

maximal zulässiger Druck

(*PS*)

höchster Druck, für den der Druckbehälter nach Angaben des Herstellers ausgelegt ist

3.11**Differenzdruck**

Druck, der sich rechnerisch als Differenz zwischen den auf beiden Seiten eines Bauteils herrschenden Drücken ergibt

3.12**Berechnungsdruck**

p_c
Differenzdruck, der zur Berechnung eines Bauteils dient. Im Sinne dieser Norm sind die drei aufgeführten Definitionen identisch; in Berechnungsgleichungen entfällt der Index „c“

3.13**Auslegungstemperatur (höchstzulässige/niedrigstzulässige Temperatur)**

T_D (TS)

Höchst- bzw. Mindesttemperatur, für die der Tank oder der Behälter nach Angaben des Herstellers ausgelegt ist

3.14**Prüftemperatur**

Temperatur, bei der die Druckprüfung an dem Gerät vorgenommen wird

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Zwecke dieser Norm gelten die in Tabelle 1 angegebenen Symbole und Abkürzungen.

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

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbol	Einheit	Eigenschaft
A	mm	Abstand
a	mm	Abmessung
b	mm	Abmessung
d	mm	Durchmesser
D	mm	Innendurchmesser
Δ	—	Unterschied
E	N/mm ²	Elastizitätsmodul
ε	%	Dehnung
F	—	Auslegungsfaktor gegen Beulversagen
Φ	°	Halber Kegelwinkel
Θ	°	Umschlingungswinkel des Auflagers
$\emptyset$	—	Radialrichtungsindex
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
h	mm	Innenhöhe des gewölbten Bodens (ohne zylind. Bord)
H	mm	Gesamthöhe
I	mm ⁴	Trägheitsmoment
k	—	Auslegungsfaktor gegen Bruchversagen
K	—	Beiwert, Faktor
l	mm	Länge
L	mm	Gesamtlänge
m	kg/m ²	Biegemoment
M	Nmm	Flächenbezogene Masse
n	N/mm	Schnittlast
o	—	Allgemeines Symbol
ν	—	Querkontraktionszahl
P	N	Last
p	bar	Druck
q	N/mm	Schnittlast
Q	N	Querkraft
r	mm	Krempenradius
R	mm	Kalottenradius
ρ	kg/m ³	Dichte
σ	N/mm ²	Spannung
T	°C	Temperatur
T_D	°C	Auslegungstemperatur
t	mm	Dicke
τ	N/mm ²	Schubspannung

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Eigenschaft
u	N/mm	zulässige Schnittlast
U	N/mm je kg/m ²	Schnittlast des Laminats, bezogen auf die Textilglasmenge
V	m ³	Volumen
W	kg	Masse
x	—	Axialrichtungsindex
X	N/mm je kg/m ²	Schnittmodul des Laminats, bezogen auf die Textilglasmenge
Abkürzungen		
CSM	—	Matte, Wirrfaserlage
ECTFE	—	Ethylen-Chlortrifluorethylen-Copolymerisat
EP	—	Epoxidharz
FEP	—	Fluoriertes Ethylen-Propylen-Copolymerisat
FU	—	Furanharz
FW	—	Wickellage
HDT	°C	Wärmeformbeständigkeitstemperatur
IRHD	°	Internationaler Gummihärtegrad
ln		Natürlicher Logarithmus
PF	—	Phenolformaldehydharz
PFA	—	Perfluoralkoxid-Copolymerisat
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

5 Bereitzustellende und zu dokumentierende Informationen und Anforderungen

5.1 Allgemeines

Die maßgebenden Anforderungen, die in dieser Norm enthalten sind, und die Dokumentation müssen erfüllt werden, bevor ein Anspruch auf Übereinstimmung mit dieser Norm festgestellt und bestätigt werden kann.

5.2 Dem Hersteller bereitzustellende Unterlagen

Der Hersteller muss vom Käufer oder seinem Vertreter ausreichende Angaben erhalten, um die Auslegung und die Bauausführung entsprechend den Anforderungen dieser Norm einhalten zu können. Derartige Angaben sind z. B.:

- Einzelheiten über die als Beschickungsgut vorgesehenen Fluiden
- Auslegungsdruck (Über- oder Unterdruck) und Auslegungstemperatur sowie Prüfbedingungen
- Betriebsbedingungen
- Angaben zu etwaigen zusätzlichen Belastungen (Personal/Bewegung des Behälterinhalts usw.)
- Forderungen hinsichtlich der Aufstellung des Behälters/Tanks
- Gegebenenfalls bereits verfügbare Angaben über die Eignung von Harzen oder Thermoplasten für die vorgegebenen Bedingungen
- Anzuwendende 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 Unterlagen müssen folgende Angaben enthalten:

Gewölbte Böden: Lagenaufbau, Kalottenradius, Innenradius der Krempe oder, bei elliptischer Form, die Wanddicke und den Innen- oder den Außendurchmesser.

Mantelschale: Lagenaufbau, Wanddicke, Durchmesser.

Flansche (einschließlich Blindflansche): Bezeichnung und Nenngößen nach Tabelle 20 und 21; bei nicht genormten Flanschen: Mindestdicke, Bohrungen, Teilungsdurchmesser, Abmessungen des Flanschansatzes und Angaben zur Dichtfläche.

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

Abzweige, Stutzen, Ausläufe: Lagenaufbau, Wanddicke, Außendurchmesser, Art des Zusammenbaus, Abmessungen und Durchstecklänge, erforderlichenfalls angegebene Lasten, Positionen der Ausschnitte.

Verstärkungen: Angaben zu Stutzen, Unterstützungen, Hebeösen usw.

Deckel, Einsteigeöffnungen: Lagenaufbau, Abmessungen einschließlich Mindestdicke, Bolzenlöcher und Lochkreisdurchmesser.

Kegelförmige Abschnitte: Lagenaufbau, Mindestdicke und Länge der Kegelschale einschließlich Öffnungswinkel und Durchmesser.

Auflager (liegender Tank/Behälter): Anzahl der Sättel, Abmessungen einschließlich Grundplatte, Abstand von der Wölbungskante des Bodens bis zur Auflagermitte, Abstand zwischen den Auflagern Höhe der Tank-/Behälterachse über der Grundplatte.

Abstützungen (stehender Tank/Behälter): Abmessungen der Standzarge einschließlich Durchmesser, Höhe, Wanddicke, Lagenaufbau sowie Art der Verbindung mit Mantel oder Boden und Lage des Restablaufs; bei Verwendung der Standfüße Höhe usw. Durchmesser und Breite des Tragrings, Durchmesser, Anzahl und Teilung der

Befestigungsbohrungen; bei Verwendung von Flachböden: Angaben zur Ebenheit (siehe prEN 13121-4), Lage des Restablaufs.

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

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

Einbauten: Stützen, Auflagen von Böden usw.

Toleranzen: Zusätzliche Toleranzen, die über die in 15.6 geforderten hinausgehen.

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

5.4 Abschließende Dokumentation

Die abschließende Dokumentation muss 15.4 entsprechen.

6 Werkstoffe

6.1 Allgemeines

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

Die Herstellerempfehlungen 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 Forderungen in 6.4 erforderlich.

Thixotropiermittel dürfen in begrenztem Umfang verwendet werden, vorausgesetzt sie beeinträchtigen weder die Sichtprüfung (siehe Tabelle 30) noch die in prEN 13121-2 geforderten chemischen Eigenschaften.

6.2 Schutzschichten

6.2.1 Allgemeines

Die Schutzschicht ist entsprechend den Forderungen von prEN 13121-2 auszulegen. Chemieschutzschichten und Thermoplastauskleidungen bleiben bei Stabilitäts- und Festigkeitsberechnungen unberücksichtigt.

6.2.2 Thermoplastische Auskleidungen

Thermoplastische Auskleidungen werden nach prEN 13121-2:—, in 4.4, als TPL bezeichnet.

Wird als Schutzschicht eine thermoplastische Auskleidung verwendet, so muss bei Prüfung nach den Verfahren D.8 und D.9 von Anhang D (normativ) die Haftfestigkeit zwischen Auskleidung und Laminat gegen Abscheren mindestens 7 N/mm² und gegen Abschälen mindestens 5 N/mm Breite betragen, damit die Gütebedingungen erfüllt sind. Eine Abnahme der Haftfestigkeit unter Betriebsbedingungen ist dabei berücksichtigt; es darf im Betrieb jedoch nicht zur Ablösung der thermoplastischen Auskleidung kommen, und die darunterliegende Harzschicht muss eine ausreichende Widerstandsfähigkeit aufweisen.

Tabelle 2 — Dicke von Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Formstoffen

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

6.2.3 Schutzschichten auf Harzbasis

Eine Schutzschicht auf Harzbasis muss auf der mediumberührten Seite des Laminates wie folgt aufgebaut sein:

- Harzreiche Schicht mit einer nach prEN 13121-2:—, in 4.2, als SPL bezeichnet, ohne (RL) oder mit einfacher oder doppelter Vlieseinlage (VL) aus C-Textilglas, Synthetik- oder Kohlefasern. Die Dicke dieser harzreichen Schicht muss zwischen 0,50 und 1,00 mm betragen.

und/oder

- zusätzlichen Wirrfaserlagen mit einer flächenbezogenen Masse von mindestens 0,9 kg/m² und einem Massenanteil zwischen 25 und 35 % Textilglas; in prEN 13121-2:—, in 4.3, als CRL bezeichnet.

6.3 Entflammbarkeit

Sofern vorgeschrieben muss die Ausführung der äußeren Schicht(en) derart geändert werden, dass die Flamm- ausbreitung den Forderungen entspricht.

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

6.4 Elektrische Eigenschaften

In Fällen, in denen eine elektrostatische Aufladung zu Schwierigkeiten führen kann, darf bei Prüfung nach Verfahren D.13 von Anhang D (normativ) der Oberflächenwiderstand oder der Durchgangswiderstand der mediumberührten Flächen des Behälters oder Tanks nicht mehr als 10⁶ Ω betragen.

7 Mechanische Eigenschaften

7.1 Allgemeines

Die Festigkeitseigenschaften des Laminats müssen bei Prüfung nach den Verfahren D.5 und D.6 von Anhang D (normativ) 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...45 %

Lamine aus Rovinggewebe (WR): 45...55 %

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

Der Hersteller darf andere als die in Tabelle 3 angegebenen Festigkeitswerte verwenden, vorausgesetzt, die Werte wurden in statistisch gesicherten Werkstoffprüfungen ermittelt und werden bei der Fertigung überprüft (siehe Tabelle 3).

7.2 Wärmeformbeständigkeitstemperatur

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

7.3 Laminataufbau

Um dem Laminat die geforderte Mindestschubfestigkeit zu geben, muss jeweils zwischen zwei Lagen Rovinggewebe immer mindestens eine Wirrfaserlage liegen.

Die äußere Laminatschicht des Tanks oder Behälters, muss eine Wirrfaserlage mit einer flächenbezogenen Masse mindestens 450 g/m² enthalten und ist mit einer Oberflächenvlieschicht zu versehen.

Tabelle 3 — Mindestkennwerte für Laminatschichten

Verstärkung	Richtung	Merkmal	Massenbezogene Schnittlast U_z N/mm je kg/m ²	Massebezogener Schnittmodul X_z N/mm je kg/m ²	Schub- festigkeit τ N/mm ²	Schub- modul G N/mm ²
CSM	Alle		200	14 000	50	2 200
CSM (FU, PF)	Alle		140	14 000		
WR	Schuss	$x > 1/6$	$500 \times \xi$	$4\,000 + 24\,000 \times \xi$		
	Kette	$x < 1/6$ $x \geq 5/6$ $x < 5/6$	60 $500 \times (1-\xi)$ 60	$4\,000$ $4\,000 + 24\,000 \times (1-\xi)$ $4\,000$		
WR (FU, PF)	Schuss	$x > 1/6$	$320 \times \xi$	$4\,000 + 24\,000 \times \xi$		
	Kette	$x < 1/6$ $x > 5/6$ $x < 5/6$	40 $500 \times (1-\xi)$ 40	$4\,000$ $4\,000 + 24\,000 \times (1-\xi)$ $4\,000$		
FW	tangential	$88^\circ < \Theta < 90^\circ$	500	28 000		
	axial	$88^\circ < \Theta < 90^\circ$	60	4 000		
FW (FU, PF)	tangential	$88^\circ < \Theta < 90^\circ$	280	28 000		
	axial	$88^\circ < \Theta < 90^\circ$	40	4 000		

Dabei ist:

ξ = Verhältnis der Textilglasmasse je Breitereinheit in Schussrichtung des Abschnitts zur Gesamtmasse des Textilglases (Kette und Schuss) je Breitereinheit

Θ = Winkel zwischen Wickelrichtung und Zylinderachse

U_z = Massebezogene Schnittlast (UTUS), d. h. die Tragfähigkeit einer Verstärkungslage, ausgedrückt als Kraft pro Breitereinheit und flächenbezogener Textilglasmasse

X_z = Massebezogener Elastizitätsmodul, d. h. das Verhältnis der Tragfähigkeit, ausgedrückt als Kraft pro Breitereinheit zur entsprechenden Dehnung in einer zugbeanspruchten Verstärkungslage und der flächenbezogenen Textilglasmasse.

χ' = Massenverhältnistextilglas in Kett- (Schuss-) Zuschuss- (Kett-) -richtung.

7.4 Einzelschichtdicke

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

$$t_z = \frac{1}{2,56} + \frac{(100 - m_g)}{m_g \times p_r} \quad (1)$$

Dabei ist:

t_z = Dicke je flächenbezogener Masse eines Laminats des Typs z (mm je kg/m² Glas)

m_g = Masseanteil des Glases an der Gesamtmasse (%)

p_r = Dichte des Harzes (kg/m³)

7.5 Lamineigenschaften

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

7.6 Interlaminare Schubfestigkeit

7.6.1 Schubfestigkeit zwischen einzelnen Laminatschichten

Die Schubfestigkeit zwischen einzelnen Laminatschichten muss bei Prüfung nach Verfahren D.7 von Anhang D (normativ) den in Tabelle 4 angegebenen Mindestwerten entsprechen.

Tabelle 4 — Interlaminare Mindestschubfestigkeit

Verstärkungsart	Mindestschubfestigkeit
CSM (UP, VE, EP) CSM (FU, PF)	7,0 N/mm ² 5,0 N/mm ²
WR (UP, VE, EP) WR (FU, PF)	6,0 N/mm ² 4,0 N/mm ²
FW (UP, VE, EP) FW (FU-PF)	6,0 N/mm ² 4,0 N/mm ²

7.6.2 Schubfestigkeit zwischen thermoplastischer Auskleidung und Laminatschicht

Bei Verwendung einer thermoplastischen Auskleidung muss bei Prüfung nach Verfahren D.8 von Anhang D (normativ) die Haftfestigkeit zwischen Laminatschicht und thermoplastischer Auskleidung gegen Schubbeanspruchung mindestens 7,0 N/mm² betragen.

ANMERKUNG Eine Abnahme der Haftfestigkeit unter Betriebsbedingungen ist berücksichtigt; es darf im Betrieb jedoch nicht zur Ablösung der thermoplastischen Auskleidung kommen.

7.7 Schälfestigkeit

7.7.1 Schälfestigkeit zwischen einzelnen Laminatschichten

Bei Prüfung nach Verfahren D.9 von Anhang D (normativ) muss die Schälfestigkeit zwischen zwei Wirrfaser-schichten oder einer Wirrfaser- und einer Rovinggewebeschiicht mindestens 5 N/mm Breite betragen.

7.7.2 Schälfestigkeit zwischen thermoplastischer Auskleidung und Laminatschicht

Bei Verwendung einer thermoplastischen Auskleidung muss bei Prüfung nach Verfahren D.9 von Anhang D (normativ) die Schälfestigkeit zwischen Laminatschicht und thermoplastischer Auskleidung mindestens 5,0 N/mm Breite betragen.

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) unterliegen, unter dem Gesichtspunkt von Schnittlasten betrachtet.

Der Hersteller darf bei der Auslegung von den in Tabelle 3 aufgeführten Mindestkennwerten ausgehen, die anhand von Prüfung nach Abschnitt 7.8.2 nachzuweisen sind; dieses Verfahren wird als „**Standardmäßige Auslegung**“ bezeichnet. Als Alternative hierzu ist es möglich, in einem als „**Weiterentwickelte Auslegung**“ bezeichnetes **Verfahren nach 7.8.3** zu arbeiten, bei dem ein erweitertes Prüfprogramm durchgeführt wird, anhand dessen eine erhöhte Ausnutzung der betreffenden Laminatstruktur ermöglicht wird.

7.8.2 Standardmäßige Auslegung

Die geforderten Mindesteigenschaften sind durch Prüfung von fünf verschiedenen Proben nachzuweisen:

- (1) Textilglasgehalt (Glühverlust), Anhang D (normativ), Prüfverfahren D.2
- (2) Schnittmodul (ausgedrückt als Last, die zu einer Dehnung von 0,25 % führt), Anhang D (normativ), Prüfverfahren D.6
- (3) Zugfestigkeit bei Bruch (Prüfung unter (2), fortgesetzt bis zum Versagen), Anhang D (normativ), Prüfverfahren D.5
- (4) Interlaminare Schubfestigkeit (ausgedrückt in der über eine bestimmte Länge wirkenden maximalen Schubspannung), Anhang D, Prüfverfahren D.7
- (5) Biegefestigkeit und Biegemodul, Anhang D (normativ), Prüfverfahren D.22
- (6) Barcol-Härte, Anhang D (normativ), Prüfverfahren D.12
- (7) Kriechneigung, Anhang D (normativ), Prüfverfahren D.11

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

- (8) Schubfestigkeit (zur Ermittlung der Haftfestigkeit zwischen Auskleidung und angrenzender Laminatschicht über eine bestimmte Länge), Anhang D (normativ), Prüfverfahren D.8
- (9) Schälfestigkeit (zur Ermittlung der Haftfestigkeit zwischen Auskleidung und angrenzender Laminatschicht bei Schälbeanspruchung), Anhang D (normativ), Prüfverfahren D.9
- (10) Zugfestigkeit bei Bruch des Auskleidungswerkstoffes, Anhang D (normativ), Prüfverfahren D.3
- (11) Zugfestigkeit bei Bruch der Schweißverbindung, Anhang D (normativ), Prüfverfahren D.3

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

(a) Bildung des arithmetischen Mittels aus den 5 Prüfergebnissen

oder

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

Die nach (a) oder (b) berechneten Werte müssen mindestens den in Tabelle 3 geforderten Festigkeitswerten entsprechen.

7.8.3 Weiterentwickelte Auslegung

Bei dieser Auslegung ergibt sich eine bessere Ausnutzung der mechanischen Eigenschaften, sofern bei dem im 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 V haben, lässt sich die Standardabweichung s vom Mittel der Prüfergebnisse nach folgender Gleichung berechnen:

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

Dabei ist:

s = Standardabweichung

N = Anzahl der Prüfungen

V = Einzelwert,

$\bar{V}$ = arithmetisches Mittel

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

Dabei ist:

$$k = 1,6 + \frac{0,4}{N} \quad (3)$$

Liegen bereits nachgewiesene Prüfdaten vor, so ist der Kennwert zu überprüfen, indem weitere 5 Proben geprüft werden und das Mittel aus den Ergebnissen aller 5 Prüfungen oder — unter Streichung des höchsten und niedrigsten Wertes — aus den Ergebnissen von 3 Prüfungen gebildet wird. Der niedrigste auf diese Weise berechnete Werte muss größer sein als der Kennwert des weiterentwickelten Auslegungsverfahrens. Liegen die Prüfergebnisse unter den als Vergleichswerte herangezogenen Daten aus früheren Prüfungen, so ist eine Neubewertung der Tank- bzw. Behälterauslegung erforderlich.

7.8.4 Auslegungsfaktoren

Auf die gemäß 7.8 berechneten Kennwerte sind die Auslegungsteilfaktoren wie folgt anzuwenden:

Der Auslegungsfaktor gegen Bruchversagen K der Teilfaktoren 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 5 angegeben (siehe auch Abschnitt 15.2 zu den die Auslegungskriterien betreffenden Forderungen für die Qualitätslenkung).

Tabelle 5 — Auslegungsteilfaktoren

Auslegungsteilfaktoren		Kleinstwert	Größtwert
Einfluss des Fertigungsverfahrens und der Qualitätsstufe	A_1	1,00	2,00
Einfluss von Beschickungsgut und Umgebungsbedingungen	A_2	1,10	1,80
Einfluss der Auslegungs- und Wärmeformbeständigkeitstemperatur	A_3	1,00	1,40
Einfluss von Wechselbeanspruchungen (Lasten, Temperaturen)	A_4	1,00	2,00
Einfluss des Langzeitverhaltens	A_5	1,25	2,40

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

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

7.8.4.1 Bestimmung des Auslegungsteilfaktors A_1

A_1 ist der Auslegungsteilfaktor, durch den der Einfluss des Fertigungsverfahrens und der Qualitätslenkung berücksichtigt wird:

- $A_1 = 2$ wenn die maximal zulässige Last anhand der in Tabelle 3 aufgeführten Kennwerte ermittelt wird, ohne dass ein Nachweis in Form einer Prüfung erfolgt;
- $A_1 = 1,5$ wenn die maximal zulässige Last anhand der in Tabelle 3 aufgeführten Kennwerte ermittelt wird, ein Nachweis durch Vergleich mit bereits vorliegenden Prüfergebnissen erfolgt und der Fertigungsprozess einer hinreichenden Qualitätslenkung unterliegt (siehe Tabelle 6);
- $A_1 = 1,3$ wenn die maximal zulässige Last anhand der in Tabelle 3 aufgeführten Kennwerte ermittelt wird, ein Nachweis durch Prüfung von Laminatmustern nach 7.8.2 erfolgt und der Fertigungsprozess einer hinreichenden Qualitätslenkung unterliegt (siehe Tabelle 6);
- $A_1 = 1,2$ wenn die maximal zulässige Last anhand der in Tabelle 3 aufgeführten Kennwerte ermittelt wird, ein Nachweis durch Prüfung von Mustern aus dem betreffenden Behälter oder Tank nach 7.8.2 erfolgt und der Fertigungsprozess einer hinreichenden Qualitätslenkung unterliegt (siehe Tabelle 6);
- $A_1 = 1,1$ wenn die maximal zulässige Last durch Prüfung von Laminatmustern nach 7.8.3 ermittelt wird und der Fertigungsprozess einer hinreichenden Qualitätslenkung unterliegt (siehe Tabelle 6);
- $A_1 = 1,0$ wenn die maximal zulässige Last durch Prüfung von Proben aus dem betreffenden Behälter oder Tank nach 7.8.3 ermittelt wird und der Fertigungsprozess einer hinreichenden Qualitätslenkung unterliegt (siehe Tabelle 6).

7.8.4.2 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 prEN 13121-2.

7.8.4.3 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:

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

7.8.4.4 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. Druck und Temperatur berücksichtigt wird; seine Ermittlung erfolgt nach Bild 7.8.4.4.

Für alle gleichmäßig beanspruchten Lagertanks und Behälter ist $A_4 = 1,0$.

Teilfaktor A_4

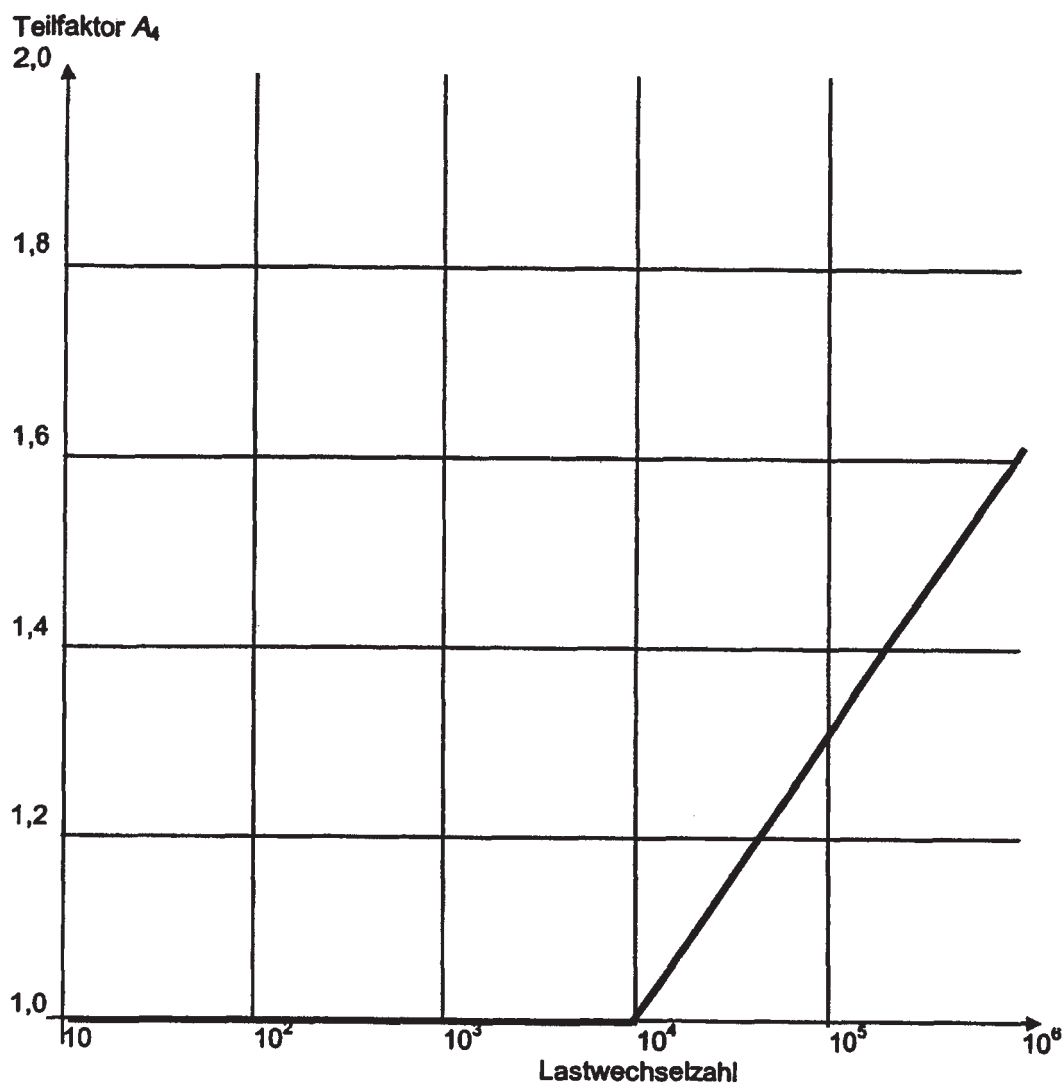


Bild 7.8.4.4 — Teilfaktor A_4

7.8.4.5 Bestimmung des Auslegungsteilfaktors A_5

A_5 ist der Auslegungsteilfaktor, durch den der Einfluss des Langzeitverhaltens des Laminats berücksichtigt wird; seine Ermittlung erfolgt nach dem folgenden Verfahren:

- a) Wenn entsprechende Prüfdaten nicht vorliegen, ist A_5 nach Bild 7.8.4.5 zu ermitteln;

Dabei ist:

FW_x = axialer Anteil der Wicklung bei Wickelwinkeln zwischen 15° und 65° (siehe Anhang H, Bild H.1)

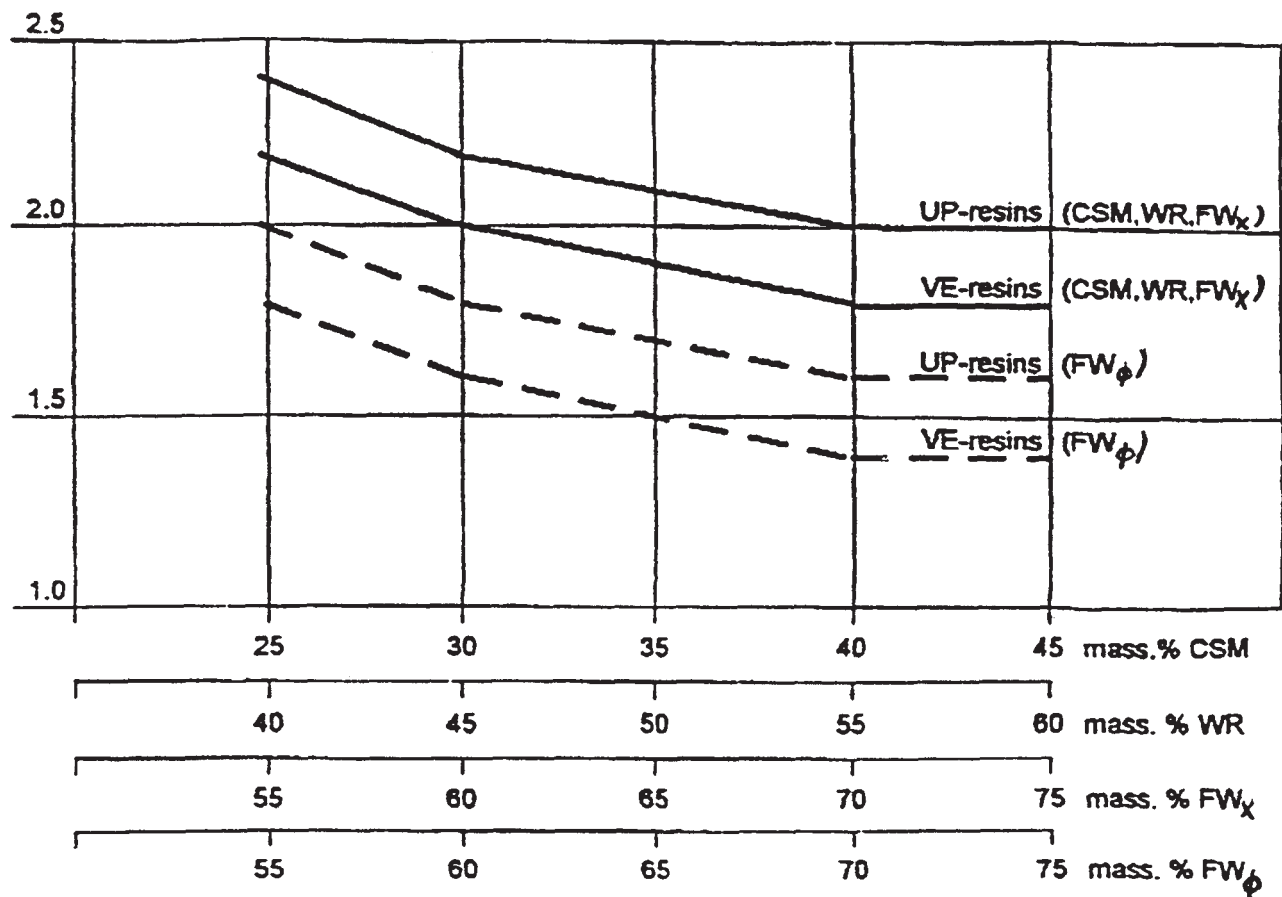
FW_ϕ = Anteil der Wicklung in Umfangsrichtung bei Wickelwinkeln kleiner 15° und über 65°

Bei Verwendung von Laminaten aus kombinierten Wirrfaser-, Rovinggewebe- und Fadenwickelschichten ist für den Teilfaktor A_5 der entsprechende Wert des Laminatbestandteils mit dem größten Masseanteil am Laminat zu wählen.

- b) Wenn der Teilfaktor A_5 durch Prüfung des Laminats zu ermitteln ist, ist diese Prüfung nach dem in Anhang D, Abschnitt D.17, beschriebenen Verfahren durchzuführen.

Eine vorläufige Abschätzung des Teilfaktors A_5 kann anhand der Prüfung zur Bestimmung der Kriechneigung (siehe Anhang D, Prüfverfahren D.11) getroffen werden, der endgültige Wert ist jedoch über den Langzeitkriechversuch (siehe Anhang D, Prüfverfahren D.17) zu ermitteln.

Der Teilfaktor A_5 darf nicht kleiner sein als 1,25.



Resins
mass %

Harzformstoffe
Massenanteil in %

Bild 7.8.4.5 — Teilfaktor A_5

Tabelle 6 — Zusammenfassung der Auslegungsverfahren und Auslegungsteilfaktoren

	Zulässiges Auslegungsverfahren		
	Weiterentwickelte Auslegung	Standardmäßige Auslegung	
		entweder	oder
Ermittlung der mechanischen Kennwerte durch Prüfung	Festlegung der Werkstoffkennwerte durch den Hersteller nach strenger Prüfung mit mindestens 15 Proben.	Festlegung der Kennwerte nach den Angaben dieser Norm und Bestätigung durch eingeschränkte Prüfung mit 5 bzw. 3 Proben.	Festlegung der Kennwerte nach den Angaben dieser Norm und Bestätigung durch eingeschränkte Prüfung mit 5 bzw. 3 Proben.
Vorliegende Prüfergebnisse	Vorliegende Ergebnisse nur zusammen mit Prüfungen nach 7.8.3 verwendbar.	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.
Auslegungsteilfaktor A_1 entsprechend dem Nachweisverfahren für die Werkstoffkennwerte	$A_1 = 1,0$ bei Ausschnitt-, $= 1,1$ bei Laminatmustern zur Ermittlung der mechanischen Kennwerte durch Prüfungen nach 7.8.3 und Nachweis durch fertigungsbegleitende Qualitätslenkung nach Abschnitt 15. (Für mechanische Kennwerte) $A_1 = 1,1$ bei Verwendung vorhandener Prüfergebnisse und mit Nachweisprüfungen (7.8.3)	$A_1 = 1,2$ bei Ausschnitt-, $= 1,3$ bei Laminatmustern zur Ermittlung der mechanischen Kennwerte nach 7.8.2, $= 1,5$ bei Verwendung vorliegender Ergebnisse und Nachweis durch fertigungsbegleitende Qualitätslenkung nach Abschnitt 15.	$= 2,0$ bei mechanischen Kennwerten nach 7.3 ohne Bestätigung durch Werkstoffprüfungen, mit fertigungsbegleitender Qualitätslenkung nach Abschnitt 15.
Auslegungsteilfaktor A_2 entsprechend der chemischen Widerstandsfähigkeit des Laminats	nach prEN 13121-2	nach prEN 13121-2	nach prEN 13121-2
Auslegungsteilfaktor A_3 entsprechend der Auslegungs- und der Wärmeformbeständigkeitstemperatur	nach 7.8.4.3	nach 7.8.4.3	nach 7.8.4.3
Auslegungsteilfaktor A_4 entsprechend den Wechselbeanspruchungen	nach 7.8.4.4	nach 7.8.4.4	nach 7.8.4.4
Auslegungsteilfaktor A_5 entsprechend dem Langzeitverhalten	nach 7.8.4.5	nach 7.8.4.5	$= 2,4$
Auslegungsfaktor K gegen Bruchversagen	$\geq 4,0$ $\geq 5,0$, ohne Nachweis von A_5 durch ein geeignetes Prüfprogramm	$\geq 6,0$	$\geq 8,0$
Auslegungsfaktor F gegen Beulversagen	$\geq 3,0$	$\geq 4,0$	$\geq 5,0$

8 Ermittlung der zulässigen Dehnung und der zulässigen 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 Eigenschaftswerte sind die zulässigen Dehnungen und die zulässigen Belastungen wie folgt zu ermitteln.

8.2 Zulässige Dehnung

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

8.2.1 Zulässige Dehnung des Harzes ε_{ar}

Die zulässige Dehnung ε_{ar} ist unabhängig vom Typ des Harzformstoffs nach Gleichung (7) festzulegen.

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

Dabei ist:

ε_{ar} = zulässige Dehnung

ε_R = Bruchdehnung des unverstärkten Harzformstoffes

8.2.2 Grenzdehnung ε_{az} der einzelnen Laminatschicht

Die Grenzdehnung ε_{az} einer beliebigen Laminatschicht wird mit Gleichung (8) berechnet.

$$\varepsilon_{az} = \frac{U_z}{K \times X_z} \quad (8)$$

Dabei werden U_z und X_z entweder mit Hilfe von Tabelle 3 oder anhand des in Abschnitt 7 beschriebenen Prüfprogramms für die betreffende verstärkende Verstärkungsschicht ermittelt; der Auslegungsfaktor K ist entweder mit Gleichung (4) oder aus nach Tabelle 6 bestimmt worden, je nachdem, welcher Wert höher ist.

8.2.3 Zulässige Dehnung ε_d des Laminats

Die zulässige Dehnung ε_d des Laminats ist der niedrigste Wert der:

- (1) Dehnung von 0,25 %
- (2) der sich aus Gleichung (7) ergebenden zulässigen Dehnung des Harzformstoffes,
- (3) der sich aus Gleichung (8) ergebenden Grenzdehnung der einzelnen Laminatschicht.

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

ANMERKUNG Wird bei der Auslegung eines Tanks oder Behälters dieser Ansatz zu Grunde gelegt und tritt während des Betriebs ein solcher Ausnahmезustand ein, so ist der betreffende Tank oder Behälter unmittelbar danach einer Überprüfung nach 15.6 zu unterziehen, ehe er wieder in Betrieb genommen werden darf.

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

Tanks und Behälter sind gemäß den in Anhang C (normativ) angegebenen Forderungen zu prüfen. Sie müssen so ausgelegt sein, dass dabei die maximale Dehnung die folgenden Grenzwerte nicht überschreitet:

Bei Prüfungen bei Umgebungstemperatur: $\varepsilon_{\text{test}} = 1,3 \varepsilon_d \times A_3$ höchstens jedoch 0,33 %.

Bei FU/PF-Harzformstoffen: $\varepsilon_{\text{test}} = 0,13 \%$

Bei Prüfungen mit Auslegungstemperatur: $\varepsilon_{\text{test}} = 1,3 \times \varepsilon_d$

8.3 Zulässige Belastungen

Die zulässige Schnittlast U_z für die jeweilige Verstärkungsart z wird mit Gleichung (9) berechnet.

$$U_z = \varepsilon_d \times X_z \quad (9)$$

9 Auslegung

9.1 Einführung

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

- (1) Innendruck p oder Außendruck p_e
- (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 auf Grund außermittiger Lasten
- (7) Punktuelle Lasten auf Halterungen, Ösen und andere Anbauteile
- (8) Stoßartige Belastungen
- (9) Belastungen in Form von Erwärmung oder Abkühlung und Temperaturgefällen
- (10) Während Transport und Aufstellung auftretende Belastungen
- (11) Während Transport und Aufstellung durch das Personal verursachte Belastungen
- (12) Ermüdung

Bestimmte Lastzustände, wie z. B. Wind, Erdbeben, Schnee, durch Personal verursachte Belastungen, können allerdings als kurzzeitige Belastungen angesehen werden. Ihre Wirkung ist daher nicht einfach zu der Summe der Betriebsbelastungen hinzuzuaddieren, sondern wie folgt zu modifizieren (siehe entsprechende Gleichungen in Abschnitt 10).

Kurzzeitige Zugbelastungen sind zu teilen durch A_5 .

Kurzzeitige Druckbelastungen sind zu teilen durch $\sqrt{A_5}$.

9.2 Bestimmung der äußeren Belastungen

9.2.1 Schneelasten

Angaben zu Schneelasten sind der Druckschrift ENV 1991-2-3:1995 zu entnehmen.

9.2.2 Wind

Bei der Auslegung ist eine Windböengeschwindigkeit von mindestens 45 m/s anzusetzen. Ist mit Windböen mit Geschwindigkeiten von über 45m/s zu rechnen, so sind die entsprechenden Werte der Druckschrift ENV1993-1-1 zu entnehmen.

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.

9.2.3 Erdbebenlasten

Sofern vorgeschrieben, ist der Tank gemäß Anhang I (normativ) 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 auf Grund der Isolierung

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

9.2.5 Lasten auf Grund von Anschlüssen

Die Lasten, die sich aus Rohren, Ventilen und anderen an den Tank oder Behälter angeschlossenen Teilen ergeben, sind bei der Auslegung in einer Analyse der örtlichen Lasten nach Anhang G (normativ) zu berücksichtigen.

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. So weit möglich, soll die Lagerung von Rührwerken unabhängig vom Tank oder Behälter sein.

9.2.7 Verkehrslasten durch Personen

Oberseiten von Tanks oder Behältern, die begehrbar sein müssen, sind so auszulegen, dass sie diese zusätzliche Last tragen. Ist kein besonderer Wert für solche Verkehrslasten durch Personen vorgegeben, ist über die gesamte Fläche der Tank- oder Behälteroberseite ein Einheitswert von 1 500 N/m² anzusetzen.

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 Festigkeitsforderungen der Konstruktion erfüllt werden.

9.4 Berechnungsgrößen

9.4.1 Auslegungstemperatur T_D

Die Auslegungstemperatur T_D muss der Definition in 3.13 entsprechen.

9.4.2 Berechnungsdruck p

Der Berechnungsdruck p , d. h. der Druckwert nach 3.12, der in Berechnungen zur Bestimmung der geforderten Festigkeit von Bauteilen eines Behälters oder Tanks zu verwenden ist, darf nicht kleiner sein als:

- der Druck, der in Teilen des Behälters oder Tanks herrscht, wenn Druckentlastungsvorrichtungen ansprechen, oder der Einstelldruck von Druckentlastungsvorrichtungen, je nachdem, welcher Wert größer ist;
- der im Betrieb erreichbare Höchstdruck, wenn der Druck nicht durch eine oder mehrere Druckentlastungsvorrichtungen begrenzt wird.

9.5 Auslegung des Laminats

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 K (normativ) berechnete Einheitsbemessungslast für jede Laminatschicht zu berücksichtigen. Die ermittelten Lasten sind dann mit den für die betroffenen Bereiche geforderten Festigkeiten zu vergleichen.

Die Eignung des Laminataufbaus ist für jeden Fall mit Gleichung (10) zu überprüfen.

$$q \leq U_{\text{LAM}} = U_1 \times m_1 \times n_1 + u_2 \times m_2 \times n_2 + \dots + u_z \times m_z \times n_z \quad (10)$$

Dabei ist:

U_{LAM} = Tragfähigkeit des Laminats (N/mm)

m_z = Flächenbezogene Masse der Verstärkung in einer Schicht des Typs z (kg/m² Glas)

n_z = Anzahl der Schichten des Typs z im betreffenden Laminataufbau (bei fadengewickelten Strukturen muss eine Schicht aus zwei im Winkel von $+\phi$ bzw. $-\phi$ gewickelten Lagen bestehen, wobei $\phi < 85^\circ$ ist)

q = Größte aufgebrachte Einheitslast, die vom Laminat an dem betrachteten Punkt getragen werden muss (N/mm)

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

9.6 Laminatdicke

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

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

Abrupte Übergänge zwischen benachbarten Bereichen des Laminats mit unterschiedlicher Dicke sind zu vermeiden. Der Verjüngungskegel darf nicht größer sein als 1 : 6.

10 Entwurfsberechnung

10.1 Symbole und Einheiten

Symbol	Einheit	Größe
α	1/K °C	Wärmeausdehnungskoeffizient
λ	—	Schalenparameter
b_1	mm	Breite des Sattels
b_s	mm	Breite der Versteifung
d_c	mm	Durchmesser des Ausschnitts
d_r	mm	Durchmesser der Abzweigverstärkung
D_1	mm	Kleinsten Durchmesser des Kegels
D_2	mm	Größter Durchmesser des Kegels
D_m	mm	Mittlerer Durchmesser des Kegels
D_{pc}	mm	Lochkreisdurchmesser der Ankerschrauben
D_s	mm	Durchmesser der Versteifung
E_c	N/mm ²	Youngscher Modul, Kopplung
E_{ring}	N/mm ²	E-Modul, Ring
E_s	N/mm ²	E-Modul, Versteifung
G_{shell}	N/mm ²	Schubmodul, Schale
h	mm	Höhe
h_{Liquid}	mm	Höhe der Flüssigkeit
I_{00}	mm ⁴	Trägheitsmoment des vollen Schalenquerschnitts
I_s	mm ⁴	Trägheitsmoment der Versteifung
I_{over}	mm	Länge des überlappenden Laminats
L_c	mm	Überdeckungslänge (örtliche Wanddickenerhöhung)
L_s	mm	Abstand zwischen zwei Versteifungen
L_{sup}	mm	Abstand zwischen Halterungen
M_H	Nmm	Maximales Biegemoment am Sattelhorn
M_R	Nmm	Moment am Ring
n_c	N/mm	Einheitslast am Ausschnitt
n_{over}	N/mm	Einheitslast am überlappenden Laminat
$n_{x, w}$	N/mm	Massenbedingte Einheitslast in axialer Richtung
N_b	—	Anzahl der Ankerschrauben
N_R	N	Kraft am Ring
p_e	N/mm ²	Wirksamer Druck (Berechnungsdruck + hydrostatischer Druck)
p_{inst}	N/mm ²	Druck zur Verursachung allgemeiner Instabilität
p_{ov}	N/mm ²	Überdruck
t_{ck}	mm	Dicke der Zylinderschale im Krempenbereich
t_{over}	mm	Dicke des überlappenden Laminats

Symbol	Einheit	Größe
t_s	mm	Dicke der Versteifung
t_{Shell}	mm	Dicke der Schale am Abzweig
W_R	mm ³	Widerstandsmoment des Rings
Indizes		
ΔT		Auf Grund von Temperaturdifferenz
ϕ		Umfangsrichtung
b		Biegung
bk		Unterer Krempenbereich
c		Kritisch
cyl		Zylinder
e		Effektiv
f		Biegung
H		Sattelhorn
k		Krempenbereich
lam		Laminat
m		Auf Grund des Biegemoments
n		Auf Grund der Normallast
p		Auf Grund des Druck
R		Ring
s		Versteifung
Sk		Zarge
Sku		Oberer Teil der Zarge
T		Zug
x		Axiale Richtung

10.2 Zylinder unter Last ($t < 0,1 D$)

10.2.1 Belastung in Umfangsrichtung

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

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

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

10.2.2 Kombinierte axiale Belastung

Die axialen Einheitslasten sind zu berechnen, um die kombinierte Einheitslast zu ermitteln, die sich aus folgenden Komponenten zusammensetzt:

(a) Druck:

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

(b) Biegemoment auf Grund von Wind- oder Erdbebenlasten (nach örtlicher Systematik ermittelt):

$$\text{Axiale Einheitslast } q_{x,M} = \frac{4M}{\pi D^2} \quad (13)$$

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

$$\text{Axiale Einheitslast } q_{x,W} = \frac{W}{\pi D} \quad (14)$$

Die kombinierte axiale Einheitslast q_x ist die Summe der sich aus den Gleichungen (10) bis (14) ergebenden Werte unter Berücksichtigung der Belastungsrichtung.

Für die Schalenstabilität gilt:

$$q_x = \frac{p_e \times D}{4} - \frac{4M}{\pi \times D^2 \times \sqrt{A_5}} - \frac{W_1}{\pi \times D} \quad (15)$$

Dabei ist W_1 die Gewichtskraft des Teils des Behälters, einschließlich der Formstücke, des Beschickungsguts, der Anbauteile und der aufgetragenen Lasten, die oberhalb des betrachteten Punktes abgestützt wird, und

$$p_e^* = \frac{p_e}{\sqrt{A_5}} \text{ für Kurzzeitbelastung oder } p_e^* = p_e \text{ für Langzeitbelastung}$$

Für die Schale unter Zugbelastung gilt:

$$q_x = \frac{p \times D}{4} + \frac{4M}{\pi \times D^2 \times A_5} + \frac{W_2}{\pi D} \quad (16)$$

Dabei ist W_2 die Gewichtskraft des Teils des Behälters, einschließlich der Formstücke, des Beschickungsguts, der Anbauteile und der aufgetragenen Lasten, die unterhalb des betrachteten Punktes abgestützt wird, und

$$p_e^* = \frac{p_e}{\sqrt{A_5}} \text{ für Kurzzeitbelastung oder } p_e^* = p_e \text{ für Langzeitbelastung}$$

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

10.2.3 Schubbelastung

$$\tau = k_q \frac{Q}{\pi \times R \times t} \quad (17)$$

Dabei ist k_q eine Funktion der Schalenparameter und gegeben durch:

$$\begin{aligned} k_q &= 1,5 \text{ für Zugbelastung} \\ k_q &= 1,0 \text{ für Druckbelastung} \end{aligned} \quad (18)$$

10.3 Zylinderschalen unter Druckbelastung (elastische Stabilität)

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.

10.3.1 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 hinreichende Beulfestigkeit gegen Versagen aufweist. Für diese Berechnung ist Gleichung (19) zu verwenden.

$$q_c = \frac{3,32 \times k}{D} \times \sqrt{B_\phi \times X_x} \quad (19)$$

Dabei ist:

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

und

B_ϕ nach Anhang K (normativ) zu ermitteln.

In Schalenbereichen mit Ausschnitten oder bei liegenden Behältern mit $30^\circ \leq \phi \leq 160^\circ$ lautet die Gleichung für k :

$$\text{Für } \frac{d_c}{\sqrt{\frac{D \times t}{2}}} \leq 3,5 \quad \text{ist } k = \frac{0,78}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \times t}}}$$

und

$$\text{für } \frac{d_c}{\sqrt{\frac{D \times t}{2}}} \geq 3,5 \quad \text{ist } k = \frac{0,64}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \times t}}}$$

In allen Fällen gilt

$$q_c / q_x \geq F \quad (20)$$

Dabei ist F der Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu berechnen, je nachdem, welcher Wert größer ist. Der Wert der Größe q_x wird mit Gleichung (16) berechnet.

10.3.2 Kritische Beullast in radialer Richtung

Bei kurzen Zylindern mit $L_s \leq 8 \times D$ gilt:

$$p_c = 4,37 \times \sqrt[4]{B_\phi^3 \times X_x} \times \frac{1}{L_s \times D^{1,5}} \quad (21)$$

Dabei ist L_s die mitttragende Länge des Zylinders oder der Abstand zwischen zwei Versteifungen (siehe Bild 10.3).

Bei langen Zylindern mit L_s oder $L > 8 \times D$ gilt:

$$p_c = \frac{12 \times B_\phi}{D^3} \quad (22)$$

In allen Fällen gilt

$$p_c / p_e \geq F \quad (23)$$

Dabei ist p_e nach 9.1 zu ermitteln und F aus Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu bestimmen, je nachdem, welcher Wert größer ist.

10.3.3 Beulbeanspruchung auf Grund von Schubkräften

Die im Bereich der Abstützung auftretende Beulbeanspruchung durch Schubkräfte ist nach folgender Gleichung zu bestimmen:

$$\tau_c = 6,21 \times (X_x^3 \times B_\phi^5)^{0,125} \times \frac{1}{t \times D^{0,75} \times L_s^{0,5}} \quad (24)$$

Dabei ist:

τ_c = kritische Schubspannung

L_s = Abstand zwischen den Versteifungsringen oder zwischen den Halterungen

In allen Fällen gilt:

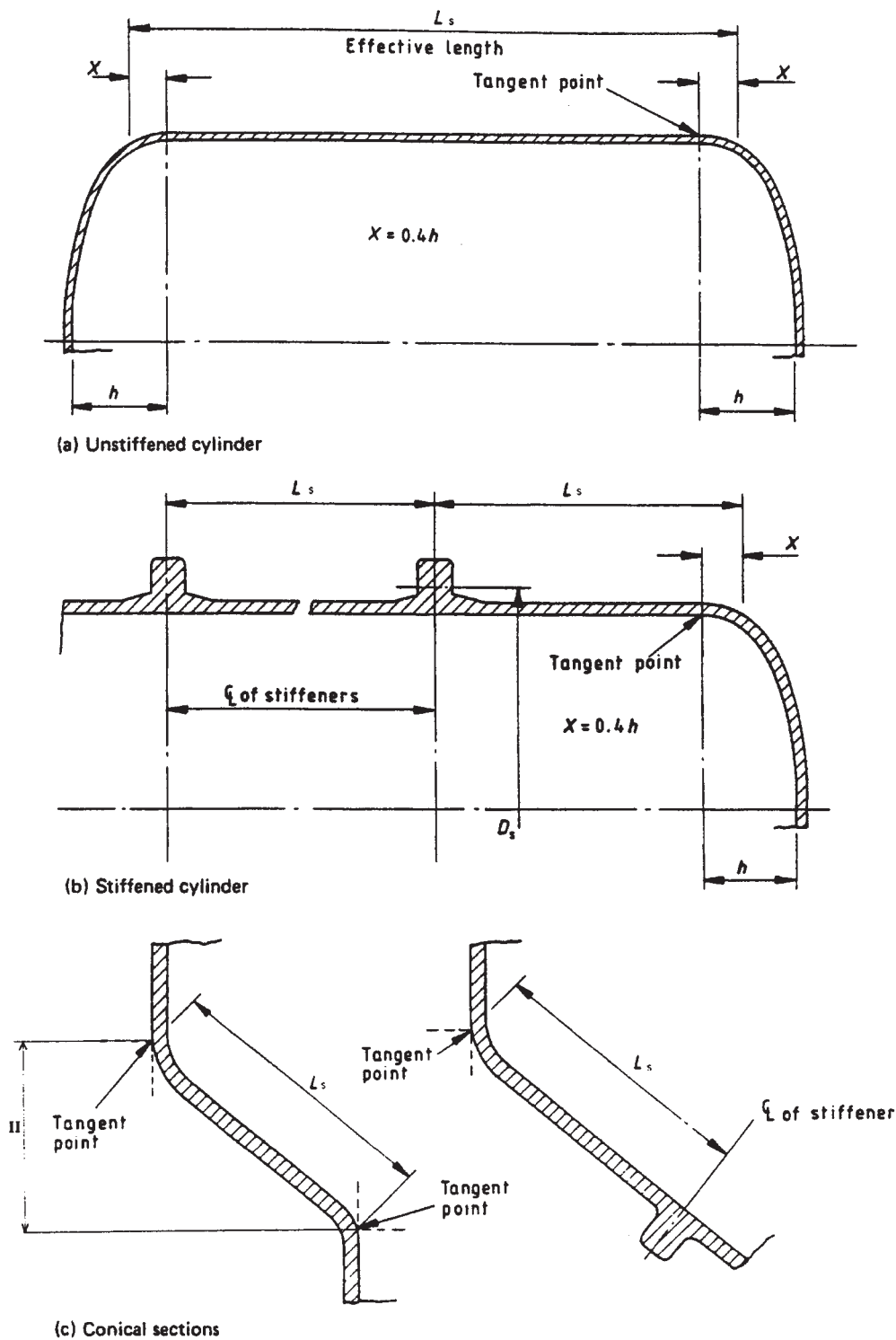
$$\tau_c / \tau \geq F \quad (25)$$

Dabei ist F aus Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu berechnen, je nachdem, welcher Wert größer ist. Der Wert der Größe τ wird mit Gleichung (18) berechnet.

10.3.4 Kombinierte axiale und radiale Drucklasten

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

$$\left(\frac{F \times q_x}{q_c} \right)^{1,25} + \left(\frac{F \times p_e}{p_c} \right)^{1,25} \leq 1 \quad (26)$$



(Glossar)

effective length
tangent point
unstiffened cylinder
 ζ of stiffeners
stiffened cylinder
conical sections

Wirksame Länge
Tangentenpunkt
Unversteifter Zylinder
 ζ der Versteifungen
Versteifter Zylinder
Kegelförmige Abschnitte

Bild 10.3 — Wirksame Länge zwischen Versteifungen unter Außendruck

10.3.5 Zylinderschale mit äußerem oder inneren Versteifungsringen

Ergibt sich aus den Gleichungen (19), (21) oder (22) eine unannehmbar hohe Wanddicke, kann die Schale in der Länge unterteilt und für die resultierende kürzere wirksame Länge mit Gleichung (27) neu berechnet werden.

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

Der kritische Beuldruck wird mit Gleichung (27) berechnet.

$$p_c = 6,65 \times (B_\phi \times X_x)^{0,5} \times \frac{\lambda^4}{D \times \left(m^2 - 1 + \frac{\lambda^2}{2}\right) \times (m^2 + \lambda^2)^2} + (m^2 - 1) \frac{8 \times B_{\phi, \text{ring}}}{L_S \times D_S^3} \quad (27)$$

Dabei wird $m = 2, 3, \dots$ usw. gesetzt, um den kleinsten Wert für p_c oder den größten Wert für $B_{\phi, \text{ring}}$ zu finden.

Dabei ist:

m = Umfangswellenzahl

$B_{\phi, \text{ring}} = \sum (E_{Si} \times I_{Si})$ = Biegesteifigkeit im Bereich des Versteifungsringes

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

I_S = Flächenmoment zweiten Grades der Versteifung (siehe Bild 10.3.5 (1) und 10.3.5 (2))

L_S = Abstand zwischen zwei Versteifungen. Sind die Abstände zwischen den Versteifungen nicht gleich, wird L_S wie folgt berechnet:

$$L_S = \max (L_{S,j} + L_{S,j+1}) / 2$$

t_c = Minstdicke der Schale im Bereich der Versteifung (siehe Bild 10.3.5 (1))

In allen Fällen gilt:

$$p_c / p_e \geq F$$

Dabei ist F aus Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu berechnen, je nachdem, welcher Wert größer ist.

- a) Die für eine massive GFK-Versteifung in Gleichung (27) zu verwendenden Abmessungen sind in Bild 10.3.5 (1) gezeigt und werden wie folgt berechnet:

Dabei ist:

die wirksame Breite der Schale $b_s + 1,15 \sqrt{D \times t_c}$,

t_c der kleinere Wert von t_{c1} und t_{c2} und

$E_S \times I_S = \Sigma (E \times I)$.

Dabei ist E_S der bei der Konstruktion aller Versteifungen verwendete Modul des Laminats.

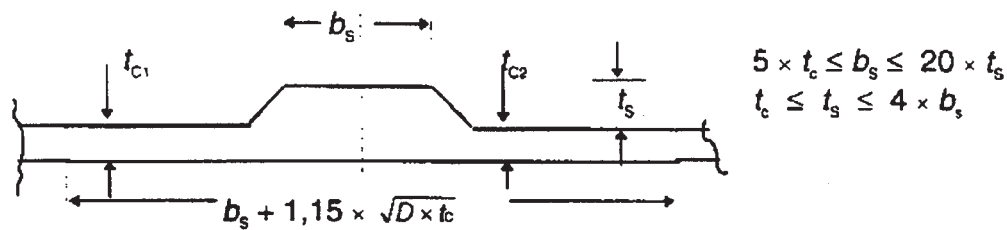


Bild 10.3.5 (1)

- b) Für GFK-Versteifungen mit anderen Geometrien, wie z. B. in Bild 10.5.3 (2), sind in Gleichung (27) die in Bild 10.5.3 (2) angegebenen Abmessungen zu verwenden.

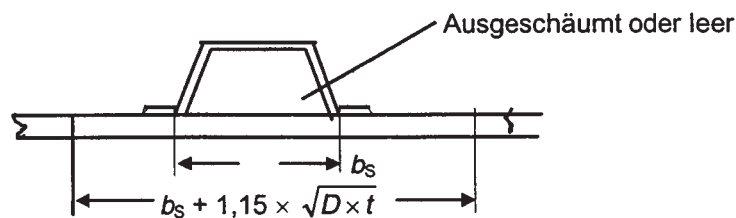


Bild 10.5.3 (2)

- c) Versteifungsringe aus Stahl

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

- 1) Anstelle von E_s wird der E-Modul von Stahl für die Versteifung verwendet.
- 2) Die Auslegung gewährleistet, dass der Stahl hinreichend und langfristig gegen Korrosion schützt.
- 3) Die Auslegungstemperatur beträgt höchstens 60 °C.

10.4 Kegelschalen

10.4.1 Allgemeine Forderungen

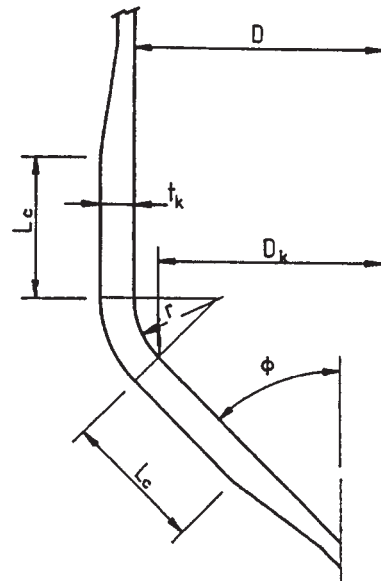
Die Geometrie der Kegelschale muss einer der beiden in Bild 10.4 gezeigten Formen entsprechen.

Die als (a) bezeichnete Form in Bild 10.4 ist mit Ausnahme der unten genannten Fälle bei allen Werkstoffen, einschließlich gewebekaschierter thermoplastischen Auskleidungen, zu verwenden. Der Krempenradius sollte vorzugsweise nicht kleiner als $0,1 D$, darf jedoch nicht kleiner als $0,06 D$ sein, wobei D der Durchmesser der angrenzenden Schale ist.

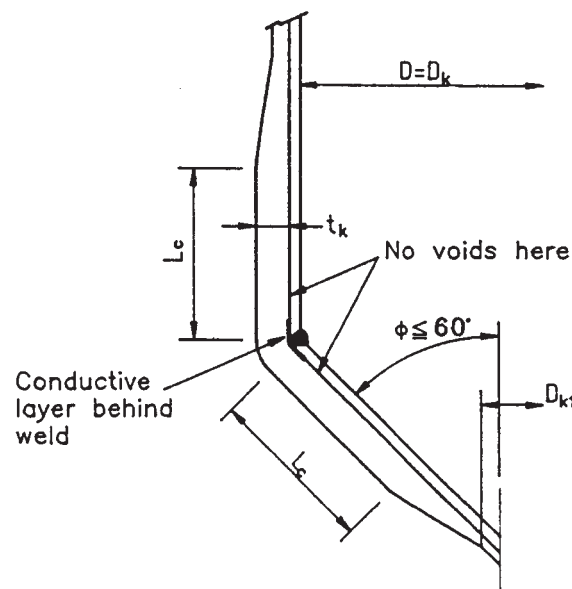
Die als (b) bezeichnete Form in Bild 4 darf nur bei Tanks mit gewebekaschierter Polypropylen-Auskleidung verwendet werden, die entsprechend den Forderungen von QC3, Tabelle 15.1, konstruiert und ausgeführt sind. Diese Ausführung ist auf Tanks beschränkt, die zur Lagerung mit ausschließlich statischer Belastung dienen und höchstens folgende Abmessungen haben: Durchmesser 1,5 m, Zylinderhöhe 2 m, maximaler Kegelwinkel 120°.

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

Kegelförmige Deckel von nicht mit Über- oder Unterdruck beaufschlagten Lagertanks ohne Knie sind entsprechend 10.4.5 auszulegen.



(a) Conical section with knuckle



(b) Conical section without knuckle
for fabric backed polypropylene thermoplastic lined vessels only ($D_{\max}=1500$)

(Glossar)

- | | |
|--|--|
| <p>(a) Conical section with knuckle
Conductive layer behind weld
No voids here</p> | <p>(a) Kegelförmiger Abschnitt mit Knie
Leitfähige Schicht hinter Schweißnaht
Keine Hohlräume</p> |
| <p>(b) Conical section without knuckle for fabric backed polypropylene thermoplastic lined vessels only ($D_{\max} = 1\,500$)</p> | <p>(b) Kegelförmiger Abschnitt ohne Knie nur für Behälter mit gewebekaschierter thermoplastischer Auskleidung ($D_{\max} = 1\,500$)</p> |

Bild 10.4 — Kegelförmige Abschnitte zwischen Zylindern unterschiedlichen Durchmessers

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 (28) berechnet.

Einheitslast in Umfangsrichtung

$$q_{\Phi} = \frac{p \times D_k}{(2 \cos \Phi)} \quad (28)$$

Dabei ist Φ der halbe Öffnungswinkel des Kegels und D_k der Darstellung in Bild 10.4 zu entnehmen.

Das anhand von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit in Umfangsrichtung aufweisen, die der mit Gleichung (28) berechneten Last entspricht.

10.4.3.2 Axiale Einheitslast an der Krempe

a) Die axiale Einheitslast bei Böden mit der in Bild 10.4 (a) gezeigten Form wird mit Gleichung (29) berechnet:

$$q_{x1} = \frac{p \times D \times K_{c1}}{2} \quad (29)$$

Dabei ist K_{c1} Tabelle 7 entnommen.

Das anhand von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die der mit Gleichung (29) berechneten Last entspricht.

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

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 10.4 (b) gezeigten Form entspricht die axiale Einheitslast dem größeren der beiden mit Gleichung (28) bzw. (30) berechneten Werte.

$$q_{x,2} = \frac{p \times D \times K_{c2}}{2} \quad (30)$$

Dabei ist K_{c2} aus Tabelle 8 entnommen.

Das anhand von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die der mit Gleichung (30) berechneten Last entspricht.

**Tabelle 8 — Spannungskonzentrationsfaktor K_{c2}
für Kegelschalen ohne Krempe**

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 (31) berechnete Länge L_c sowohl auf die Zylinderschale als auch auf den kegelförmigen Abschnitt erstrecken.

$$L_c = \sqrt{\frac{D \times t_k}{\cos \Phi}} \quad (31)$$

Weitere Angaben zu Übergängen zwischen kegelförmigen Böden und Zylinderschalen aus faserrichtungsorientiertem Laminat, z. B. fadengewickelte Schalen, sind Anhang M (normativ) 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} gemäß Gleichung (10).

10.4.4 Kegelförmige Böden unter Außendruck

10.4.4.1 Geforderte Festigkeit

Die Einheitslast in Umfangsrichtung ist mit Gleichung (28) zu berechnen. Das mit Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (28) bis (30) berechneten Wert entspricht.

10.4.4.2 Elastische Stabilität

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

10.4.4.2.1 Kritische Beullast in radialer Richtung

Für kurze Kegelschalen mit $L \leq 8 \times D_m$ gilt:

$$p_c = 4,37 \times \sqrt[4]{B_\phi^3 \times X_x \times \frac{1}{L} \times \left(\frac{\cos \Phi}{D_m}\right)^{1,5}} \quad (32)$$

Dabei ist:

$L = H / \cos \Phi$ = wirksame Länge der Kegelschale oder Abstand zwischen Versteifungen (siehe Bild 10.3 und 10.4.2)

D_m = mittlerer Durchmesser des betrachteten Kegelabschnitts

Für lange Kegelschalen mit $L > 8 \times D_m$ gilt:

$$p_c = 12 \times B_\phi \left(\frac{\cos \Phi}{D_m} \right)^3 \quad (33)$$

In allen Fällen gilt:

$$p_c / p_e \geq F \quad (34)$$

Dabei ist F aus Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu berechnen, je nachdem, welcher Wert größer ist.

10.4.4.2.2 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 hinreichende Beulfestigkeit gegen Versagen aufweist. Für diese Berechnung ist Gleichung (35) zu verwenden.

$$q_c = 3,32 \times k \times \sqrt{B_\phi \times X_x} \times \frac{\cos \Phi}{D_m} \quad (35)$$

Dabei ist:

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

In allen Fällen gilt:

$$q_c / q_x \geq F \quad (36)$$

Dabei ist q_x der größere der beiden mit Gleichung (15) berechneten Werte q_1 und q_2 , dargestellt in Bild 10.4.2, und F aus Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung 5 zu berechnen, je nachdem, welcher Wert größer ist.

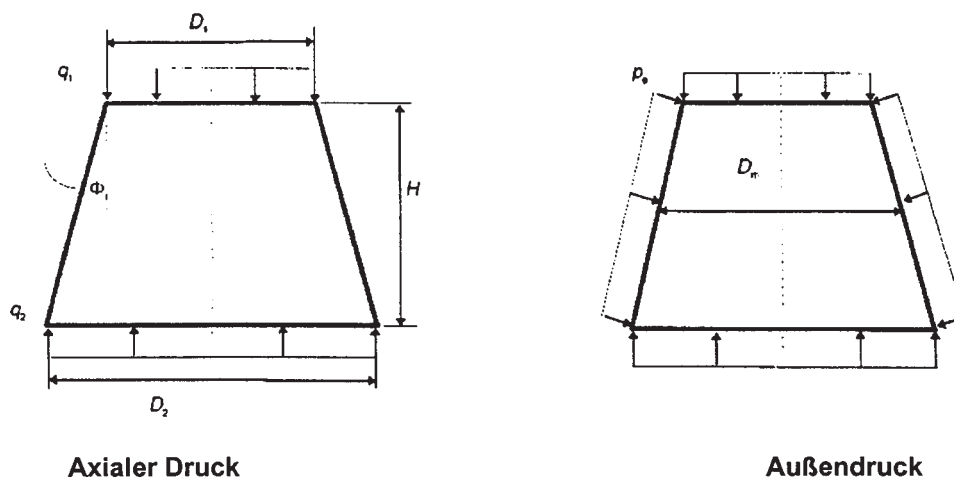


Bild 10.4.2 — Kegelschalen unter Außendruck

10.4.4.2.3 Kombinierte axiale und radiale Druckbelastung

Bei kombinierter axialer und radialer Last ist die folgende Bedingung (37) zu erfüllen:

$$\left(\frac{F \times q_x}{q_c} \right)^{1,25} + \left(\frac{F \times p_e}{p_c} \right)^{1,25} \leq 1 \quad (37)$$

10.4.5 Kegelförmige Deckel



Bild 10.4.5 — Kegelförmige Deckel

Für kegelförmige Deckel mit $75^\circ \geq \Phi \geq 60^\circ$ und $0 \leq r/D \leq 0,1$ wird die Einheitslast an der Krempe in axialer Richtung mit Gleichung (38) berechnet. Kegelförmige Deckel mit Werten außerhalb dieser Bereiche sind als ebene Platten nach 10.10.6 auszulegen.

$$q_x = \alpha_b \times p_D \times \frac{1}{\sin \Phi \times \cos \Phi} \times \left(\frac{2 \times R}{t} \right)^{1 + \beta_b} \times t_k \quad (38)$$

Dabei ist:

$$\alpha_b = -64 \times (r/D)^2 + 7,6 \times (r/D) + 0,13$$

$$\beta_b = +51,6 \times (r/D)^2 - 8,18 \times (r/D) + 0,52$$

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

Die Stabilität des Deckels wird mit Gleichung (38) berechnet.

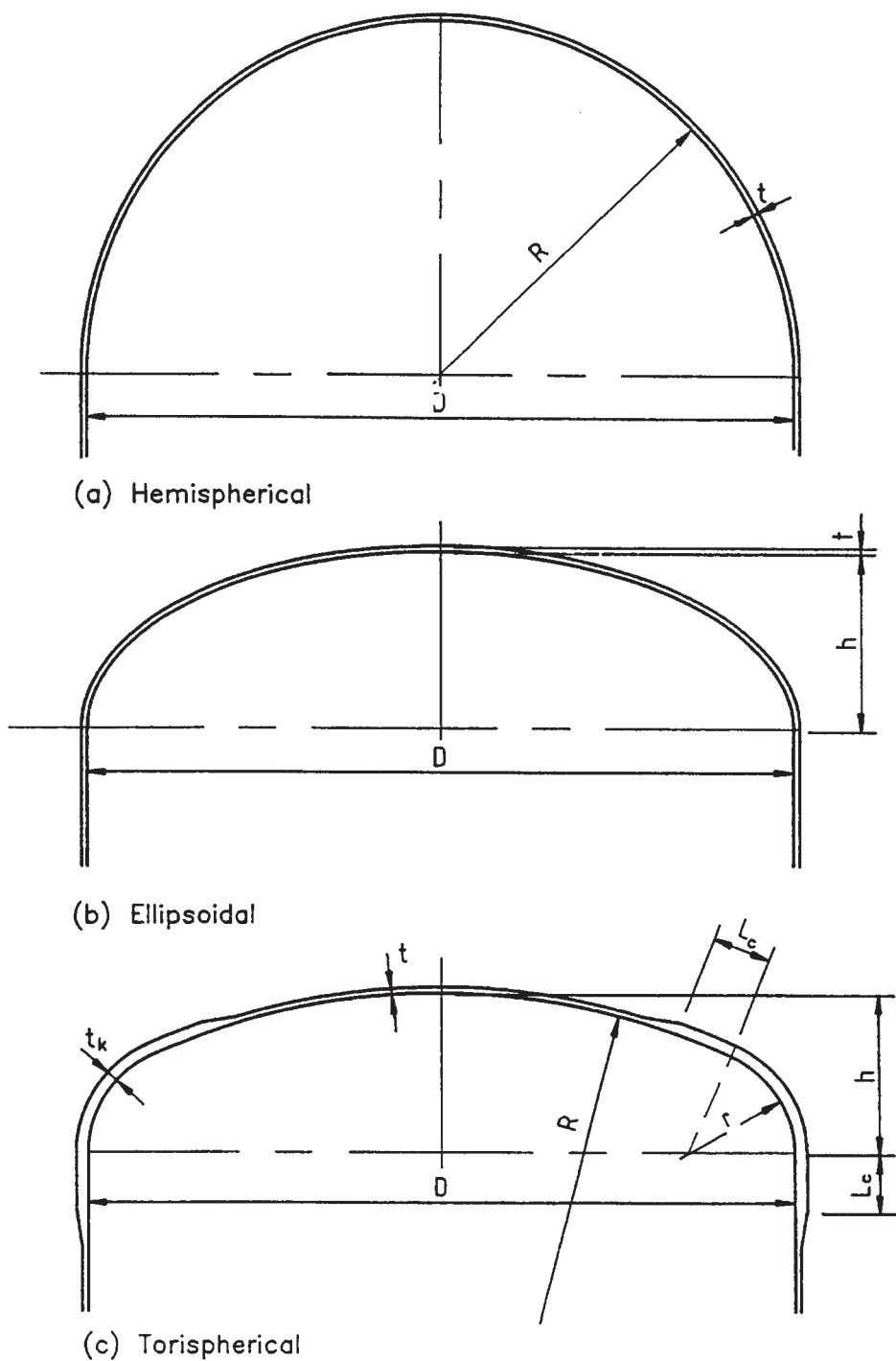
$$p_c = 12,5 \times B \times \sin \Phi \times \cos^{1,5} \Phi \times \frac{1}{D^{2,5} \times t^{0,5}} \quad (39)$$

Dabei ist B die Einheitsbiegesteifigkeit des kegelförmigen Deckels (siehe Anhang K).

In allen Fällen gilt:

$$\frac{p_e}{p_c} \geq F \quad (40)$$

Dabei ist F aus Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu berechnen, je nachdem, welcher Wert größer ist.



(Glossar)

Hemispherical	Halbkugelboden
Ellipsoidal	Elliptischer Boden
Torispherical	Torisphärischer Boden

Bild 10.5 (1) — Gewölbte Böden

10.5 Gewölbte Böden

10.5.1 Allgemeine Forderungen

Gewölbte Böden müssen eine der folgenden Formen aufweisen:

- a) Halbkugelförmiger Boden (siehe Bild 10.5 (a))
- b) Elliptischer Boden (siehe Bild 10.5 (b)). Das Verhältnis von Innenhöhe zu Behälterdurchmesser muss in allen Fällen mindestens 0,2 betragen.
- c) Torisphärischer Boden (siehe Bild 10.5 (c)). Die Bedingung $R \leq D$ muss erfüllt sein, und der Krempe radius muss mindestens ein Zehntel des Schalendurchmessers betragen.

10.5.2 Gewölbte Böden unter Innendruck

Die Einheitsbelastung in einem elliptischen Boden und im Krempebereich eines torisphärischen Bodens wird mit Gleichung (41) berechnet.

$$q = \frac{p \times D \times K_d}{2} \quad (41)$$

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

Die Einheitsbelastung im gewölbten Bereich eines torisphärischen oder halbkugelförmigen Bodens wird mit Gleichung (42) berechnet.

$$q = 0,6 \times p \times R \quad (42)$$

Dabei ist R der Wölbungsradius.

Bei torisphärischen Böden, die im Krempebereich eine größere Laminatdicke als im Bereich der Wölbung erfordern, muss sich die Laminatverdickung über eine mit Gleichung (43) berechnete Länge L_c sowohl auf die Wölbung als auch auf die Schale erstrecken.

$$L_c = \sqrt{(D \times t_k)} \quad (43)$$

Dabei ist t_k die Dicke der Krempe, ermittelt über den Wert von q aus Gleichung (41).

Das anhand von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (41) oder (42) berechneten Wert entspricht.

**Tabelle 9 — Spannungskonzentrationsfaktor K_d
für gewölbte Böden**

h/D	t/D	Torisphärisch K_d $0,1 \leq r/D \leq 0,15$ $0,1 \leq r/D \leq 0,25$		Elliptisch K_d
0,2	0,005	2,95	Nicht zulässig da $R > D$	2,00
	0,01	2,85		2,10
	0,02	2,65		2,20
	0,04	2,35		2,25
	0,05	2,25		2,35
0,25	0,01	2,35	1,90	1,30
	0,01	2,25	1,80	1,35
	0,02	2,10	1,75	1,45
	0,04	1,85	1,70	1,45
	0,05	1,75	1,70	1,45
0,32	0,005	1,95	1,45	0,85
	0,01	1,85	1,45	0,95
	0,02	1,60	1,40	1,00
	0,04	1,40	1,35	1,05
	0,05	1,30	1,30	1,10

10.5.3 Stabilität gewölbte Böden unter Außendruck

Der kritische Beuldruck wird mit Gleichung (44) berechnet.

$$p_c = 10,69 \times B \times \frac{1}{D^2 \times t} \quad (44)$$

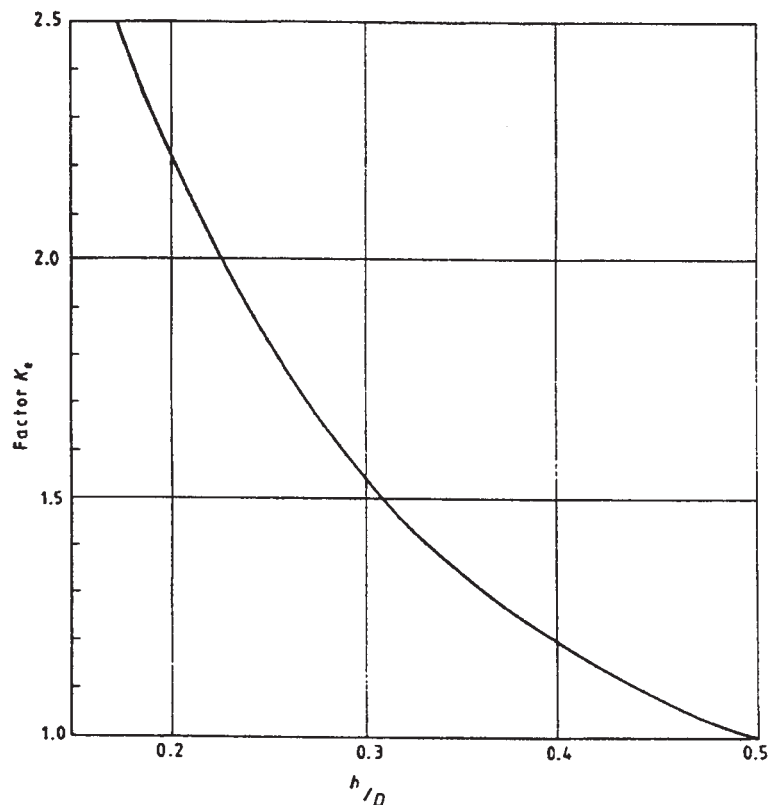
Dabei ist B die Einheitsbiegesteifigkeit des Laminats eines gewölbten Bodens nach Anhang K.

Bei elliptischen Böden ist für den Durchmesser in Gleichung (44) das Produkt aus dem Durchmesser des Tanks oder Behälters und K_e einzusetzen, wobei K_e anhand der Kurve in Bild 10.5 (2) zu bestimmen ist.

In allen Fällen gilt:

$$\frac{p_e}{p_c} \geq F \quad (45)$$

Dabei ist F entweder aus Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu berechnen.



(Glossar)

Factor K_e'

(Glossar)

Faktor K_e' Bild 10.5 (2) — Berechnungsbeiwert K_e für elliptische Böden unter Außendruck

10.6 Runde ebene Böden

10.6.1 Vollflächig unterstützte ebene Böden und Flachbodentanks

Ebene Böden sind mit Ausnahme der Stellen, wo Sumpfe oder Ablaufvorrichtungen vorgesehen sind, vollflächig zu unterstützen.

Die für Abzweige in ebenen Böden vorgesehenen Abstände zwischen den Auflagerungen sind so zu bemessen, dass ausreichend Raum für Eckverstreibungen vorhanden ist (siehe Abschnitt 10.9.10), 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, prEN 13121-4 enthält Angaben über typische Anordnungen zur Bodenbefestigung.

Die geforderten Festigkeitswerte für den unteren Abschnitt des Zylinders einschließlich der Ausführung der Krimpe sind wie folgt zu bestimmen:

Wenn $r > 30 \text{ mm}$ oder $\frac{r}{D} > 0,05$ ist, wird die maximale axiale Einheitslast an der Krimpe mit folgenden Gleichungen berechnet.

- a) Last auf Grund des Innendrucks (hydrostatischer Druck und Überdruck)

$$q_{x,1} = 3 \times k_p \times p \times D$$

Dabei ist:

$$k_p = 0,22 + \left(0,6 + 0,0566 \frac{D}{t_k} \right) - \left(\frac{2 \times r}{D} - 4,44 \left(\frac{t_k}{D} \right)^{1,15} - 0,04 \right) \quad (47)$$

Der Wert von k_p muss dabei immer $\geq 0,22$ sein.

b) In axialer Richtung an der Zylinderwand angreifende Last $\sum n_x$, (Eigenlast, Windlasten, Gewichtslasten usw.)

$$q_{x,2} = 6 \times k_n \times \sum n_{x,i} \quad (48)$$

Dabei ist:

$$k_n = \left| 1,38 + 0,41 \frac{r}{D} \left(\frac{D}{t_k} \right)^{1,15} - 0,077 \left(\frac{r}{t_k} \right)^2 \right| \quad (49)$$

Die Höchstwerte dieser Lasten treten in verschiedenen Positionen auf. Die Wechselwirkung der Lasten wird mit Gleichung (50) beschrieben.

$$q_x = q_{x,1} + 0,3 \times q_{x,2}$$

oder

$$q_x = q_{x,2} + 0,3 \times q_{x,1} \quad (50)$$

Der Höchstwert von q_x ist für die Auslegung zu verwenden.

Das anhand von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (51) berechneten Wert entspricht. Auch die mit Gleichung (11) berechnete Einheitslast in Umfangsrichtung ist daraufhin zu überprüfen, dass sie geringer ist als die Tragfähigkeit in Umfangsrichtung.

$$q_{x,\max} = - \frac{W}{\pi \times D} \pm \frac{4 \times M}{\pi \times D^2 \times A_5} \pm q_x \quad (51)$$

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

a) Für $t_{b1} \leq t_k$ gilt:

$$q_{x1} = 0,72 \times p \times D \quad (52)$$

b) Für $t_{b1} > t_k$ gilt:

$$q_{x1} = 0,90 \times p \times D \quad (53)$$

Die maximale Einheitslast ergibt sich durch Gleichung (54).

$$q_x = - \frac{W}{\pi \times D} \pm \frac{4 \times M}{\pi \times D^2 \times A_5} \pm q_{x1} \quad (54)$$

Das anhand von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (54) berechneten Wert q_x 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 in der Schale oder im Boden muss sich, ausgehend vom Ende der Krempe, über eine mit Gleichung (55) berechnete Länge L_c erstrecken (siehe Bild 10.6 (1)).

Dabei ist:

$$L_c = \sqrt{D \times t_k} \quad (55)$$

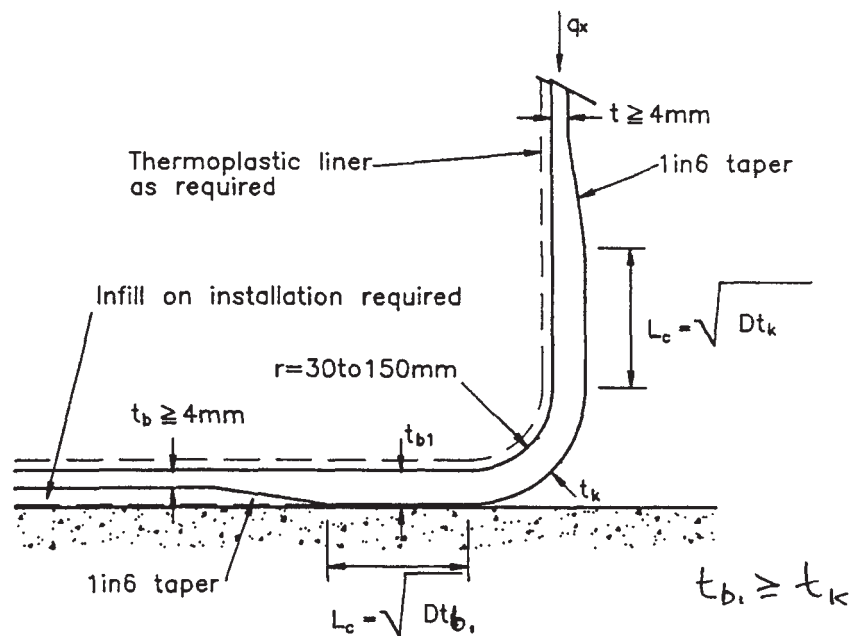
Bei Behältern mit gewebekaschierter Polypropylen-Auskleidung, die einen nicht ausgerundeten Schalen-Boden-Übergang aufweisen (siehe Bild 10.6 (2)), sind folgende Gleichungen zu verwenden:

$$q_x = 1,80 \times p \times D \quad (56)$$

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

Örtliche Verdickungen müssen sich bei nicht ausgerundeten Übergängen über eine mit Gleichung (55) berechnete Länge L_c erstrecken.

$$L_c = 1,5 \times \sqrt{D \times t_k} \quad (57)$$

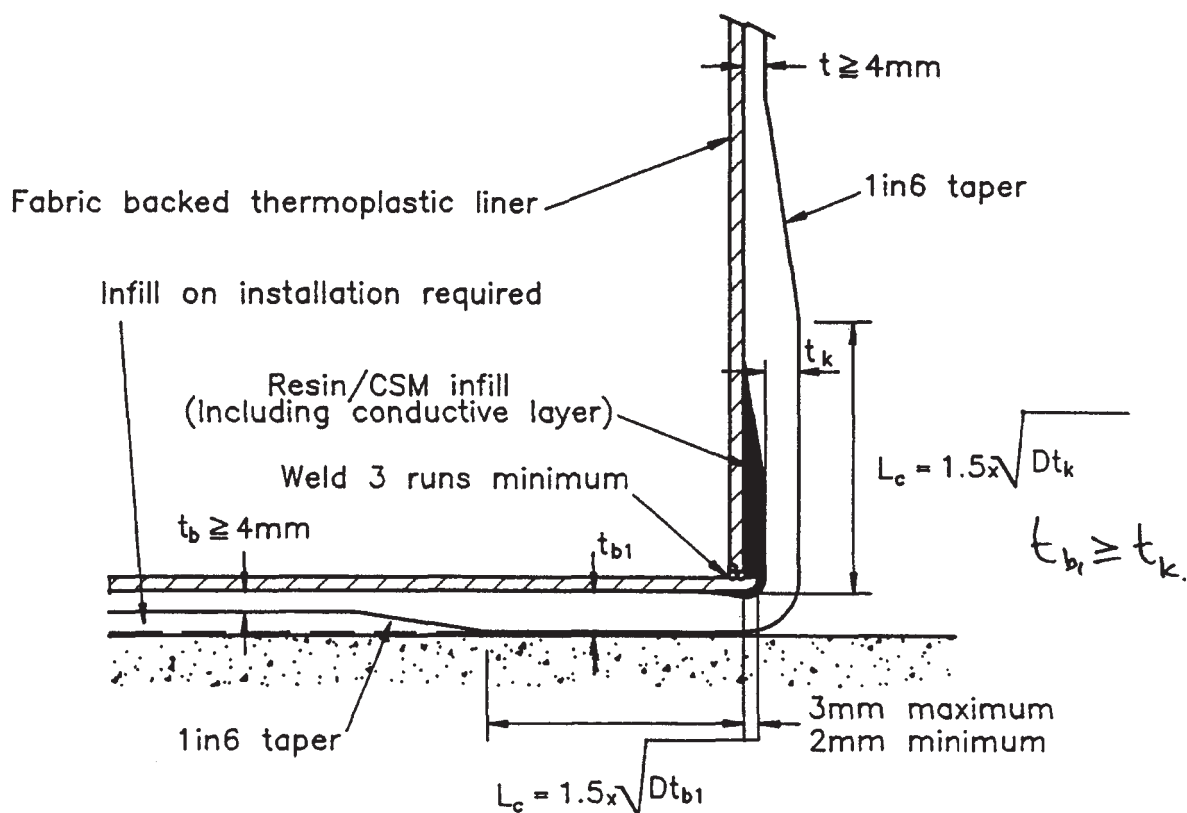


(Glossar)

Thermoplastic liner as required
1 in 6 taper
Infill on installation required
 $r = 30$ to 150 mm

Thermoplastische Auskleidung wie vorgeschrieben
Verjüngung 1 : 6
Verfüllung bei Aufstellung erforderlich
 $r = 30$ bis 150 mm

Bild 10.6 (1) — Ausgekleidete und nicht ausgekleidete Tanks und Behälter mit Knie (empfohlene Ausführung)



(Glossar)

Fabric backed thermoplastic liner

Infill on installation required

1 in 6 taper

Resin/CSM infill (including conductive layer)

Weld 3 runs minimum

Gewebekaschierte thermoplastische Auskleidung

Verfüllung bei Aufstellung erforderlich

Verjüngung 1 : 6

Harz/Faserschnittmatten-Verfüllung (einschließlich leitfähiger Schicht)

Mindestens 3 Schweißlagen

Bild 10.6 (2) — Tanks und Behälter mit Polypropylen-Auskleidung ohne Knie (siehe 10.6.3)**10.6.2 Ausführungen mit gewölbten und kegelförmigen Böden****10.6.2.1 Stützfüße**

Es sind keine einzelnen, unmittelbar am Tank oder Behälter befestigten Stützfüße zu verwenden. Sind Stützfüße erforderlich, so sind diese über einen Stützring am Tank oder Behälter zu befestigen.

Angaben zur Auslegung des unteren Teils sind 10.6.2.3.3 zu entnehmen.

10.6.2.2 Ringlagerungen

Mit dem Tank oder Behälter fest verbundene Tragringe dürfen nur verwendet werden, wenn die Auslegungstemperatur unter 60 °C liegt.

Bei Auslegungstemperaturen über 60 °C sind mit dem Behälter nicht fest verbundene Ringträger aus Stahl zu verwenden.

Angaben zur Auslegung des unteren Teils sind 10.6.2.3.3 zu entnehmen.

10.6.2.3 Auslegung von Behältern mit Standzarge

Bei der Auslegung von Behältern mit Standzarge gibt es drei kritische Bereiche zu beachten: den unteren Teil des Zylinders (Bereich 1), den oberen Teil der Zarge (Bereich 2) und den Krempebereich am Boden des Behälters (Bereich 3) (siehe Bild 10.6.2 (3)).

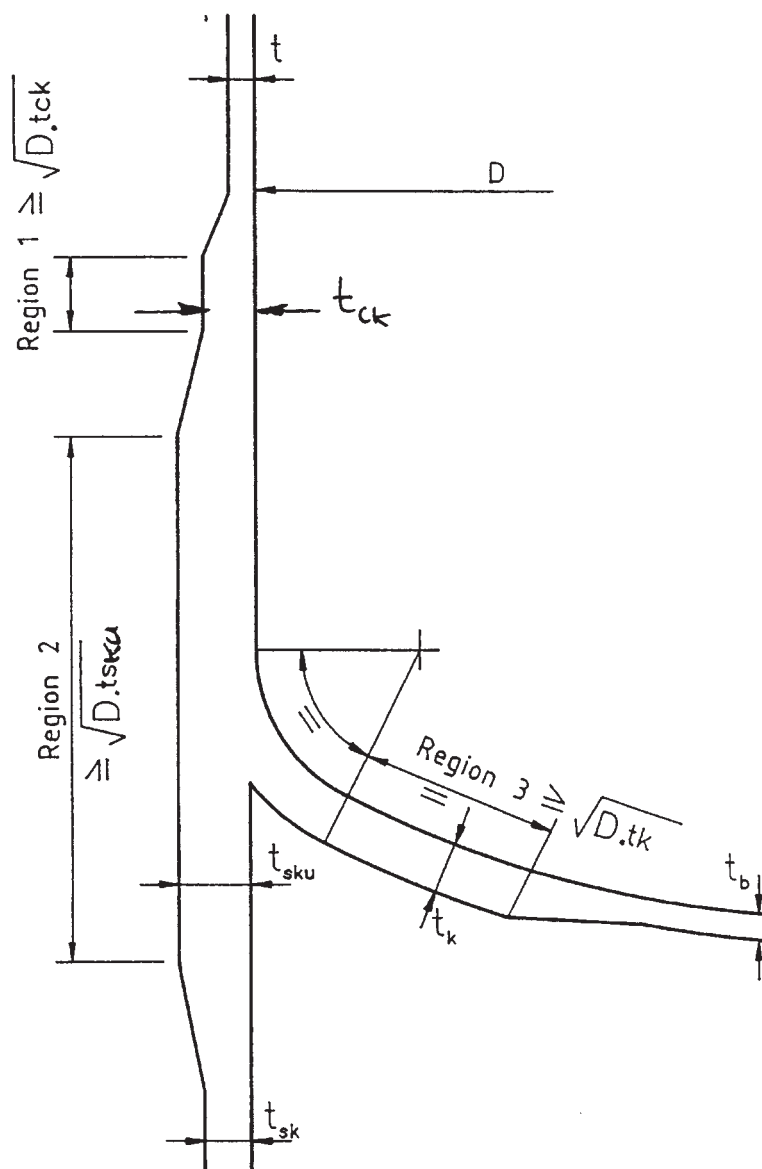


Bild 10.6.2 (3) — Auslegungskritische Bereiche von Behältern mit Standzarge

10.6.2.3.1 Einheitslast am unteren Teil des Zylinders (Bereich 1)

Die auf Grund von Innendruck in axialer Richtung wirkende Einheitslast $q_{x,p}$ wird mit Gleichung (58) berechnet.

$$q_{x,p} = 0,72 \times p \times D \quad (58)$$

Die Einheitslast auf Grund der Auswirkung einer Temperaturdifferenz $q_{x,\Delta T}$ mit $\Delta T \geq 20 \text{ °C}$ wird mit Gleichung (59) berechnet.

$$q_{x,\Delta T} = 1,50 \times X_x \times a_\phi \times \Delta T \quad (59)$$

Dabei ist:

$$\Delta T = T_{\text{Liquid}} - 20 \text{ °C}$$

Wenn $\Delta T < 20 \text{ °C}$ ist, kann der Temperatureinfluss vernachlässigt werden.

Das anhand von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (60) berechneten Wert entspricht.

$$q_x = -\frac{W}{\pi \times D} \pm \frac{4 \times M}{\pi \times D^2 \times A_5} \times q_x \pm \frac{q_{x,\Delta T}}{A_5} \quad (60)$$

Dabei werden wind- und temperaturbedingte Lasten als kurzfristige Lastzustände betrachtet (siehe 9.1).

10.6.2.3.2 Einheitslast am oberen Teil der Standzarge (Bereich 2)

Die auf Grund von Innendruck in axialer Richtung auf die Zarge wirkende Einheitslast $q_{x,Sk,u,p}$ wird mit Gleichung (61) berechnet.

$$q_{x,Sk,u,p} = 6 \times C \times p \times D \quad (61)$$

Dabei ist:

$$C = 0,2 \text{ bei torisphärischen Böden}$$

$$C = 0,1 \text{ bei elliptischen Böden, wenn } R \leq 0,8 \times D \text{ ist, sonst gilt } C = 0,2.$$

Die Einheitslast auf Grund der Auswirkung einer Temperaturdifferenz $q_{x,Sk,u,\Delta T}$ mit $\Delta T \geq 20 \text{ °C}$ wird mit Gleichung (62) berechnet.

$$q_{x,Sk,u,\Delta T} = 1,50 \times X_x \times \alpha_\phi \times \Delta T \quad (62)$$

Dabei ist:

$$\Delta T = T_{\text{Liquid}} - 20 \text{ °C}$$

Wenn $\Delta T < 20 \text{ °C}$ ist, kann der Temperatureinfluss vernachlässigt werden.

Das anhand von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (63) berechneten Wert entspricht.

$$q_x = -\frac{W + V \times p \times g}{\pi \times D} \pm \frac{4 \times M}{\pi \times D^2 \times A_5} \times q_{x,Sk,u} \pm \frac{q_{Sk,u,\Delta T}}{A_5} \quad (63)$$

Dabei werden die wind- und temperaturbedingten Lasten als kurzfristige Lastzustände betrachtet (siehe 9.1).

Die Länge des verstärkten Bereichs $I_{c, Sku}$ wird mit Gleichung (64) berechnet.

$$I_{c, Sku} \geq \sqrt{(D \times t_{Sku})} \quad (64)$$

Für den Teil der Zarge unterhalb des Bereichs 2 wird die maximale Einheitslast mit nachstehenden Gleichungen berechnet.

a) Für Zugbelastung:

$$q_{x, Sk} = - \frac{W + V \times p \times g}{\pi \times D} + \frac{4 \times M}{\pi \times D^2 \times A_5} \quad (65)$$

b) Für Druckbelastung:

$$q_{x, Sk} = - \frac{W + V \times p \times g}{\pi \times D} + \frac{4 \times M}{\pi \times D^2 \times \sqrt{A_5}} \quad (66)$$

Das anhand von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (65) oder (66) berechneten Wert entspricht. Weiterhin muss die Stabilität des Laminats mindestens so groß sein wie $q_{x, Sk} \times F$, wobei F , je nachdem, welcher Wert größer ist, entweder Tabelle 6 zu entnehmen oder mit Gleichung (5) zu ermitteln ist und $q_{x, Sk}$ mit Gleichung (66) berechnet wird.

10.6.2.3.3 Einheitslast im Krempenbereich (Bereich 3)

Die im Krempenbereich wirkende maximale Einheitslast wird für kegelförmige Böden mit Gleichung (28), (29) und (30) und für gewölbte Böden mit Gleichung (41) und (42) berechnet.

Die Einheitslast auf Grund der Auswirkung einer Temperaturdifferenz mit $\Delta T \geq 20^\circ \text{C}$ wird mit Gleichung (67) berechnet.

$$q_{x, \Delta T} = 6 \times K_0 \times X_x \times \alpha \times \Delta T \quad (67)$$

Wenn $\Delta T < 20^\circ \text{C}$ ist, kann der Temperatureinfluss vernachlässigt werden.

$K_0 = 0,25$ bei torisphärischen, kegelförmigen und halbkugelförmigen Böden

$K_0 = 0,15$ bei elliptischen Böden

Das anhand von Gleichung (10) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem mit Gleichung (68) berechneten Wert entspricht.

$$q_k = q_{k, p} + \frac{q_{k, \Delta T}}{A_5} \quad (68)$$

Länge des Bereichs:

$$I_{c, k} \geq \sqrt{(D \times t_k)} \quad (69)$$

Die maximale Einheitslast für jedes innere Überlaminat zur Verbindung des Bodens mit dem Zylinder wird mit Gleichung (70) berechnet.

$$q_{\text{over}} = \frac{p \times D + q_{k, p}}{4} \quad (70)$$

Der Verstärkungsfaseranteil des inneren Überlaminats muss mindestens $3 \times 450 \text{ g/m}^2$ Faserschnittmatte plus Korrosionsschutzschicht betragen.

Die maximale Einheitslast für ein äußeres Überlaminat am Übergang zwischen Zylinder wird mit Gleichung (71) berechnet.

$$q_{\text{over}} = \frac{W + V \times p \times g}{\pi \times D} + \frac{4 \times M}{\pi \times D^2 \times A_5} + 0,2 \times p \times D \quad (71)$$

Das anhand von Gleichung (19) ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens dem berechneten Wert für q_{over} entspricht.

Die Schubspannung im Überlaminat wird mit Gleichung (72) berechnet (siehe Bild 10.7).

$$\tau_{\text{over}} = \frac{q_{\text{over}}}{I_{\text{over}}} \quad \text{und} \quad (72)$$

$$\tau_{\text{over}} \leq \frac{\tau}{K}$$

Dabei ist:

$$I_{\text{over}} \leq 20 \times t_{\text{over}}$$

Der Verstärkungsfaseranteil des äußeren Überlaminats muss mindestens $3 \times 450 \text{ g/m}^2$ Faserschnittmatte betragen.

10.6.2.3.4 Feuerwiderstandsfähigkeit

Alle Zargen müssen eine Feuerwiderstandsfähigkeit von mindestens 30 Minuten besitzen, d. h. ihre Stabilität muss in einem Feuer 30 Minuten lang unbeeinträchtigt bleiben.

10.6.2.3.5 Ausschnitte in Zargen

Bei erforderlichen Ausschnitten in einer Standzarge ist diese entsprechend zu verstärken, so dass sie die in Abschnitt 10.9.4 enthaltenen Forderungen zum Ausgleich von Stabilitätsschwächung auf Grund von Öffnungen erfüllt. Zur Berechnung der Stabilität der Zarge sind die in Abschnitt 10.3.1 enthaltenen Gleichungen zu verwenden.

Die maximale Einheitslast im Bereich eines Ausschnitts wird mit Gleichung (73) berechnet.

$$q_{\text{xc}} = \frac{W + V \times p \times g}{A_c} + \frac{4 \times \frac{M}{\sqrt{A_5}} + (W + V \times p \times g) \times e_c}{W_c} \quad (73)$$

Dabei ist:

$$A_c = 2 \times R \times t_{\text{sk}} \times (\pi - \alpha_c)$$

$$W_c = \frac{D^3 \times t \times [\pi - \alpha_c - 0,5 \times \sin 2\alpha_c] - A_c \times e_c^2}{8 \times (e_A + 0,5 \times D \times \cos \alpha_c)}$$

$$\alpha_c = \arcsin\left(\frac{d_c}{D}\right)$$

V = Volumen des Behälters

$$e_c = \frac{D \times \sin \alpha_c}{2 \times (\pi - \alpha_c)}$$

t_{sk} = Dicke der Zarge im Bereich des Ausschnitts