

DIN EN 13121-3



ICS 23.020.10

Ersatz für  
DIN EN 13121-3:2010-06 und  
DIN EN 13121-3  
Berichtigung 1:2012-05

**Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter –  
Teil 3: Auslegung und Herstellung;  
Deutsche Fassung EN 13121-3:2016**

GRP tanks and vessels for use above ground –  
Part 3: Design and workmanship;  
German version EN 13121-3:2016

Réservoirs et récipients en PRV pour applications hors sol –  
Partie 3: Conception et fabrication;  
Version allemande EN 13121-3:2016

Gesamtumfang 214 Seiten

DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA)



## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13121-3:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 210 „GFK-Tanks und -Behälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom SFS (Finnland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der NA 012-00-07 GA im DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA).

## Änderungen

Gegenüber DIN EN 13121-3:2010-06 und DIN EN 13121-3 Berichtigung 1:2012-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) redaktionell und technisch überarbeitet;
- b) normative Verweisungen aktualisiert;
- c) Abschnitt 9.2.3 Erdbebenlasten erweitert;
- d) Abschnitt 9.3 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten erweitert.

## Frühere Ausgaben

DIN EN 13121-3: 2008-09, 2010-06

DIN EN 13121-3 Berichtigung 1: 2012-05

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 10. Januar 2016 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC 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, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, 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, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Nur zum internen Gebrauch

## Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	8
Einleitung .....	9
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Normative Verweisungen.....</b>	<b>10</b>
<b>3 Begriffe .....</b>	<b>12</b>
<b>4 Symbole und Abkürzungen .....</b>	<b>14</b>
<b>5 Bereitzustellende und zu dokumentierende Angaben und Anforderungen.....</b>	<b>16</b>
5.1 Allgemeines.....	16
5.2 Dem Hersteller bereitzustellende Unterlagen.....	16
5.3 Vom Hersteller zu erstellende Unterlagen .....	17
5.4 Abschließende Dokumentation.....	18
<b>6 Werkstoffe .....</b>	<b>18</b>
6.1 Allgemeines.....	18
6.2 Chemieschutzschicht.....	18
6.2.1 Allgemeines.....	18
6.2.2 Thermoplastische Auskleidungen.....	18
6.2.3 Auskleidungen auf Harzbasis.....	19
6.3 Entflammbarkeit .....	19
6.4 Elektrischer Widerstand.....	19
<b>7 Mechanische Eigenschaften .....</b>	<b>19</b>
7.1 Allgemeines.....	19
7.2 Wärmeformbeständigkeitstemperatur .....	19
7.3 Laminataufbau .....	20
7.4 Einzelschichtdicke .....	21
7.5 Laminatkennwerte .....	21
7.6 Interlaminare Schubfestigkeit.....	21
7.6.1 Laminat.....	21
7.6.2 Thermoplastische Auskleidungen.....	22
7.7 Schälfestigkeit von Laminaten.....	22
7.8 Abreißfestigkeit von Laminaten und thermoplastischer Auskleidung.....	22
7.9 Ermittlung der physikalischen Werkstoffeigenschaften und der zulässigen Auslegungsfaktoren.....	22
7.9.1 Allgemeines.....	22
7.9.2 Standardmäßige Auslegung – „basic design“ .....	23
7.9.3 Weiterentwickelte Auslegung – „Advanced design“ .....	23
7.9.4 Auslegungsfaktoren.....	24
7.9.5 Gesamtauslegungsfaktoren $K$ und $F$ .....	24
<b>8 Bestimmung von Auslegungsdehnung und -belastungen .....</b>	<b>28</b>
8.1 Allgemeines.....	28
8.2 Auslegungsdehngrenzen.....	28
8.2.1 Allgemeines.....	28
8.2.2 Grenzdehnung des Harzes $\epsilon_{ar}$ .....	28
8.2.3 Grenzdehnung des Laminats oder der Laminatschicht $\epsilon_{lim}$ .....	28

8.2.4	Grenzdehnung $\varepsilon_{\text{test}}$ unter Prüfbedingungen.....	29
8.3	Grenzwerte der Laminatbelastungen .....	29
8.4	Bestimmung der mechanischen Kennwerte von Laminaten .....	30
8.4.1	Allgemeines.....	30
8.4.2	Berechnung von Laminatkennwerten ohne experimentelle Versuchsdaten .....	30
8.4.3	Laminatkennwerte aus experimentellen Versuchsdaten .....	30
8.5	Laminatdicke .....	31
9	Auslegung.....	31
9.1	Einführung.....	31
9.2	Bestimmung der äußeren Belastungen .....	32
9.2.1	Schneelasten .....	32
9.2.2	Windlasten.....	32
9.2.3	Erdbebenlasten.....	33
9.2.4	Lasten aufgrund der Isolierung .....	34
9.2.5	Lasten aufgrund von Anschlüssen .....	34
9.2.6	Bewegung durch Rührwerke .....	35
9.2.7	Drücke durch unzureichende Be- und Entlüftung.....	35
9.2.8	Begehungslasten durch Personen.....	35
9.2.9	Eigenspannungen in Behältern und Tanks durch Temperatureinfluss .....	35
9.3	Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten.....	36
9.3.1	Allgemeines.....	36
9.3.2	Bemessung unter Verwendung von $(A_5 \cdot \gamma)$ - fache Lasten .....	42
9.4	Zeichnungen und Konstruktionsberechnungen.....	42
9.5	Berechnungsgrößen .....	43
9.5.1	Auslegungstemperatur $TS$ .....	43
9.5.2	Druck.....	43
10	Entwurfsauslegung .....	43
10.1	Symbole und Einheiten.....	43
10.2	Stehende Behälter oder Tanks, Zylinder unter Last ( $t < 0,01 \cdot D$ ).....	46
10.2.1	Belastung in Umfangsrichtung.....	46
10.2.2	Kombinierte axiale Belastung.....	46
10.3	Zylinderschalen unter Druckbelastung — Kritische Beulkriterien.....	47
10.3.1	Allgemeines.....	47
10.3.2	Kritische Beullast in axialer Richtung .....	47
10.3.3	Kritischer Beuldruck in Umfangsrichtung.....	48
10.3.4	Kombinierte axiale und radiale Drucklasten.....	49
10.3.5	Kritischer Beuldruck für eine Zylinderschale mit äußeren oder inneren Versteifungsringen .....	50
10.4	Kegelschalen .....	51
10.4.1	Allgemeine Anforderungen.....	51
10.4.2	Flachkegelförmige Böden .....	53
10.4.3	Kegelförmige Böden unter Innendruck .....	53
10.4.4	Kegelförmige Böden unter Außendruck.....	55
10.4.5	Kegelförmige Deckel .....	57
10.5	Gewölbte Böden .....	58
10.5.1	Allgemeine Anforderungen.....	58
10.5.2	Gewölbte Böden unter Innendruck.....	59
10.5.3	Stabilität gewölbter Böden unter Außendruck .....	61
10.6	Auslegung von Flachböden und Standzargen für stehende Behälter.....	61
10.6.1	Definitionen .....	61
10.6.2	Vollflächig gelagerte Flachbodenbehälter .....	62
10.6.3	Flachbodenbehälter unter Druck.....	68
10.6.4	Ausführungen mit gewölbten und kegelförmigen Böden .....	68
10.7	Rundlamine an Zylinderstoßstellen.....	78

10.7.1	Allgemeines.....	78
10.7.2	Ausführung ohne thermoplastische Auskleidung.....	80
10.7.3	Ausführung mit thermoplastischer Auskleidung.....	80
10.8	Öffnungen, Abzweige und Laminate zur Ausschnittsverstärkung.....	80
10.8.1	Allgemeines.....	80
10.8.2	Symbole.....	81
10.8.3	Anforderungen die Ausschnittsverstärkungen von Öffnungen.....	81
10.8.4	Ausziehllast von Stützen.....	87
10.8.5	Verhinderung von Abschälen.....	87
10.8.6	Blockflanschverbindungen.....	88
10.8.7	Schraubverbindungen.....	90
10.8.8	Zugangs- und Inspektionsöffnungen.....	90
10.8.9	Verstärkungen an Abzweigen.....	90
10.9	Ebene Platten oder Blindflansche.....	90
10.9.1	Allgemeines.....	90
10.9.2	Symbole.....	91
10.9.3	Runde Platten.....	91
10.10	Liegende Behälter.....	94
10.10.1	Auflagertypen.....	94
10.10.2	Symbole.....	96
10.10.3	Auf die Zylinderschale wirkende Schnittlasten.....	97
10.10.4	Schnittlasten an den Tragsätteln.....	105
10.10.5	Schnittlasten bei waagrecht auf den Behälter wirkender Last.....	111
10.11	Rohre mit großen Durchmessern und Formstücke.....	112
10.11.1	Allgemeines.....	112
10.11.2	Rohrverbindungen.....	113
10.11.3	Bögen.....	114
10.11.4	Große Ausschnitte und T-Stücke.....	114
11	Geschraubte Flanschverbindungen.....	117
11.1	Allgemeines.....	117
11.2	Auslegung von Festflanschen.....	123
11.2.1	Allgemeines.....	123
11.2.2	Symbole.....	124
11.2.3	Lasten aus Rohrleitungen auf den Flansch.....	126
11.2.4	Dichtkraft und Schraubenanzugsmoment.....	126
11.2.5	Zusammenfassung der Lasten.....	127
11.2.6	Gesamt-Biegemoment.....	127
11.2.7	Dimensionierung von Festflanschen.....	127
11.2.8	Flanschverdrehung.....	129
11.3	Bundstützen mit Losring.....	135
11.3.1	Allgemeines.....	135
11.3.2	Lasten, Biegemoment und Auslegung für Losring aus Stahl oder GFK.....	136
11.3.3	Beanspruchungen von Bundstützen.....	137
11.3.4	Schubspannungen am Bundstützen.....	137
11.3.5	Dimensionierung des Bundstützens.....	138
11.3.6	Druckspannung.....	138
11.4	Anlaminieren von Flanschen an Behältern und Tanks.....	140
12	Auflagerkonstruktionen für Behälter und Tanks.....	140
12.1	Allgemeines.....	140
12.2	Auflager und Aufhängungen für Tanks und Behälter.....	141
12.2.1	Allgemeine Hinweise zu Auflagern.....	141
12.2.2	Auflager und Halterungen für stehende Behälter.....	141
13	Erdbebenlasten.....	147
14	Berechnungen von Verankerungen für Tanks und Behälter.....	147

14.1	Allgemeines .....	147
14.2	Auslegung gegen Abheben .....	147
14.3	Auslegung der Ankerschrauben .....	147
15	An- und Einbauteile .....	151
15.1	Allgemeines .....	151
15.2	Innenliegende An- und Einbauteile .....	151
15.3	Außenliegende An- und Einbauteile .....	151
15.4	Hebevorrichtungen .....	151
16	Berücksichtigung von Punktlasten .....	157
17	Qualitätskontrolle .....	157
17.1	Allgemeines .....	157
17.2	Anforderungen an die Produktionsstätten .....	157
17.2.1	Allgemeines .....	157
17.2.2	Lagerung der Ausgangswerkstoffe .....	157
17.2.3	Fertigungsbereich .....	157
17.2.4	Umgebungsbedingungen für das Laminieren .....	158
17.3	Vom Hersteller zu erstellende Dokumentation .....	158
17.3.1	Technische Unterlagen .....	158
17.3.2	Anforderungen an Aufzeichnungen und Dokumentation für Ausgangswerkstoffe .....	158
17.3.3	Erforderliche Unterlagen zur Fertigungsdokumentation .....	159
17.3.4	Anforderungen an die Dokumentation zur Qualitätskontrolle .....	159
17.4	Fertigung .....	166
17.4.1	Allgemeines .....	166
17.4.2	Herstellung thermoplastischer Auskleidungen .....	166
17.4.3	Laminatherstellung .....	167
17.4.4	Fehler in Laminaten .....	168
17.4.5	Aushärtung .....	168
17.5	Prüfungen nach Abschluss der Fertigung .....	168
17.5.1	Sichtprüfung und Maßprüfung .....	168
17.5.2	Durchzuführende physikalische Prüfungen .....	168
17.5.3	Prüfung von Prüfstücken .....	169
17.6	Experimentelles Verfahren zur Verifizierung der Auslegung von Druckbehältern .....	169
17.6.1	Allgemeines .....	169
17.6.2	Herstellung des Prüfbehälters .....	170
17.6.3	An den Prüfbehältern durchzuführende Prüfungen .....	171
18	Kennzeichnung .....	171
<b>Anhang A (informativ) Produktprüfung für die Serien- oder Chargenproduktion .....</b>		<b>172</b>
A.1	Erst-Typprüfung (ITT) .....	172
A.2	Stichprobenprüfung .....	172
A.2.1	Allgemeines .....	172
A.2.2	Freigabeproofungen einer Charge (BRT) .....	172
A.2.3	Prozesskontrollprüfungen .....	173
A.3	Prüfunterlagen .....	174
A.3.1	Allgemeines .....	174
A.3.2	Kennzeichnung .....	174
A.3.3	Auslieferung, Aufstellung, Instandhaltung .....	174
<b>Anhang B (informativ) Ableitung der Laminatkennwerte von den Kennwerten der Laminatschichten .....</b>		<b>175</b>
B.1	Allgemeines .....	175
B.2	Schicht-/Laminatdicke .....	175
B.3	Laminatmoduln .....	176
B.4	Bestimmung der Biegesteifigkeit des Laminats .....	177
B.5	Bestimmung der Laminatdehnungen aus den Lastresultierenden .....	177

<b>Anhang C (normativ) Druck- und Dichtheitsprüfung</b> .....	<b>179</b>
C.1 Allgemeines.....	179
C.2 Offene Tanks.....	179
C.3 Geschlossene Tanks und Behälter.....	180
C.3.1 Beschickungsgut mit einer Dichte bis 1,0.....	180
C.3.2 Beschickungsgut mit einer Dichte über 1,0.....	180
C.4 Flüssigkeitsdruckprüfung.....	180
C.4.1 Prüfung in Betriebslage.....	180
C.4.2 Prüfung in anderer als Betriebslage.....	180
C.4.3 Gasdruckprüfung.....	181
C.4.4 Unterdruckprüfung.....	181
<b>Anhang D (normativ) Prüfverfahren</b> .....	<b>182</b>
D.1 Allgemeines.....	182
D.1.1 Prüfungen.....	182
D.1.2 Genauigkeit des Prüfgeräts.....	183
D.2 Glühverlust.....	183
D.3 Zugfestigkeit von Schweißverbindungen bei thermoplastischen Kunststoffen.....	183
D.4 Biegeprüfung von Schweißverbindungen bei thermoplastischen Kunststoffen.....	183
D.4.1 Einleitung.....	183
D.4.2 Versuchsanordnung.....	183
D.4.3 Probekörper.....	184
D.4.4 Prüfverfahren.....	185
D.4.5 Anforderungen an die Biegeprüfung.....	185
D.4.6 Prüfbericht.....	185
D.5 Bestimmung der Einheitszugfestigkeit bei Bruch von Laminaten.....	186
D.5.1 Probekörper und Prüfverfahren.....	186
D.5.2 Einfache Lamine.....	186
D.5.3 Kombinierte Lamine.....	186
D.6 Einheitszugmodul von Laminaten.....	187
D.7 Interlaminare Schubfestigkeit von Laminaten.....	189
D.7.1 Form der Probekörper.....	189
D.7.2 Anzahl der Probekörper.....	189
D.7.3 Durchführung.....	189
D.7.4 Ergebnisse.....	189
D.7.5 Prüfbericht.....	189
D.8 Schubfestigkeit der Verbindung zwischen thermoplastischer Auskleidung und Laminat oder zwischen Laminatschichten.....	190
D.8.1 Form der Probekörper.....	190
D.8.2 Anzahl der Probekörper.....	190
D.8.3 Durchführung.....	190
D.8.4 Prüfbericht.....	191
D.9 Schälfestigkeit der Verbindung zwischen Laminatschichten.....	192
D.9.1 Form der Probekörper.....	192
D.9.2 Anzahl der Probekörper.....	192
D.9.3 Durchführung.....	192
D.9.4 Prüfbericht.....	192
D.10 Prüfung des Kurzzeit-Kriechverhaltens bei Biegebeanspruchung (Prüfung des Biegemoduls $E_{1h}$ und $E_{24h}$ ).....	194
D.10.1 Allgemeines.....	194
D.10.2 Definitionen.....	194
D.10.3 Prüfgerät.....	194
D.10.4 Probekörper.....	195
D.10.5 Durchführung.....	195
D.10.6 Berechnung.....	196
D.11 Barcol-Härte.....	196

D.12	Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstands.....	196
D.13	Glasübergangstemperatur ausgehärteter Harze mittels DSC.....	197
D.14	Hochfrequenzfunkenprüfung thermoplastischer Schweißnähte.....	197
D.14.1	Allgemeines .....	197
D.14.2	Prüfgerät.....	197
D.14.3	Durchführung .....	197
D.15	Zeitstand-Kriechverhalten bei Biegebeanspruchung.....	197
D.15.1	Allgemeines .....	197
D.15.2	Definitionen.....	198
D.15.3	Prüfgerät.....	198
D.15.4	Probekörper .....	198
D.15.5	Durchführung .....	198
D.15.6	Berechnung.....	199
D.16	Gummihärte.....	199
D.17	Prüfung des Flammpunkts.....	200
D.18	Prüfung der Wärmeformbeständigkeit.....	200
D.19	Biegefestigkeit von Laminaten.....	200
D.20	Prüfung der Abreißfestigkeit von Laminaten.....	200
<b>Anhang E (normativ) Zulassungsprüfung für Laminierer.....</b>		<b>201</b>
E.1	Allgemeines .....	201
E.2	Bewertung des Laminierers .....	201
E.3	Durchführung .....	201
E.4	Theorieprüfung.....	202
E.5	Probekörper .....	202
E.6	Prüfung der Probekörper.....	203
E.6.1	Allgemeines .....	203
E.6.2	Prüfverfahren 1.....	203
E.6.3	Prüfverfahren 2.....	203
E.6.4	Prüfverfahren 3.....	203
E.7	Mindestanforderungen für die Zulassung.....	204
E.8	Prüfbescheinigung .....	204
E.9	Geltungsdauer und Erneuerung von Bescheinigungen .....	204
E.10	Geltungsbereich .....	204
<b>Anhang F (informativ) Auslegung durch Spannungsanalyse .....</b>		<b>206</b>
F.1	Allgemeines .....	206
F.2	Typische Verfahren .....	206
F.3	Allgemeine Anforderungen .....	206
F.4	Wichtige Ergebnisse der Bestimmung.....	206
F.5	Auslegungsfaktoren.....	206
<b>Anhang G (normativ) Umweltaspekte .....</b>		<b>207</b>
G.1	Kurzbeschreibung.....	207
G.2	Auslegung und Herstellung.....	207
G.3	Auswirkungen von Werkstoffen auf Wasser .....	207
G.4	Auswirkungen von Werkstoffen auf Nahrungsmittel .....	208
G.5	Wiederverwertung.....	208
G.6	Lagerung von wassergefährdenden Stoffen .....	208
<b>Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2014/68/EU.....</b>		<b>209</b>
<b>Literaturhinweise.....</b>		<b>211</b>

## Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 13121-3:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 210 „GFK-Tanks und Behälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom SFS gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2016, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2016 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt EN 13121-3:2008+A1:2010.

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

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

Die folgenden Änderungen wurden an der Neuausgabe der EN 13121-3 vorgenommen:

- die Norm wurde vollständig hinsichtlich einer Übereinstimmung mit EN 1990 überarbeitet; und
- die Abschnitte zu „Ebene Platten“ und „Beanspruchung durch Punktlasten“ wurden entfernt.

EN 13121, *Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter*, besteht derzeit aus folgenden Teilen:

- *Teil 1: Ausgangsmaterialien — Spezifikations- und Annahmebedingungen;*
- *Teil 2: Verbundwerkstoffe — Chemische Widerstandsfähigkeit;*
- *Teil 3: Auslegung und Herstellung;*
- *Teil 4: Auslieferung, Aufstellung und Instandhaltung;*
- *Teil 5: Berechnungsbeispiel (CEN/TR 13121-5; in Bearbeitung).*

Eine Europäische Norm erhebt keinen Anspruch darauf, alle erforderlichen Festlegungen eines Vertrags zu enthalten. Die korrekte Anwendung Europäischer Normen liegt in der Verantwortung ihrer Anwender.

Die bloße Übereinstimmung mit einer Europäischen Norm verleiht keine Immunität gegenüber gesetzlichen Verpflichtungen.

Bei der Erarbeitung dieser Europäischen Norm wurde vorausgesetzt, dass angemessen qualifizierte und erfahrene Personen mit der Umsetzung ihrer Festlegungen betraut werden.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, 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, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## Einleitung

Die fünf Teile der EN 13121 legen gemeinsam die Verantwortlichkeiten der Hersteller der Tanks bzw. Behälter sowie die für deren Fertigung zu verwendenden Werkstoffe fest.

EN 13121-1 enthält die Anforderungen und Annahmebedingungen für die Ausgangswerkstoffe – Harze, Härter, thermoplastische Auskleidungen, Verstärkungs- und Zusatzwerkstoffe. Diese Anforderungen sind notwendig, um die nach EN 13121-2 ermittelten Eigenschaften der chemischen Widerstandsfähigkeit sowie die nach diesem Teil der EN 13121 bestimmten thermischen und mechanischen Auslegungsmerkmale festzulegen. Gemeinsam mit den nach diesem Teil 3 bestimmten Grundsätzen für die Bauausführung stellen die Anforderungen und Annahmebedingungen für die Ausgangswerkstoffe sicher, dass Tank bzw. Behälter den konstruktiven Anforderungen entsprechen. EN 13121-4 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 Behälter und Tanks nach dieser Norm nur unter Verwendung von Ausgangswerkstoffen qualifizierter und erfahrener Rohstofflieferanten hergestellt und nur von fachkundigen und entsprechend ausgerüsteten Behälter- und Tankherstellern gefertigt werden, um alle Anforderungen dieser Norm zu erfüllen.

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 hingegen 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 Auslegungsfalls 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 erforderliche Steifigkeit und Festigkeit verleiht, um mechanischen Belastungen standzuhalten. Da der Anteil der Glasverstärkung in der Regel anhand der Masse ausgedrückt wird, wird bei der Bestimmung der mechanischen Eigenschaften die flächenbezogene Masse des Glases ( $m$ ) statt der Dicke betrachtet und daher die Begriffe Spannung und E-Modul durch die Einheitsschnittlast ( $U$ ) und den Einheitsmodul ( $X$ ) ersetzt, die in Tabelle 1 definiert sind.

Es ist möglich, dass zukünftige Fortschritte in der Harztechnologie es erlauben, Tanks und Behälter für Betriebstemperaturen mit über 120 °C herzustellen. Sollte ein solcher Fall eintreten, und ein Hersteller möchte die Vorteile einer solcher Entwicklung nutzen, so gelten auch hierfür alle anderen Anforderungen dieser Norm. Tanks und Behälter werden in diesen Fällen nur in Übereinstimmung mit der weiterentwickelten Design-Methode nach 7.9.3 ausgelegt.

**ANMERKUNG** Für die Umrechnung einer Schnittlast bzw. eines Einheitsmoduls in eine Spannung bzw. einen E-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

Dieser Teil der EN 13121 legt Anforderungen für Auslegung, Fertigung, Prüfung und den Nachweis für oberirdische GFK-Tanks und -Behälter, mit oder ohne thermoplastische(r) Auskleidung fest, 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. Weitere Anforderungen sind im normativen Anhang G dargelegt.

Die Begriffe Behälter und Tank im Sinne dieses Teils der EN 13121 umfassen auch Stutzen (Abzweige) bis zur Verbindung zu Rohrleitungen oder anderen Anlagenteilen, wie Verschraubungen, Unterstützkonstruktionen, Halterungen oder anderen Anbauteilen, die unmittelbar mit der Schale verbunden sind. Dieser Teil der EN 13121 gilt für Behälter und Tanks, die Temperaturen zwischen -40 °C und 120 °C ausgesetzt sind.

Dieser Teil der EN 13121 gilt nicht für:

- Tanks und Behälter für den Transport von Fluiden;
- unterirdische Lagertanks;
- kugelförmige Behälter;
- Behälter und Tanks mit unregelmäßiger Form;
- Tanks und Behälter in doppelwandiger Ausführung, bei denen die Doppelwandigkeit statisch berücksichtigt wird;
- 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).

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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 Eindruckhärte mit dem Barcol-Härteprüfgerät*

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

EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991-1-1, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke — Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*

EN 1991-1-3, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen — Schneelasten*

EN 1991-1-4, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen — Windlasten*

EN 1991-1-5, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen — Temperatureinwirkungen*

EN 1991-4, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 4: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter*

EN 1993 (alle Teile), *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

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

EN 1993-1-6:2007, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen*

EN 1998 (alle Teile), *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*

EN 1998-1, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1: Grundlagen, Erdbeeinwirkungen und Regeln für Hochbauten*

EN 1998-4:2006, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen*

EN 10025-2, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*

EN 13067, *Kunststoffschweißpersonal — Anerkennungsprüfung von Schweißern — Thermoplastische Schweißverbindungen*

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

EN 13445-3:2014, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 3: Konstruktion*

EN 13555, *Flansche und ihre Verbindungen — Dichtungskennwerte und Prüfverfahren für die Anwendung der Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtungen*

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)*

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

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

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

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

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

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

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

EN ISO 7500-1, *Metallische Werkstoffe — Kalibrierung und Überprüfung von statischen einachsigen Prüfmaschinen — Teil 1: Zug- und Druckprüfmaschinen — Kalibrierung und Überprüfung der Kraftmess-einrichtung (ISO 7500-1)*

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

EN ISO 11357-2, *Kunststoffe — Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC) — Teil 2: Bestimmung der Glasübergangstemperatur und der Glasübergangsstufenhöhe (ISO 11357-2)*

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

EN ISO 14692-3:2002, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Glasfaserverstärkte Kunststoffrohrleitungen (GKF) — Teil 3: Systemauslegung (ISO 14692-3:2002)*

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

ASTM D 4541-09, *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*

ASME B 16.5/16.47, *Pipe Flanges and Flanged Fittings: NPS 1/2 Through NPS 24 Metric/Inch Standard*

### **3 Begriffe**

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

#### **3.1**

##### **Hersteller**

Unternehmen, das den Behälter oder Tank entsprechend der vorliegenden 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**

Institution oder Vereinigung, die erforderlichenfalls prüft, ob Konstruktion, Werkstoffe und Bauausführung mit der vorliegenden Norm übereinstimmen.

Anmerkung 1 zum Begriff: Für diese Norm, wenn  $PS \leq 0,5$  bar

#### **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**

##### **benannte Stelle**

zertifizierte Organisation, die bei der Europäischen Kommission für Druckgeräte eingetragen ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Für diese Norm, wenn  $PS > 0,5$  bar

**3.6****interne Prüfstelle**

von der Fertigung unabhängiger Prüfer des Herstellers

**3.7****Tank**

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

**3.8****Laminat**

glasverstärkter Harzformstoff

**3.9****Oberflächenschicht**

dünne Harzschicht an der Oberfläche eines Laminats mit oder ohne Textilglasvlies- oder Synthesevliesverstärkung.

**3.10****Härtung**

chemische Reaktion, bei der durch Polymerisation des Harzes das Laminat erzeugt wird

**3.11****thermische Nachbehandlung**

Erwärmung des fertigen Bauteils zum Abschließen der Polymerisation

**3.12****maximal zulässiger Druck**

$p_S$

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

**3.13****Differenzdruck**

Druckdifferenz zwischen beiden Seiten eines Bauteils

**3.14****Auslegungsdruck**

$p_D$

Druck, der zur Berechnung der Auslegung eines Bauteils dient

**3.15****höchste/niedrigste zulässige Temperatur**

$T_S$

Temperatur, für die das Gerät nach Angaben des Herstellers spezifiziert ist

**3.16****Prüftemperatur**

Temperatur, bei der die Druckprüfung an dem Gerät vorgenommen wird

**3.17****Prüfdruck**

$p_T$

Druck, bei dem der Tank oder Behälter geprüft wird

## 4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in allen Abschnitten und Anhängen verwendeten sowie in Tabelle 1 angegebenen Symbole und Abkürzungen. Alle Maße sind in Millimeter angegeben.

Weitere Symbole sind erforderlichenfalls in den betreffenden Abschnitten festgelegt.

**Tabelle 1 — Norm-Symbole und Abkürzungen**

Symbol	Einheit	Definition
$A$	mm	Abstand
$a$	mm	Abmessung
$b$	mm	Abmessung
$d$	mm	Durchmesser
$D$	mm	Innendurchmesser des Tanks oder Behälters
$\Delta$	-	Differenz oder Zuschlag
$E$	N/mm <sup>2</sup>	Elastizitätsmodul = $\frac{x}{t}$
$\varepsilon$	%	Dehnung
$F$	-	Globalsicherheitsfaktor gegen Beulversagen
$\phi$	°	halber Kegelwinkel
$\theta$	°	Umschlingungswinkel des Auflagersattels bei liegenden Behältern
$g$	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
$\gamma_m$	-	Materialteilkfaktor
$\gamma_{F,i}$	-	Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung
$h_i$	mm	Innenhöhe des gewölbten Bodens
$H$	mm	Höhe des Kegels
$I$	mm <sup>4</sup>	Trägheitsmoment
$k$	-	Korrekturfaktor
$K$	-	Gesamtauslegungsfaktor
$l$	mm	Länge
$L$	mm	Gesamtlänge
$m$	kg/m <sup>2</sup>	Masse je Flächeneinheit
$M$	Nmm	Biegemoment
$u$	N/mm	Schnittlast = Last/Breite
$\nu$	-	Poissonzahl
$P$	N	direkt einwirkende Last
$p$	N/mm <sup>2</sup>	Druck
$Q$	N	Schubkraft
$r$	mm	Krempenradius
$R$	mm	Radius
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Dichte der Flüssigkeit
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	Last = $\frac{U}{t}$ und $\frac{n}{t}$
$t$	mm	Dicke

Symbol	Einheit	Definition
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	Schubspannung
$T$	°C	Temperatur
$TS$	°C	Auslegungstemperatur
$U_{\text{lam}}$	N/mm	Schnittlast des Laminats
$U$	N/mm je kg/m <sup>2</sup> Glas	massenbezogene Einheitszugfestigkeit des Laminats (UTUS)
$V$	m <sup>3</sup>	Volumen
$x$	-	Koordinate in Längsrichtung
$X$	N/mm	Einheitsmodul = Last/Breite × Dehnung
$X_i$	N/mm je kg/m <sup>2</sup> Glas	Einheitsmodul der Schicht je kg/m <sup>2</sup> Glas bei Zugbeanspruchung
$n$	N/mm	einwirkende Schnittlast

Tabelle 2 — Abkürzungen

Abkürzungen		
CSM	-	Matte, Wirrfaserlage
ECTFE	-	Ethylen-Chlortrifluorethylen-Copolymerisat
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
CRL	-	Chemieschutzschicht, siehe EN 13121-2
VL	-	Vliesschicht, siehe EN 13121-2
TPL	-	Thermoplastauskleidung, siehe EN 13121-2
Lam	-	Laminat
OD	-	Außendurchmesser
ID	-	Innendurchmesser

## 5 Bereitzustellende und zu dokumentierende Angaben und Anforderungen

### 5.1 Allgemeines

Der Hersteller muss einen Bericht über Auslegung und Herstellung entsprechend der Beschreibung in 17.3 erstellen. Dieser Bericht muss vom Hersteller geprüft sein und, je nach Zutreffen, dem Käufer und/oder der Prüfstelle vorgelegt werden.

Der Auslegungs-/Herstellungsbericht muss dem Käufer ausgehändigt und eine Kopie für mindestens 5 Jahre vom Hersteller aufbewahrt werden.

Die Durchführung von Fertigungsprüfungen entsprechend den Festlegungen in Abschnitt 7 sowie die Aufzeichnung der Ergebnisse für den Nachweis der Übereinstimmung von Tanks/Behältern mit dieser Norm muss in der Verantwortung des Herstellers liegen.

Die Übereinstimmung mit den in Abschnitt 7 festgelegten Prüfungen und dem Bericht gemeinsam mit den in dieser Norm festgelegten maßgebenden Dokumentationen und Anforderungen muss gegeben sein, bevor die Übereinstimmung mit dieser Norm hergestellt und verifiziert werden kann.

### 5.2 Dem Hersteller bereitzustellende Unterlagen

Der Käufer muss die folgenden vollständig zu dokumentierenden Angaben bereitstellen. Die Übereinstimmung sowohl mit den in dieser Norm festgelegten maßgebenden Anforderungen als auch den Dokumentationen muss gegeben sein, bevor die Übereinstimmung mit dieser Norm hergestellt und verifiziert werden kann.

#### a) Prozessbedingungen:

- 1) zu handhabende Füllmedien (Bezeichnungen, Konzentration, relative Dichte und Toxizität), einschließlich wahrscheinlich auftretender Unreinheiten oder Verunreinigungen;
- 2) Auslegungsdruck (oder -unterdruck), einschließlich Prüfanforderungen und Auslegungstemperatur;
- 3) Betriebsdruck (oder -unterdruck) und -temperatur;
- 4) Betriebsart, z. B. zyklische Prozessbedingungen;
- 5) jegliche möglicherweise auftretenden Probleme mit Abrieb und Erosion;

#### b) Aufstellungsbedingungen:

- 1) Beschaffenheit der Umgebungsatmosphäre, einschließlich jeglicher Extremtemperaturen;
- 2) einwirkende Lasten, z. B. Wind, Schnee und zugehörige Rohrleitungen;
- 3) durch das Personal während Aufstellung und Betrieb aufgebrauchte Belastungen;
- 4) Erdbebenlasten;
- 5) Gesamtansicht der Anlage vor Ort;

#### c) besondere Bedingungen:

- 1) Siedepunkt;

- 2) Vibration aufgrund des benachbarter Gewerke;
  - 3) Einzelheiten des Rührwerks;
  - 4) Gefahr von mechanischem Stoß und Beschädigung;
  - 5) Belastungen während des Transports;
  - 6) Oberflächenbehandlung, z. B. wenn feuerbeständig;
- d) Einzelheiten sämtlicher erforderlicher Sonder- oder Zusatzprüfungen und wo diese durchzuführen sind;
- e) Freistellung des Aufbringens einer pigmentierten Beschichtung auf den Behälter vor der abschließenden Prüfung;
- f) Prüfeinrichtungen;
- g) geltende Vorschriften, z. B. Gesetze, Rechtsverordnungen und Erlasse;
- h) Name der Prüfstelle, sofern zutreffend;
- i) Anforderungen an Verpackung, Versand und Aufstellung.

### 5.3 Vom Hersteller zu erstellende Unterlagen

Vor Beginn der Fertigung muss der Hersteller technische Unterlagen mit Berechnungen, Zeichnungen und einer Konstruktionsbeschreibung anfertigen, die bei Bedarf bereitzustellen sind.

Diese Spezifikationsunterlagen müssen mindestens folgende Angaben enthalten:

**Gewölbte Böden:** Lagenaufbau, Kalottenradius, Innenradius der Krempe, Kugeltorusform und Mindestwanddicke.

**Mantelschale:** Lagenaufbau, Wanddicke, Durchmesser.

**Flansche (einschließlich Blindflansche):** Typ, Norm und Nenndruck nach den Tabellen 24 bis 29; bei nicht genormten Flanschen: Mindestdicke, Bohrungen, Innen- und Außendurchmesser, Abmessungen des Flanschansatzes und Angaben zur Dichtfläche.

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

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

**Verbindungen am Tankkörper:** Lagenaufbau, Wanddicke und Länge.

**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. Krempe radius zur Schale; Durchmesser an beiden Enden der Kegelschale.

**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, Dicke, Anzahl und Teilung der Befestigungsschrauben.

**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:** Halterungen, Auflager von Böden usw.

**Toleranzen:** Sämtliche zusätzlichen speziellen Toleranzen, die über die in den Bildern 64 bis 67 angegebenen 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 Überlaminats.

## 5.4 Abschließende Dokumentation

Die abschließende Dokumentation muss den Anforderungen nach 17.3 entsprechen.

## 6 Werkstoffe

### 6.1 Allgemeines

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

Die Empfehlungen des Lieferanten zur Verwendung der Ausgangswerkstoffe sind zu befolgen. Farbstoffe dürfen nicht verwendet werden, sofern sie nicht für die äußere Harzschicht oder zur Einhaltung der Anforderungen nach 6.3 und 6.4 notwendig sind.

Thixotropiermittel dürfen in begrenztem Umfang verwendet werden, sofern sie weder die Sichtprüfung (siehe Tabelle 32) noch die nach EN 13121-2 erforderlichen chemischen und mechanischen Eigenschaften des ausgehärteten Harzes beeinträchtigen.

### 6.2 Chemieschutzschicht

#### 6.2.1 Allgemeines

Die Chemieschutzschicht ist entsprechend den Anforderungen nach EN 13121-2:2003 auszuwählen. Der Aufbau von Chemieschutzschichten muss bei Festigkeits- und Stabilitätsberechnungen unberücksichtigt bleiben.

#### 6.2.2 Thermoplastische Auskleidungen

Diese Auskleidungen werden nach EN 13121-2:2003, 4.4, als TPL bezeichnet, und die Mindestdicke der Auskleidungen muss EN 13121-2:2003, Tabelle 1, entsprechen.

### 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 die in den jeweiligen Abschnitten nach EN 13121-2:2003 genannt sind entsprechen.

Ist die Schutzschicht als einzelne Schicht aufgebaut (z.B. als Vliesschicht), in den Abschnitten nach EN 13121-2:2003 als (SPL) bezeichnet, darf das Oberflächenvlies (VL) entweder aus C-Textilglas, Synthetivlies, Kohlefasern oder ECR-Glas bestehen.

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

Ist die Schutzschicht ein Harzschichtsystem (HL), siehe EN 13121-2:2003, 3.1, muss die Dicke der Schutzschicht zwischen 0,3 mm und 0,7 mm betragen.

### 6.3 Entflammbarkeit

Sofern aufgrund örtlicher oder nationaler Brandschutzbestimmungen erforderlich oder festgelegt, muss die Ausführung der äußeren Schicht(en) so geändert werden, dass sie die geeigneten Eigenschaften bei der Flammenausbreitung an der Oberfläche aufweisen.

### 6.4 Elektrischer Widerstand

In Fällen, in denen eine elektrostatische Aufladung zu Problemen führen kann, darf bei Prüfung mit dem in D.12 angegebenen Verfahren 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 Messung mit den in D.5 und D.6 angegebenen Prüfverfahren 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 %. |

Dem Hersteller muss es überlassen sein, höhere Werte als die in Tabelle 3 angegebenen mechanischen Kennwerte zu verwenden, sofern die Werte in statistisch gesicherten Prüfungen ermittelt wurden und bei der Fertigung überprüft werden (siehe 7.9.3).

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

### 7.2 Wärmeformbeständigkeitstemperatur

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

### 7.3 Laminataufbau

Die äußere Laminatoberfläche des Tanks oder Behälters muss eine Wirrfaserlage mit einer flächenbezogenen Masse von mindestens 450 g/m<sup>2</sup> oder eine Wickelkonstruktion aus Endlosfaser enthalten und ist mit einer Oberflächenvlieschicht zu versehen.

**Tabelle 3 — Mindestkennwerte für Laminatschichten**

Verstärkungsart	Verstärkungsrichtung	Geltende Kriterien	UTUS	Einheitszugmodul
			$U_i$ N/mm je kg/m <sup>2</sup> Glas	$X_i$ N/mm je kg/m <sup>2</sup> Glas
CSM	Alle		200	14 000
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	$\xi \geq \frac{1}{6}$	$320 \times \xi$	$4\,000 + 24\,000 \times \xi$
		$\xi < \frac{1}{6}$	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
Schubfestigkeit $f_{v,k} = \tau_k \geq 60 \text{ N/mm}^2$ in Längs ( $\tau_{xy}$ ) - und Querebene ( $\tau_{xz}, \tau_{yz}$ )				
Interlaminare Schubfestigkeit $f_{lap,k} = \tau_{lap,k} \geq 20 \text{ N/mm}^2$				
Schubmodul $G_{xy} = 3\,300 \text{ N/mm}^2$				
Wärmeausdehnungskoeffizienten von Laminaten:				
$\alpha_1 = 30 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$	CSM-Laminat und FW-Wickellaminat in axialer Richtung mit 90° undirektionalen Lagen und Wirrfaserlagen CSM			
$\alpha_2 = 25 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$	Mischlaminat und FW-Wickellaminat (0°/90°) verstärkt in axialer Richtung mit unidirektionalen Lagen			
$\alpha_3 = 15 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$	FW-Wickellaminat in Umfangsrichtung			

Dabei ist

- $\xi$  das Verhältnis zwischen den Textilglasmassen entweder in Kett- oder Schuss-Richtung und der Gesamtglasmasse der Laminatschicht;
- $\theta$  der Winkel zwischen Wickelrichtung und Zylinderachse;
- $U_i$  die Einheitszugfestigkeit (UTUS), d. h. die Festigkeit eines Verstärkungslaminats  $i$ , ausgedrückt als Kraft je Breitereinheit und Masseneinheit;
- $X_i$  der Einheitszugmodul, 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:

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

Dabei ist

- $t_i$  die Dicke einer Laminatschicht der Verstärkungsart  $i$  (mm), mit einer Masse von  $1 \text{ kg/m}^2$ ;
- $m_g$  der prozentuale Massenanteil des Glases an der Masse der Schicht,  $i \text{ kg/m}^2$ ;
- $\rho_r$  die Dichte des gehärteten Harzes ( $\text{kg/m}^3$ );
- $\rho_g$  die Dichte des Glases ( $\text{kg/m}^3$ ).

## 7.5 Laminatkennwerte

Die bei den Auslegungsberechnungen zu Grunde gelegten mechanischen Kennwerte sind entsprechend den Anforderungen nach 7.8 zu überprüfen. Anhand der in Anhang B beschriebenen Verfahren lassen sich die Kennwerte des Laminats aus den Kennwerten der Einzelschichten ableiten. Für die weiterentwickelte Auslegung müssen nachgewiesene Werte nach 7.9.3 vorliegen.

## 7.6 Interlaminare Schubfestigkeit

### 7.6.1 Laminat

Die interlaminare Schubfestigkeit zwischen einzelnen Laminatschichten muss bei Prüfung mit dem in D.7 angegebenen Verfahren mindestens den in Tabelle 4 angegebenen Werten entsprechen. Bei Anwendung von Laminatkombinationen ist der niedrigste Wert zu verwenden.

**Tabelle 4 — Interlaminare Mindestschubfestigkeit**

Verstärkungsart	Interlaminare Schubfestigkeit N/mm <sup>2</sup>
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 Prüfung mit dem in D.8 angegebenen Verfahren muss die Schubfestigkeit der Verbindung zwischen Verstärkung und thermoplastischer Auskleidung mindestens den Werten in Tabelle 5 entsprechen.

Tabelle 5 — Interlaminare Mindestschubfestigkeit thermoplastischer Auskleidungen

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

## 7.7 Schälfestigkeit von Laminaten

Bei Prüfung mit dem in D.9 angegebenen Verfahren muss die Schälfestigkeit von Laminatschichten eine Breite von mindestens  $n_{Rk} \perp = 10 \text{ N/mm}$  aufweisen.

## 7.8 Abreißfestigkeit von Laminaten und thermoplastischer Auskleidung

Die Festigkeit gegen Abreißen (gemeinhin als Haftfestigkeit bezeichnet) einer thermoplastischen Auskleidung oder eines Laminats vom Hauptlaminat (z. B. des Überlaminats von den Hauptlaminaten bei einer Verbindung zwischen Zylinder und Boden) muss bei Prüfung mit dem in D.20 angegebenen Verfahren mindestens den in Tabelle 6 angegebenen Werten entsprechen. Alle Linerwerkstoffe außer PVC-U sind auf der Rückseite mit einem Gewebe zu kaschieren.

Tabelle 6 — Mindest-Abreißfestigkeit von Laminaten oder thermoplastischer Auskleidung

Werkstoffkombination	Abreißfestigkeit N/mm <sup>2</sup>
GFK an GFK	3,5
GFK an PVC-U und PVC-C	3,5
GFK an PP-H: PP-B oder PP-R	2,5
GFK an PVDF	3,5
GFK an ECTFE, FEP oder PFA	3,5

## 7.9 Ermittlung der physikalischen Werkstoffeigenschaften und der zulässigen Auslegungsfaktoren

### 7.9.1 Allgemeines

In dieser Norm wird die Auslegung von GFK-Laminatstrukturen, die statischen Beanspruchungen (d. h. Überdruck, Unterdruck und mechanischen Belastungen) ausgesetzt sind, unter dem Gesichtspunkt von Schnittlasten gemeinsam mit Stabilitätskriterien betrachtet.

Der Hersteller kann die in Tabelle 3 festgelegten Mindestkennwerte verwenden, die anhand von Prüfungen nach 7.9.2 nachzuweisen sind; dieses Verfahren wird als „standardmäßige Auslegung“ bezeichnet; oder mit

einem als „weiterentwickelte Auslegung“ bezeichneten Verfahren arbeiten, bei dem ein erweitertes mechanisches Prüfprogramm durchgeführt wird, mit dem weitergehende mechanische Eigenschaften der betreffenden Laminatstruktur ermittelt werden können (siehe 7.9.3).

### 7.9.2 Standardmäßige Auslegung – „basic design“

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

- a) Textilglasgehalt (Glühverlust), entsprechend dem in D.2 angegebenen Prüfverfahren;
- b) Einheitszugmodul (ausgedrückt als Last, die zu einer Dehnung von 0,25 % führt), entsprechend dem in D.6 angegebenen Prüfverfahren;
- c) Einheitszugfestigkeit bei Bruch entsprechend dem in D.5 angegebenen Prüfverfahren;
- d) interlaminare Schubfestigkeit (ausgedrückt in der über eine festgelegte Länge wirkenden maximalen Schublast), entsprechend dem in D.7 angegebenen Prüfverfahren;
- e) Barcol-Härte, entsprechend dem in D.11 angegebenen Prüfverfahren;
- f) Kurzzeit-Kriechverhalten, entsprechend dem in D.10 angegebenen Prüfverfahren;
- g) Biegefestigkeit des Laminats, entsprechend dem in D.19 angegebenen Prüfverfahren;

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), entsprechend dem in D.8 angegebenen Prüfverfahren;
- i) Schälfestigkeit (zur Ermittlung der Haftfestigkeit zwischen Auskleidung und Laminatschicht bei Schälbeanspruchung), entsprechend dem in D.9 angegebenen Prüfverfahren;
- j) Zugfestigkeit des Auskleidungswerkstoffs, entsprechend dem in D.3 angegebenen Prüfverfahren;
- k) Zugfestigkeit der Schweißnähte im Auskleidungswerkstoff, entsprechend dem in D.3 angegebenen Prüfverfahren.

Die Kennwerte von Filamentwicklungen sind EN 13923 zu entnehmen.

Die jeweils zu verwendenden Werte sind zu berechnen anhand der Ergebnisse der mechanischen Prüfungen durch Bildung entweder

- l) des arithmetischen Mittels aus den 5 Prüfergebnissen; oder
- m) des 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 mindestens den in Tabelle 3 für die jeweilige Eigenschaft angegebenen Werte entsprechen, damit die Werte in Tabelle 3 angewendet werden können.

### 7.9.3 Weiterentwickelte Auslegung – „Advanced design“

Höhere Werte für die Werkstoffeigenschaften, die auf den in Anhang D beschriebenen Prüfungen beruhen, können angewendet werden, sofern bei allen mechanischen Prüfverfahren jeweils mindestens  $3 \times 10$

Proben desselben Typs der Laminatkonstruktion mit unterschiedlichen Wanddicken geprüft werden. Diese Prüfungen sind von einem akkreditierten Prüflaboratorium durchzuführen.

Die zu verwendenden Auslegungswerte sind wie folgt zu berechnen:

Die Standardabweichung  $s$  ist ein statistisches Maß für die Streuung der Ergebnisse. Bei einem Prüfprogramm mit  $N$  Prüfungen (wobei  $N \geq 10$  ist), die jeweils ein Ergebnis mit dem Wert  $J$  haben, lässt sich die Standardabweichung  $s$  vom Mittel der Prüfergebnisse nach folgender Gleichung berechnen:

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

Dabei ist

- $s$  die Standardabweichung;
- $N$  die Anzahl der Prüfungen;
- $J$  das tatsächliche Prüfergebnis;
- $\bar{J}$  log. Mittelwert der Prüfergebnisse.

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

Dabei ist

$N$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	30
$k$ (75 %)	2,46	2,34	2,25	2,19	2,14	2,10	2,07	2,05	2,03	2,01	1,99	1,65

Liegen bereits nachgewiesene Prüfdaten vor ist der Kennwert zu überprüfen, indem weitere fünf Proben geprüft werden und der Mittelwert dieser Prüfergebnisse oder, unter Streichung des höchsten und des niedrigsten Wertes, der Ergebnisse von drei Prüfungen gebildet wird. Der niedrigste auf diese Weise berechnete Wert muss größer als der Kennwert des weiterentwickelten Auslegungsverfahrens  $\bar{J} - k \cdot s$  sein.

Liegen die Prüfergebnisse unterhalb der Werte früherer Prüfungen, ist eine Neubewertung der Behälterauslegung erforderlich.

#### 7.9.4 Auslegungsfaktoren

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

#### 7.9.5 Gesamtauslegungsfaktoren $K$ und $F$

##### 7.9.5.1 Gesamtauslegungsfaktor

Der Gesamtauslegungsfaktor  $K$  für Langzeit-Lasten ist mittels Gleichung (3) zu bestimmen:

$$K = \gamma_M \cdot \gamma_{F,i} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \quad (3)$$

Die Höchst- und Mindestwerte der Einflussfaktoren sind in Tabelle 8 angegeben.

Zu  $\gamma_M$  siehe 7.9.5.7 und zu  $\gamma_{F,i}$  siehe 9.3.

Der Auslegungsfaktor gegen Beulversagen  $F$  für Langzeit-Lasten ist mittels Gleichung (4) zu bestimmen:

$$F = \gamma_M \cdot \gamma_{F,i} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \sqrt{A_5} \quad (4)$$

Der Einflussfaktor  $A_5$  richtet sich nach Art der Belastung, sodass sich unterschiedliche Werte ergeben, je nachdem, ob eine Zug- oder Biegespannung als Kurz- oder Langzeitbelastung anliegt, siehe 7.9.5.6. Der Faktor  $A_5$  ist gegenüber dem Globalsicherheitsfaktor nach 8.3 zu überprüfen.

#### 7.9.5.2 Bestimmung des Einflussfaktors $A_1$

$A_1$  ist der Einflussfaktor, mit dem der Nachweis der Werkstoffeigenschaften berücksichtigt wird und der wie folgt und entsprechend der Zusammenfassung in Tabelle 8 zu bestimmen ist.

$A_1 = 2,0$  wenn die maximal zulässige Last anhand der in Tabelle 3 angegebenen Kennwerte ermittelt und anhand vorliegender Prüfergebnisse, die nicht älter als 18 Monate sein dürfen, bestätigt wird;

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

$A_1 = 1,3$  wenn die maximal zulässige Last anhand der in Tabelle 3 angegebenen Kennwerte ermittelt wird und ein Nachweis durch Prüfung von Laminatmustern nach 7.9.2 erfolgt;

$A_1 = 1,2$  wenn die maximal zulässige Last anhand der in Tabelle 3 angegebenen Kennwerte ermittelt wird und ein Nachweis durch Prüfung von Proben aus dem betreffenden Behälter oder Tank nach 7.9.2 erfolgt;

$A_1 = 1,0$  wenn die maximal zulässige Last durch Prüfung von Proben aus dem betreffenden Behälter oder Tank nach 7.9.3 ermittelt wird.

#### 7.9.5.3 Bestimmung des Einflussfaktors $A_2$

$A_2$  ist der Einflussfaktor, durch den der Einfluss der chemischen Umgebungsbedingungen Berücksichtigung findet, und wird nach EN 13121-2:2003 bestimmt.

#### 7.9.5.4 Bestimmung des Einflussfaktors $A_3$

$A_3$  ist der Einflussfaktor, durch den der Einfluss der Auslegungstemperatur und der Wärmeformbeständigkeitstemperatur des Harzformstoffs berücksichtigt wird, und wird mit Gleichung (5) bestimmt:

$$A_3 = 1,0 + 0,4 \frac{TS - 20}{HDT - 30} \quad (5)$$

und für einen isolierten Tank mittels Gleichung (6)

$$A_3 = 1,0 + 0,4 \frac{TS}{HDT - 30} \quad (6)$$

$A_3$  muss stets  $> 1,0$  und  $\leq 1,4$  sein. Wenn sich aus Formel  $A_3 > 1,4$  ergibt muss ein Harz mit höherem HDT verwendet werden. Wenn die Gleichung einen Wert kleiner 1,0 liefert, so ist  $A_3 = 1,0$  einzusetzen.

Der Wert für  $A_3$  wird bei Laminaten ohne thermische Nachbehandlung um 0,05 erhöht.

### 7.9.5.5 Bestimmung des Einflussfaktors $A_4$

$A_4$  ist der Einflussfaktor, durch den der Einfluss der voraussichtlichen Anzahl der Betriebszyklen im Sinne einer Wechselbeanspruchung durch Druck oder Temperatur bzw. Temperatur und Druck berücksichtigt wird. Für die nach dieser Norm zulässigen Auslegungsspannungen muss dieser Faktor 1,0 betragen.

### 7.9.5.6 Bestimmung des Einflussfaktors $A_5$

$A_5$  ist der Einflussfaktor, durch den der Einfluss des Langzeitverhaltens des Laminats berücksichtigt wird, und ist entweder nach Tabelle 7 oder durch Prüfung nach D.15 zu bestimmen.

Wenn keine Prüfdaten vorliegen, ist  $A_5$  Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7 — Wert des Einflussfaktors  $A_5$

	$A_5$	$A_5$ unter Zug- und Drucklast		$A_5$ unter Biegelast	
	Kurzzeitbelastung	Lebensdauer von Tank oder Behälter		Lebensdauer von Tank oder Behälter	
Verstärkungsharz Polyester und Vinylester	bis zu 30 min	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.

Ist der Wert für  $A_5$  durch Prüfung des Laminats zu ermitteln, muss die durchzuführende Prüfung D.15 entsprechen.

Eine vorläufige Bewertung des Einflussfaktors  $A_5$  kann anhand des Kurzzeit-Kriechversuchs (siehe D.10) erfolgen, der für die Auslegung verwendete endgültige Wert ist jedoch über den Langzeit-Kriechversuch (siehe D.15) zu ermitteln.

Der Einflussfaktor  $A_5$  darf, ausgenommen bei kurzzeitiger Belastung, nicht kleiner als 1,20 sein (siehe Tabelle 7).

Zur Berechnung des Auslegungsfaktors gegen Beulversagen  $F$  (siehe 7.9.5.1) ist für  $A_5$  nur der Wert für die Biegebeanspruchung zu verwenden.

Zur Berechnung des Gesamtauslegungsfaktors  $K$  (siehe 7.9.5.1) ist der Wert für  $A_5$  von der jeweils aufgebracht Last abhängig. Ist die Belastung eine Kombination aus Zug- und Biegebeanspruchung, muss der Wert für  $A_5$  für die Zugbeanspruchung verwendet werden.

### 7.9.5.7 Teilfaktor für Werkstoffeigenschaften

Der Materialteilfaktor beträgt für alle Laminat  $\gamma_M = 1,40$ .

Tabelle 8 — Zusammenfassung der Auslegungsverfahren und Einflussfaktoren

	Zulässiges Auslegungsverfahren		
	Weiterentwickelte Auslegung „Advanced design“	Standardmäßige Auslegung „basic design“	
		entweder	oder
Ermittlung der mechanischen Werkstoffkennwerte (Prüfung)	Benutzerdefinierte Werkstoffkennwerte nach 7.9.3 Für jeden hergestellten Tank sind die Werkstoffkennwerte nach 17.5.3 nachzuweisen.	Benutzerdefinierte Werkstoffkennwerte nach 7.9.2 Für jeden hergestellten Tank sind die Werkstoffkennwerte nach 17.5.3 nachzuweisen.	Benutzerdefinierte Werkstoffkennwerte nach 7.9.2 Für jeden hergestellten Tank sind die Werkstoffkennwerte nach 17.5.3 nachzuweisen.
Vorliegende Materialprüfergebnisse	Vorliegende Ergebnisse dürfen nur mit Bestätigung einer zugelassen Prüfstelle verwendet werden.	Vorliegende Ergebnisse zulässig, falls in den 12 Monaten nach der letzten Prüfung ähnlich ausgelegte Laminats hergestellt wurden.	Vorliegende Ergebnisse zulässig, falls in den 18 Monaten nach der letzten Prüfung ähnlich ausgelegte Laminats hergestellt wurden.
Einflussfaktor entsprechend dem Nachweis durch Prüfung der Werkstoffkennwerte	$A_1 = 1,0$ Für mechanische Kennwerte gilt $A_1 = 1,0$ bei Verwendung vorliegender Prüfergebnisse und mit Nachweisprüfungen nach 7.9.3	$A_1 = 1,2$ (Behälterausschnitte) $A_1 = 1,3$ (Laminatproben) $A_1 = 1,5$ (wenn keine zusätzlichen Prüfungen erfolgen und vorliegende Prüfergebnisse zur Stützung der Auslegungskennwerte verwendet werden)	$A_1 = 2,0$
Einflussfaktor entsprechend der chemischen Widerstandsfähigkeit des Laminats	$A_2$ (nach EN 13121-2:2003)	$A_2$ (nach EN 13121-2:2003)	$A_2$ (nach EN 13121-2:2003)
Einflussfaktor entsprechend der Auslegungstemperatur des Behälters und der Wärmeformbeständigkeitstemperatur des Harzes	$A_3$ (7.9.5.4)	$A_3$ (7.9.5.4)	$A_3$ (7.9.5.4)
Einflussfaktor entsprechend den Wechselbeanspruchungen	$A_4$ (7.9.5.5) = 1	$A_4$ (7.9.5.5) = 1	$A_4$ (7.9.5.5) = 1
Einflussfaktor entsprechend dem Langzeitverhalten	$A_5$ (7.9.5.6)	$A_5$ (7.9.5.6)	$A_5 = 2,4$
Mindestauslegungsfaktor $K$ mit $\gamma_F = 1,5$	$K$ (Mindestwert) = 4 $K$ (Mindestwert) = 5, wenn $A_5$ nicht durch Prüfprogramm D.15 nach Anhang D nachgewiesen wird	$K$ (Mindestwert) = 6	$K$ (Mindestwert) = 8
Mindestauslegungsfaktor gegen Beulversagen $F$ mit $\gamma_F = 1,5$	$F \geq 2,7$	$F \geq 3,0$	$F \geq 4,0$

## 8 Bestimmung von Auslegungsdehnung und -belastungen

### 8.1 Allgemeines

Nach dieser Norm sind drei Verfahrensweisen zur Bestimmung der in Abschnitt 7 aufgeführten, grundlegenden Lamineigenschaften zulässig, die in Abhängigkeit von den durchgeführten Programmen für die Werkstoffprüfung anzuwenden sind.

Nach Bestimmung dieser Eigenschaften sind die grundlegenden Auslegungsdehngrenzen und Auslegungslasten wie folgt zu bestimmen.

### 8.2 Auslegungsdehngrenzen

#### 8.2.1 Allgemeines

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

#### 8.2.2 Grenzdehnung des Harzes $\epsilon_{ar}$

Die Grenzdehnung  $\epsilon_{ar}$  für jeden verwendeten Harztyp ist zu bestimmen mit:

$$\epsilon_{ar} \leq 0,1 \cdot \epsilon_R \quad (7)$$

Dabei ist

$\epsilon_R$  die Bruchdehnung des unverstärkten Harzformstoffs.

#### 8.2.3 Grenzdehnung des Laminats oder der Laminatschicht $\epsilon_{lim}$

Die Auslegungsdehnung der Laminatschichten  $\epsilon_d = \epsilon_{lim}$  muss dem kleineren der folgenden Werte entsprechen:

- a) Grenzdehnungen für eine Anzahl von Laminaten.

**Tabelle 9 — Grenzdehnung  $\epsilon_d = \epsilon_{lim}$  für verschiedene Lamine**

Laminat vom Typ Polyesterharz	CSM	Mischlaminat WR	Im Wickelverfahren hergestellte Lamine		
			0°/90° Laminat		± 65°
			Längsrichtung	Umfangsrichtung	
Polyesterharz	0,30 %	0,25 %	0,20 %	0,27 %	0,27 %
Bisphenol-Vinylharz	0,35 %	0,30 %	0,23 %	0,30 %	0,30 %
Novolak-Vinylharz	0,30 %	0,25 %	0,20 %	0,27 %	0,27 %
Furanharz	0,20 %	0,15 %	0,15 %	0,20 %	0,15 %

Die Grenzdehnungen nach Tabelle 9 gelten nur, wenn  $0,1 \cdot \epsilon_R$  bei Harzen höher ist als die Werte in der Tabelle, andernfalls ist  $0,1 \cdot \epsilon_R$  zu verwenden.

Die Voraussetzung für diese Dehnungen ist: Die erste Schicht, die der Flüssigkeit oder dem Medium ausgesetzt ist, muss eine Faserschnittlage (CSM) mit  $\geq 300 \text{ g/m}^2$  sein.

Bei Tanks oder Behältern mit einer Chemieschutzschicht (CRL) muss die Grenzdehnung der Auslegungsdehnung des verwendeten Harzes in der CRL oder des tragenden Laminates entsprechen, wobei der geringere Wert gilt.

- b) Bei thermoplastischen PVDF-, PP-, ECTFE- und PFA-Auskleidungen muss die Grenzdehnung der Auslegungsdehnung der Laminatschicht entsprechen. Für die Grenzdehnung gilt für thermoplastische Auskleidungen aus PVC-U und PVC-C  $\varepsilon_{\text{lim}} = 0,20 \%$ .

Bei selten und jeweils nur kurzzeitig 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 Auslegungsdehnung von 0,4 % angesetzt werden, sofern die Bruchdehnung des für die Ausrüstung verwendeten Harzformstoffs höher ist als 2,0 %. Dies gilt nicht für Tanks und Behälter mit einem Liner aus PVC.

Erfolgt die Auslegung eines Tanks oder Behälters nach dieser Verfahrensweise und tritt während des Betriebs ein derartiger Ausnahmezustand ein, ist jede Situation aufzuzeichnen, bei der dieser Zustand auftritt, und es sind jene Tank- oder Behälterbereiche mit der höheren Auslegungsdehnung zu untersuchen und die Anforderungen an den Zeitpunkt für die Überprüfung des Tanks bzw. Behälters festzulegen.

#### 8.2.4 Grenzdehnung $\varepsilon_{\text{test}}$ unter Prüfbedingungen

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

$$\varepsilon_{\text{test}} \leq 1,3 \cdot \varepsilon_{\text{lim}} \quad (8)$$

### 8.3 Grenzwerte der Laminatbelastungen

Der Grenzwert der Einheitsbemessungslast des Laminats ist anhand des Grenzwertes der Schnittlast der Laminatschichten nach den Gleichungen (9) und (10) zu ermitteln.

$$U_{i,d,R} = U_{\text{lam},k} / (\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4) \text{ für } (\gamma_F \cdot A_5) \text{-fache Lasten (Grenzzustand)} \quad (9)$$

$$U_{i,\varepsilon} = U_{i,k} = \varepsilon_{\text{lim}} \cdot X_i \text{ ohne Beiwert versehene Last (charakteristische Kombination, Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit)} \quad (10)$$

$A_5$  für die unterschiedlichen Langzeit-Belastungen ist wie folgt gegenüber dem Globalsicherheitskonzept nachzuweisen:

$$A_{5,k} = K_{\text{min}} / (\gamma_M \cdot \gamma_F \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4) \text{ und} \quad (11)$$

$$A_{5,F} = [F_{\text{min}} / (\gamma_M \cdot \gamma_F \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)]^2 \text{ wobei gilt: } \gamma_M \cdot \gamma_F = 1,4 \cdot 1,5 = 2,1$$

$K_{\text{min}}$  und  $F_{\text{min}}$  sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Die vorstehenden Werte für die Laminatschichten sind für die Berechnung der entsprechenden Werte für die Einheitsbemessungslast des Laminats und der Laminatschichten nach 8.3 und 8.4 für die Gesamt-Entwurfsauslegung nach Abschnitt 10 zu verwenden.

Dabei sind  $U_{\text{lam}}$  und  $X_{\text{lam}}$  nach 8.4.2 zu errechnen oder Versuchsdaten müssen in Form von Prüfergebnissen für die weiterentwickelte Auslegung vorliegen.

## 8.4 Bestimmung der mechanischen Kennwerte von Laminaten

### 8.4.1 Allgemeines

Die Laminatkennwerte stellen die wesentliche Grundlage zur Berechnung von Tanks und Behältern dar. Aus diesem Grund sollten die in der Berechnung berücksichtigten Laminatkennwerte überprüfbar belegt und dokumentiert werden.

Für Behälter mit einem inneren Überdruck von  $PS > 0,5$  bar sind die Anmerkungen im nachfolgenden Absatz zu berücksichtigen.

Laminata sind im Sinne der Richtlinie 2014/68/EU für Druckgeräte als Werkstoffe zu betrachten. Für Druckgeräte der Kategorie III und IV sind hierbei Einzelgutachten zu den Werkstoffen erforderlich. Das Einzelgutachten sollte von der zuständigen benannten Stelle erstellt werden (siehe Anhang ZA).

### 8.4.2 Berechnung von Laminatkennwerten ohne experimentelle Versuchsdaten

Für jeden Bereich des Tanks oder Behälters ist der geplante Entwurf für den Laminataufbau unter Berücksichtigung der nach 8.2, 8.3 und Anhang B berechneten Einheitsbemessungslast für jede Laminatschicht zu ermitteln. Diese Auslegungslasten sind mit den für die betroffenen Bereiche der jeweiligen Konstruktion geforderten Schnittlasten zu vergleichen. Der Laminataufbau muss möglichst symmetrisch aufgebaut sein.

$$U_{\text{lam},k} = (U_1 \cdot m_1 \cdot n_1 + U_2 \cdot m_2 \cdot n_2 + \dots + U_i \cdot m_i \cdot n_i) \quad (12)$$

Wert  $X_{\text{lam}}$  für den Entwurf des Laminataufbaus ist mit Gleichung (13) zu ermitteln:

$$X_{\text{lam},k} = X_1 \cdot m_1 \cdot n_1 + X_2 \cdot m_2 \cdot n_2 + \dots + X_i \cdot m_i \cdot n_i \quad (13)$$

Dabei ist

- $U_{\text{lam},k}$  der charakteristische Grenzwert der Schnittlast bei Zuglast, in N/mm;
- $U_i$  die Tragfähigkeit bei Schnittlast einer Laminatschicht  $i$  bei Zugdehnung, in N/mm je  $\text{kg/m}^2$  Glas, nach 8.3;
- $m_i$  die Masse je Flächeneinheit der Verstärkung in einer Schicht vom Typ  $i$ , in  $\text{kg/m}^2$  Glas;
- $n_i$  die Anzahl der Schichten vom Typ  $i$  im betrachteten Laminataufbau (bei fadengewickelten Strukturen muss eine Schicht aus zwei im Winkel von  $\pm \theta^\circ$  gewickelten Lagen bestehen);
- $n$  die größte aufgebrachte Schnittlast, die vom Laminat im betrachteten Bereich aufgenommen werden muss (N/mm);
- $X_{\text{lam},k}$  der Einheitsmodul des Laminats bei Zugdehnung (N/mm);
- $X_i$  der Einheitsmodul einer Schicht vom Typ  $i$  bei Zugdehnung (N/mm je  $\text{kg/m}^2$  Glas);

Zur Bewertung der Auslegung eines fadengewickelten Tanks oder Behälters ist eine Beschreibung des Analyseverfahrens EN 13923 zu entnehmen.

### 8.4.3 Laminatkennwerte aus experimentellen Versuchsdaten

Der Laminataufbau muss möglichst symmetrisch sein.

Für jedes Laminat müssen nachgewiesene Werte für  $U_{\text{lam},k}$  und  $X_{\text{lam},k}$  vorliegen.

## 8.5 Laminatdicke

Sind für Berechnungen Werte der Laminatdicke erforderlich, ist diese als die Summe der Einzelwerte sämtlicher Laminatschichtdicken oder anhand der Versuchsdaten anzunehmen.

Für Auslegungszwecke ist die Dicke jeder einzelnen Laminatschicht anhand des Glasanteils der betreffenden Schicht mit Gleichung (1) zu bestimmen.

Die Laminatdicke muss ohne Chemieschutzschichten mindestens 3 mm betragen bei Tanks, die nur hydrostatischem Druck aufgrund der enthaltenen Flüssigkeit ausgesetzt sind, und 5 mm bei Behältern unter Innendruck oder Unterdruck.

Tragendes Laminat muss möglichst symmetrisch zum Mittelpunkt der Wand angeordnet sein.

Abrupte Übergänge der Laminatdicke sind zu vermeiden. Der Ausgleich des Dickenunterschieds ist mit einer Schäftung kleiner als 1 : 6 auszuführen.

## 9 Auslegung

### 9.1 Einführung

Die zutreffenden Auslegungssituationen sind nach EN 1990 unter Berücksichtigung der Umstände zu wählen, unter denen der Tank oder Behälter seine Funktion erfüllen soll. Die gewählten Auslegungssituationen müssen ausreichend ungünstig und unterschiedlich sein, um alle vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen während Ausführung und Betrieb von Behälter oder Tank einzuschließen. Die ungünstigste Kombination von Bedingungen kann Folgendes einschließen:

- a) Innendruck oder Außendruck;
- b) hydrostatischer Druck des Behälterinhalts (Betriebs- und Prüfbedingungen);
- c) Gewicht bzw. Gewichtskraft des Behälters oder Tanks und seines Inhalts;
- d) Auslegungstemperatur;
- e) überlagerte Lasten und Windlasten;
- f) Biegemomente aufgrund außermittiger Lasten;
- g) punktuelle Lasten auf Auflagern, Ösen und anderen Anbauteilen;
- h) stoßartige Belastungen;
- i) Wärmeeinwirkungen, Belastungen durch Erwärmung oder Abkühlung und Temperaturgefälle;
- j) während des Schienen-, Straßen- oder Seetransports und bei der Aufstellung auftretende Belastungen;
- k) während Aufstellung und Betrieb durch das Personal verursachte Belastungen;
- l) Ermüdung;
- m) sämtliche Anforderungen an den Feuerwiderstand zugehöriger Behälter- oder Tankauflager, z. B. Zargen, Unterstützkonstruktionen;
- n) Erdbeben.

Es sind die folgenden zwei Bewertungen auszuführen:

- a) für  $(\gamma_F \times A_5)$ -fache Lasten (Grenzzustand der Tragfähigkeit) muss die Schnittlast am Laminat  $\leq U_{i,d}$  sein;
- b) bei unfaktorierten Lasten (charakteristische Kombination, Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit) muss die Schnittlast am Laminat  $\leq U_{i,e} = U_{i,k,e}$  sein.

Beispiele für Kurzzeitbelastungen sind Wind-, Schnee- und Erdbebenlasten, sowie durch Personal und Aufstellung verursachte Belastungen.

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 der EN 1991-1-3 zu entnehmen.

### 9.2.2 Windlasten

Die Windlasten sind der EN 1991-1-4 zu entnehmen.

Besondere Beachtung ist oben offenen Tanks mit großen Durchmessern zu schenken, da der Inhalt durch Wind in heftige Bewegungen versetzt werden könnte, wodurch es zum Überlaufen oder übermäßiger Belastung des Tanks kommen kann. Ist dies nicht quantifizierbar, wird empfohlen, den Tank mit einem Dach zu versehen, sofern keine zufriedenstellenden Erfahrungswerte mit vergleichbaren Bedingungen vorliegen. Die Ränder oben offener Tanks müssen entweder mit einem Flansch oder einer Versteifung verstärkt werden, um Ringverformung zu vermeiden.

Windlasten für Dächer und Auffangwannen sind nach EN 1991-4 zu bestimmen.

Folgende Kraftbeiwerte sind zu verwenden:

- $c_f$  – zylindrischer Behälter = 0,8, bei allen Situationen, einschließlich Stützen;
- $c_f$  – Leiter = 1,6, bei 20 % der Projektionsfläche;
- $c_f$  – Plattform = 1,2, bei 40 % der Projektionsfläche;
- $c_f$  – sonstiges Zubehör = 1,2.

Bei zylindrischen Behältern, die in Reihen oder Gruppen mit einem Abstand  $\leq D$  zwischen den Tanks angeordnet sind, ist der maximale Winddruck um den Faktor 1,15 zu erhöhen.

Für den Außendruck durch Windlasten gilt für  $p_{\text{wind}}$ :

- $p_{\text{wind}} = 0,6 \cdot$  dynamischer maximaler Winddruck bei geschlossenen Behältern;
- $p_{\text{wind}} = 1,6 \cdot$  dynamischer maximaler Winddruck bei offenen Behältern.

Durch die zeitliche Begrenzung bei der Errichtung von Tankanlagen dürfen hierfür reduzierte Windlasten nach EN 1991-1-4 und EN 1991-1-6 berücksichtigt werden.

## 9.2.3 Erdbebenlasten

### 9.2.3.1 Allgemeines

Die hier angegebene Berechnung von Erdbebenlasten ist ein vereinfachtes Verfahren. Es ermöglicht eine Auslegung, wenn die Kennwerte der Konstruktion nicht bekannt sind. Dies erfordert jedoch, dass die Tanks oder Behälter auf dem Boden aufgestellt sind und dass für den Vergrößerungsfaktor der Spektralbeschleunigung gilt  $\beta_0 = 2,5$  bei 5 % viskoser Dämpfung. EN 1998-4 kann hinzugezogen werden.

Der Spitzenwert der Schwapphöhe wird ausgedrückt als [EN 1998-4:2006, Gleichung (A.15)]:

$$d_{\max} = \frac{0,84 \cdot R \cdot S_e \cdot (T_{c1})}{g} = \frac{0,84 \cdot R \cdot S_d \cdot (T_{c1}) \cdot q}{g}$$

Dabei ist  $S_e(T_{c1})$  die elastische Antwort-Spektralbeschleunigung beim 1. Konvektionszustand des Mediums für einen für die Antwortwellen geeigneten Dämpfungswert.

### 9.2.3.2 Werkstoffkennwerte

Die zu erfassenden Werkstoffparameter werden nach Abschnitt 7 oder in maßgebenden Werkstoffprüfungen bestimmt. Die in Tabelle 10 angegebenen Werkstoffkennwerte können für die Berechnung der Schwingungsdauer  $T$  und zum Nachweis der Dehnung verwendet werden.

**Tabelle 10 — Werkstoffkennwerte**

Elastizitätsmodul	$E_e = 1,5 \cdot \sqrt{E_{\phi,b} \cdot E_x}$
Viskose Dämpfung	5 %
Verhaltenskoeffizient	$q = 1,5$

### 9.2.3.3 Bemessungswerte der Bodenbeschleunigung

Die Bemessungswerte der Bodenbeschleunigung  $a_g = a_{gR} \cdot \gamma_1$  sind der EN 1998-1 zu entnehmen.

### 9.2.3.4 Auslegungsbeschleunigung

Die Schwingungsdauer  $T$  der Behälter oder Tanks bestimmt den Abszissenwert des Antwortspektrums, was entscheidend für die Berechnung der Bemessungsbeschleunigung ist. Unter der Annahme  $T_A = T_B = 0$  gilt:

$$T \leq T_C \text{ (Plateaubereich): } S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (14)$$

$$T_C < T \leq T_D: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot a_g \quad (15)$$

$$T_D < T: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot a_g \quad (16)$$

Dabei ist

- $a_g$  die Bemessungs-Bodenbeschleunigung ( $a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR}$ );
- $T$  die Schwingungsdauer von Behälter oder Tank, in [s];
- $T_C$  die obere Grenze des Bereichs konstanter Spektralbeschleunigung;
- $T_D$  der Wert, der den Beginn des Bereichs konstanter Verschiebungen des Spektrums definiert;
- $\gamma_1$  der Bedeutungsbeiwert,  $1,2 \leq \gamma_1 \leq 2,0$  (siehe EN 1998-1 und EN 1998-4);
- $S$  der Bodenparameter (siehe EN 1998 (alle Teile));
- $S_d(T)$  das Bemessungsspektrum;
- $\beta$  der Beiwert für den unteren Grenzwert für das horizontale Bemessungsspektrum (siehe EN 1998 (alle Teile); der empfohlene Wert für  $\beta$  beträgt 0,2.);
- $q$  der Verhaltensfaktor (der empfohlene Wert für  $q$  beträgt 1,5).

Die Schwingungsdauer für einen mit einer Flüssigkeit befüllten und verankerten stehenden Behälter ohne Aufbauten kann wie folgt berechnet werden (Tragbalken mit gleichmäßiger Masseverteilung und annähernd konstanter Biegesteifigkeit):

$$T = \sqrt{\frac{\rho_{\text{liquid}} \cdot h_{\text{liquid}}}{E_e \cdot t_{1/2}}} \cdot D \cdot \left[ 0,628 \cdot \left( \frac{h_{\text{liquid}}}{D} \right)^2 + \frac{2 \cdot h_{\text{liquid}}}{D} + 1,49 \right] \quad (17)$$

### 9.2.3.5 Schnittlasten

Für alle Schnittlasten gelten die in den Abschnitten 9 bis 16 angegebenen Gleichungen sowie  $\gamma_F = 1,0$ .

Die Gesamtmasse der Flüssigkeit schwingt/bewegt sich gleichförmig mit der Schale. Ein Schwappen der Flüssigkeit ist hier vernachlässigbar.

Horizontallast aus Erdbeben:

$$H_{AE} \cong S_d(T) \cdot W_G \quad W_G \approx \text{Eigengewicht (Behälter)} + V \cdot \rho_{\text{liquid}} \quad (18)$$

Moment:

Für das Moment sollte der Massenschwerpunkt der Flüssigkeit berücksichtigt werden. Bei Flachbodentanks gilt  $h_s = h_{\text{liquid}}/2$  und bei Tanks mit Zarge gilt  $h_s = h_{\text{liquid}}/2 + h_{\text{skirt}}$

$$M_{AE} = H_{AE} \cdot h_s \quad (19)$$

### 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

Ein Auslegungsverfahren für die Lasten, die sich aus Rohren, Ventilen und anderen an den Tank oder Behälter angeschlossenen Teilen ergeben, ist Bijlaard [7] zu entnehmen. Rohrleitungen sind so auszulegen,

dass die auf den Tank oder Behälter aufgebrachten Belastungen auf ein Mindestmaß begrenzt werden. Die zusätzlich einwirkenden Momente aufgrund dieser Belastungen sind auf ein Mindestmaß zu begrenzen.

### 9.2.6 Bewegung durch Rührwerke

Der Hersteller muss die Belastungen durch das Rührwerk und die Belastungen auf zugehörige Schwallbleche bestimmen. Diese Belastungen sind als auf den Tank oder Behälter einwirkende Lasten zu betrachten. Die Lagerung von Rührwerken sollte möglichst unabhängig vom Tank oder Behälter sein.

### 9.2.7 Drücke durch unzureichende Be- und Entlüftung

Ist das Be- und Entlüftungssystem eines Tanks möglicherweise anfällig für Verstopfung oder Behinderungen, so muss der während des Entleerens des Tanks auftretende Saugunterdruck auf Basis der maximalen Entnahmegeschwindigkeit mit Hilfe einer thermodynamischen Analyse (ggf. über eine adiabatische Zustandsänderung) bestimmt werden. Be- und Entlüftungssysteme dürfen nicht absperrbar sein.

Der Käufer eines Behälters, der mit einem Unterdruck  $PS_{ep}$  und/oder einem Überdruck  $PS_{op}$  betrieben wird, ist verantwortlich für das Anbringen einer geeigneten Sicherheitseinrichtung, die das unzulässige Überschreiten oder Unterschreiten der spezifizierten Drücke wirksam verhindert.

### 9.2.8 Begehungslasten durch Personen

Oberseiten von Tanks oder Behältern, die begehrbar sein müssen, sind so auszulegen, dass sie diese zusätzliche Last aufnehmen können. Ist kein Wert für derartige Zugangslasten durch Personen festgelegt, sind die folgenden Lastwerte anzuwenden:

- $p_{\text{access}} = 1,5 \text{ kN/m}^2$  über die gesamte Fläche; und/oder
- $p_{\text{access}} = 1,5 \text{ kN}$  auf einer Fläche mit 300 mm Durchmesser.

Schnee- und Zugangslasten sind nicht als zusammenwirkend anzusehen.

### 9.2.9 Eigenspannungen in Behältern und Tanks durch Temperatureinfluss

Die Lastfälle „Sonneneinstrahlung“ und „Temperaturgefälle“ über die Wanddicke brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

Unterschiedliche Temperaturen in einem Behälter oder Tank, z.B. zwischen Zylinder und Boden, können in der Verbindung Zylinder/Boden oder im Übergang Zylinder/Boden/Standzarge eine Zusatzlast hervorrufen. Diese Zusatzlasten sind zu berücksichtigen.

Zur Ermittlung der Zusatzlasten sind nachfolgend aufgeführte Temperaturdifferenzen  $\Delta T$  zu berücksichtigen.

Auslegungstemperatur	bei Innenaufstellung	bei Außenaufstellung
$TS \leq 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;	$\Delta T = 0 \text{ K}$	$\Delta T = 0 \text{ K}$
$40 \text{ }^\circ\text{C} < TS \leq 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ;	$\Delta T = 10 \text{ K}$	$\Delta T = 20 \text{ K}$
$60 \text{ }^\circ\text{C} < TS \leq 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ;	$\Delta T = 15 \text{ K}$	$\Delta T = 30 \text{ K}$
$TS > 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ;	$\Delta T = 20 \text{ K}$	$\Delta T = 40 \text{ K}$

Der Faktor für die sich daraus ergebenden Schnittlasten ist  $(\gamma_F \cdot A_5) = 1,0$ .

### 9.3 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten

#### 9.3.1 Allgemeines

##### 9.3.1.1 Allgemeine Anmerkungen

Als Nachweisverfahren für die Tanks oder Behälter ist das Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten nach EN 1990 anzuwenden.

Bei Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten ist zu zeigen, dass in allen maßgebenden Bemessungssituationen bei Ansatz der Bemessungswerte für Einwirkungen oder deren Auswirkungen und für Tragwiderstände keiner der maßgebenden Grenzzustände überschritten wird.

In den gewählten Bemessungssituationen und den maßgebenden Grenzzuständen sollten die einzelnen Einwirkungen für die kritischen Lastfälle nach EN 1990 kombiniert werden, um zu den kritischen Lastfällen zu gelangen. Einwirkungen, die aus physikalischen oder funktionellen Gründen nicht gleichzeitig auftreten können, sollten nicht als Kombination von Einwirkungen betrachtet werden.

##### 9.3.1.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen

Es ist zwischen den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit zu unterscheiden.

###### a) Grenzzustände der Tragfähigkeit:

Die Grenzzustände hinsichtlich:

- 1) der Sicherheit von Personen; und/oder
- 2) der Sicherheit der Konstruktion,

sind als Grenzzustände der Tragfähigkeit zu klassifizieren.

Grenzzustände müssen sich auf die folgenden Bemessungssituationen beziehen:

- ständige Situationen, die den üblichen Nutzungsbedingungen des Tragwerks entsprechen;
- vorübergehende Situationen, die sich auf zeitlich begrenzte Zustände des Tragwerks beziehen, z. B. bei der Ausführung oder Instandsetzung;
- außergewöhnliche Situationen, die sich auf außergewöhnliche Bedingungen für das Tragwerk beziehen, z. B. auf Brand, Explosionen, Anprall oder die Auswirkungen eines örtlich begrenzten Versagens;
- Situationen bei Erdbeben, die die Bedingungen bei Erdbebeneinwirkungen auf die Konstruktion umfassen.

###### b) Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit:

Die Grenzzustände hinsichtlich:

- 1) der Funktion von Konstruktion oder Tragwerk bei normalen Betriebsbedingungen;
- 2) des Wohlbefindens von Personen;
- 3) des Erscheinungsbildes des Bauwerks;

sind als Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit zu klassifizieren.

Die in den jeweiligen Bemessungssituationen zu berücksichtigenden Kombinationen von Einwirkungen sollten für die nachzuweisenden Anforderungen an Gebrauchstauglichkeit und Leistungskriterien geeignet sein.

### 9.3.1.3 Kombination von Einwirkungen

Nach EN 1990 sind alle Einwirkungen wie folgt zu klassifizieren:

- ständige Einwirkungen ( $G$ ), z. B. Eigengewicht von Tank oder Behälter, fest angebrachter Ausrüstung, sowie indirekte Einwirkungen aufgrund von Schwinden und ungleichmäßigen Setzungen;
- veränderliche Einwirkungen ( $Q$ ), z. B. Belastungen durch Personen, Wind- oder Schneelasten;
- außergewöhnliche Einwirkungen ( $A$ ), z. B. Explosionen oder Fahrzeuganprall;
- Einwirkungen durch Erdbeben ( $A_E$ ).

Für jeden kritischen Lastfall sind die Bemessungswerte ( $E_d$ ) der Auswirkungen der Kombination der Einwirkungen zu bestimmen, die entsprechend den nachfolgenden Regeln als gleichzeitig auftretend angenommen werden. Jede Einwirkungskombination sollte eine dominierende Einwirkung (Leiteinwirkung), oder eine außergewöhnliche Einwirkung beinhalten.

#### a) Grenzzustand der Tragfähigkeit

Grundlegende Kombination für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen

$$E_d = \sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \cdot A_5^{\text{long term}} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \cdot A_5^{\text{load time}} \oplus \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \cdot A_5^{\text{load time}} \quad (20)$$

Kombinationen von Einwirkungen für außergewöhnliche Bemessungssituationen

$$E_{dA} = \sum \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \cdot A_5^{\text{long term}} \oplus A_d \cdot A_5^{\text{short term}} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \cdot A_5^{\text{load time}} \oplus \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \cdot A_5^{\text{load time}} \quad (21)$$

Kombinationen von Einwirkungen für Bemessungssituationen bei Erdbeben

$$E_{dAE} = \sum G_{k,j} \cdot A_5^{\text{long term}} \oplus A_{Ed} \cdot A_5^{\text{short term}} \oplus \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \cdot A_5^{\text{load time}} \quad (22)$$

Nachweise der Lagesicherheit und der Tragfähigkeit:

Bei der Betrachtung eines Grenzzustands der Lagesicherheit der Konstruktion ist nachzuweisen, dass:

$$E_{d,\text{dst}} \leq E_{d,\text{stb}} \quad (23)$$

Beim Nachweis für Grenzzustände der Tragfähigkeit eines Querschnitts, Bauteils oder einer Verbindung ist nachzuweisen, dass:

$$E_d \leq R_d \quad (24)$$

#### b) Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Charakteristische Kombination (verwendet zum Nachweis der Grenzdehnung):

$$E_{d,\text{rare}} = \sum G_{k,j} \oplus \sum Q_{k,1} \oplus \sum \psi_{0,1} \cdot Q_{k,i} \quad (25)$$

Häufige Kombination:

$$E_{d,\text{frequ}} = \sum G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (26)$$

Quasi-ständige Kombination:

$$E_{d,\text{rare}} = \sum G_{k,j} \oplus \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (27)$$

Nachweise:

Es ist nachzuweisen, dass:

$$E_d \leq C_d \quad (28)$$

Dabei ist

- ⊕ gleichbedeutend mit „zu kombinieren mit“;
- Σ gleichbedeutend mit „kombinierte Einwirkung von“;
- $G_{k,j}$  der charakteristische Wert für die ständige Einwirkung  $j$ ;
- $Q_{k,1}$  der charakteristische Wert für die Leiteinwirkung;
- $Q_{k,i}$  der charakteristische Wert für die Begleiteinwirkung  $i$ ;
- $A_d$  der Auslegungswert für die außergewöhnliche Einwirkung;
- $A_{Ed}$  der Auslegungswert für Einwirkung durch Erdbeben ( $A_{Ed} = \gamma_I \times A_{Ek}$ ; siehe EN 1998 (alle Teile));
- $\gamma_{G,j}$  der Teilfaktor für ständige Einwirkung  $j$ ;
- $\gamma_{Q,1}$  der Teilfaktor für die Leiteinwirkung;
- $\gamma_{Q,i}$  der Teilfaktor für die Begleiteinwirkung  $i$ ;
- $\psi_{0,i}$  der Faktor für den Kombinationswert für eine veränderliche Einwirkung  $Q_{k,i}$ ;
- $\psi_{1,i}$  der Faktor für den wiederkehrenden Wert für eine veränderliche Einwirkung  $Q_{k,i}$ ;
- $\psi_{2,i}$  der Faktor für den quasi-ständigen Wert für eine veränderliche Einwirkung  $Q_{k,i}$ ;
- $A_5^{\text{load time}}$  der Einfluss der Lasteinwirkungsdauer;
- $E_d$  der Auslegungswert für die Auswirkungen der Einwirkungen;
- $E_{d,\text{dst}}$  der Auslegungswert für die Auswirkung destabilisierender Einwirkungen;
- $E_{d,\text{stb}}$  der Auslegungswert für die Auswirkung stabilisierender Einwirkungen;
- $R_d$  der Auslegungswert für die zugehörige Widerstandsfähigkeit;
- $C_d$  der begrenzende Auslegungswert für das maßgebende Gebrauchstauglichkeitskriterium.

- Indizes:
- d Auslegungswert
  - k charakteristischer Wert
  - j Einheit ständiger Belastung,  $j \geq 1$
  - i Einheit veränderlicher Belastung,  $i \geq 1$

Tabelle 11 —  $\Psi$ -Faktoren auf der Grundlage von EN 1990

Einwirkung	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Drücke:			
— Langzeit-Drücke	1,0	1,0	1,0
— Kurzzeit-Drücke	0	0	0
Nutzlasten im Hochbau, Kategorie (siehe EN 1991-1-1):			
— Kategorie A: Wohngebäude	0,7	0,5	0,3
— Kategorie B: Bürogebäude	0,7	0,5	0,3
— Kategorie C: Versammlungsbereiche	0,7	0,7	0,6
— Kategorie D: Verkaufsflächen	0,7	0,7	0,6
— Kategorie E: Lagerflächen	1,0	0,9	0,8
Verkehrslasten:			
— Kategorie F: Fahrzeuggewicht $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
— Kategorie G: $30$ kN $\leq$ Fahrzeuggewicht $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
— Kategorie H: Dächer	0	0	0
Schneelasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-3) <sup>a</sup> :			
Finnland, Island, Norwegen, Schweden	0,7	0,5	0,2
Verbleibende CEN-Mitgliedstaaten,			
— für Aufstellungsorte in einer Höhe $H > 1\,000$ m ü. NN	0,7	0,5	0,2
— für Aufstellungsorte in einer Höhe $H \leq 1\,000$ m ü. NN	0,5	0,2	0
Windlasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatur (ohne Brand) im Hochbau (siehe EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
Setzung	1,0	1,0	1,0
<p><sup>a</sup> Bei nicht ausdrücklich genannten Ländern siehe die maßgebenden örtlichen Bedingungen.</p> <p>Die grau markierten <math>\Psi</math>-Faktoren sind zu informativen Zwecken angegeben. Gewöhnlich müssen sie bei der Analyse eines Standard-Tanks nicht verwendet werden.</p>			

Tabelle 12 — Auslegungswerte für Einwirkungen

Auslegungswert	Einwirkung	Symbol	Situation	
			P/T	A/AE
Versagen der Konstruktion aufgrund von Bruch oder übermäßiger Verformung	<u>Unabhängige ständige Einwirkungen:</u>			
	ungünstig	$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,00
	günstig	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00
	Bei Befüllung mit Flüssigkeit			
	ungünstig	$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,00
	günstig	$\gamma_{G,inf}$	0	0
	<u>Unabhängige veränderliche Einwirkungen:</u>			
	ungünstig	$\gamma_{Q,sup}$	1,50	1,00
	günstig	$\gamma_{Q,inf}$	0	0
	<u>Außergewöhnliche Einwirkungen:</u>	$\gamma_A$		1,00
<u>Einwirkungen durch Erdbeben:</u>	$\gamma_{AE}$		1,00	
Verlust der Lagesicherheit	<u>Ständige Einwirkungen:</u>			
	Eigengewicht der Konstruktion und nichttragender Bauteile, ständige Einwirkungen aufgrund des Fundamentbodens, Grundwassers und frei aufsteigenden Wassers			
	ungünstig	$\gamma_{G,sup}$	1,10	1,00
	günstig	$\gamma_{G,inf}$	0,90	0,95
	Bei geringfügigen Schwankungen der dauerhaften Einwirkungen, z. B. für den Nachweis der Auftriebssicherheit			
	ungünstig	$\gamma_{G,sup}$	1,05	1,00
	günstig	$\gamma_{G,inf}$	0,95	0,95
	Bei Befüllung mit Flüssigkeit			
	ungünstig	$\gamma_{G,sup}$	1,10	1,00
	günstig	$\gamma_{G,inf}$	0	0
	<u>Veränderliche Einwirkungen:</u>			
	ungünstig	$\gamma_{Q,sup}$	1,50	1,00
	günstig	$\gamma_{Q,inf}$	0	0
	<u>Unbeabsichtigte Einwirkungen:</u>	$\gamma_A$		1,00
<u>Einwirkungen durch Erdbeben:</u>	$\gamma_{AE}$		1,00	
P: Ständige Bemessungssituation T: Vorübergehende Bemessungssituation A: Außergewöhnliche Bemessungssituation AE: Bemessungssituation bei Erdbeben Die grau markierten Bemessungssituationen sind zu informativen Zwecken angegeben. Gewöhnlich dürfen sie bei der Analyse eines Standard-Tanks vernachlässigt werden.				

Die ungünstigste Kombination von  $n$  Einwirkungen ist wie folgt bestimmbar:

- Sämtliche  $n$  Einwirkungen sind Zeile für Zeile aufzuzeichnen (erforderlichenfalls mit  $\gamma_F$  und  $A_5^{\text{load time}}$ ) in einer  $n \cdot 1$ -Matrix  $E$ .
- Sämtliche möglichen  $m$  Kombinationen sind Spalte für Spalte aufzuzeichnen (als Kombinationswerte) in einer  $n \cdot m$ -Matrix  $\Psi$ . Jede Spalte dieser Matrix steht für eine mögliche Kombination von Lasten.
- Die Transponierte von  $E$  ist mit  $\Psi$  zu multiplizieren und der höchste eingetragene Wert in der resultierenden Matrix zu bestimmen. Die Spaltennummer des Höchstwertes ist die Spaltennummer der ungünstigsten Kombination in  $\Psi$ .

Beispiel:

$$E = \begin{pmatrix} \gamma_{F,g,1} \cdot G_{c,1} \cdot A_5^{\text{long term}} \\ \gamma_{F,q,1} \cdot Q_{c,1} \cdot A_5^{\text{long term}} \\ \gamma_{F,q,2} \cdot Q_{c,2} \cdot A_5^{\text{long term}} \\ \gamma_{F,q,3} \cdot Q_{c,3} \cdot A_5^{\text{long term}} \\ \gamma_{F,q,4} \cdot Q_{c,4} \cdot A_5^{\text{long term}} \end{pmatrix}, \quad \psi = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \psi_{0,1} & \psi_{0,1} & \psi_{0,1} \\ \psi_{0,2} & 1 & \psi_{0,2} & \psi_{0,2} \\ \psi_{0,3} & \psi_{0,3} & 1 & \psi_{0,3} \\ \psi_{0,4} & \psi_{0,4} & \psi_{0,4} & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow E_d = \max(E^T \cdot \psi)$$

ANMERKUNG Ein detailliertes Beispiel ist in CEN/TR 13121-5 angegeben.

Der Wert des Teillastfaktors  $\gamma_F$  muss dem in EN 1991-4 angegebenen Faktor entsprechen.

Beispiel:

$\gamma_{F,j} = \gamma_{G,j} = \gamma_{Q,j}$	Teilsicherheitsbeiwert für Last $j$
$\gamma_{F,w} = \gamma_{G,j} = 1,35$	eindeutig dauerhaft wirkende Lasten (z. B. Eigengewicht, Füllgewicht)
$\gamma_{F,p} = \gamma_{Q,j} = 1,50$	veränderliche Lasten (z. B. Druck, Wind, Schnee usw.)
$\gamma_{F,r} = \gamma_{Q,j} = 1,00$	Lasten aus Zwängungen (z. B. Temperatur)
$\gamma_{F,s} = \gamma_{Q,j} = 1,00$	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit
$\gamma_{F,e} = \gamma_{Q,j} = 1,00$	außergewöhnliche Belastungen (z. B. Erdbeben)
$\gamma_{F,\text{red}} = \gamma_{Q,j} = 0,90$	für Eigengewicht bei Verringerung der Betriebsanforderungen
$\gamma_{F,w} = \gamma_{Q,j} = 1,35$	für Montagelasten

Die häufigste Kombination in jedem Bereich von Tanks oder Behältern ist Abschnitt 10 zu entnehmen. Diese Kombinationen sind lediglich Beispiele und verwenden keine  $\Psi$ -Faktoren. Weitere Angaben zum Konzept des Teilsicherheitsbeiwertes sind EN 1990 zu entnehmen.

### 9.3.2 Bemessung unter Verwendung von $(A_5 \cdot \gamma)$ – fache Lasten

Die Bemessung unter Verwendung von  $(A_5 \cdot \gamma)$  – fache Lasten (Grenzzustand des Versagens) muss folgender Gleichung entsprechen:

$$A_5 \cdot E_i \cdot \gamma_{F,i} \leq \frac{R_k}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \quad (29)$$

Dabei ist

- $E_i$  die Auswirkung der Last;
- $R_k$  die Widerstandsfähigkeit des Werkstoffs (Laminates)

Alle einwirkenden Lasten sind mit  $\gamma_{F,i}$  und dem zugehörigen Einflussfaktor  $A_5$  zu multiplizieren. Diese  $(A_5 \cdot \gamma)$  – fachen Lasten bestimmen die jeweilige Zugspannung  $\sigma_{d,R}$  oder  $n_{d,R}$ .

Folgendes gilt:

$$\frac{\frac{\sum \sigma_{i,d,R}}{f_{i,k}}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \leq 1 \quad \text{oder} \quad \frac{\frac{\sum n_{i,d,R}}{U_{lam,i,k}}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \leq 1$$

Für den Nachweis der Grenzdehnung sind nur die Höchstlasten der charakteristischen Kombination im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu berechnen.

$$\frac{\frac{\sum \sigma_{i,\varepsilon}}{E_{i,m}}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \leq \varepsilon_{lim} \quad \text{oder} \quad \frac{\frac{\sum n_{i,\varepsilon}}{X_{lam,i,m}}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \leq \varepsilon_{lim} \quad (30)$$

Dabei ist

- $\sigma_{i,d,R}$  die Bemessungsspannung aus den Lastwerten der  $A_5 \cdot \gamma_{F,I}$  – fachen Lasten;
- $n_{i,d,R}$  die Bemessungsschnittlast aus den Lastwerten der  $A_5 \cdot \gamma_{F,I}$  – fachen Lasten;
- $\sigma_{i,\varepsilon}$  die Bemessungsspannung aus den einfachen Lasten;
- $n_{i,\varepsilon}$  die Bemessungsschnittlast aus den einfachen Lasten;
- $f_{i,k}$  die charakteristische Festigkeit des jeweiligen Laminats;
- $U_{lam,I,k}$  die charakteristische Grenzschnittlast des jeweiligen Laminats;
- $E_{i,m}$  der charakteristische Mittelwert des jeweiligen Elastizitätsmoduls. Zur Vereinfachung kann der charakteristische Wert berechnet und mit 1,1 multipliziert werden;
- $X_{lam,i}$  der charakteristische Zug- oder Biegemodul des jeweiligen Laminats.

### 9.4 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 17.3 erläutert.

## 9.5 Berechnungsgrößen

### 9.5.1 Auslegungstemperatur $TS$

Die Auslegungstemperatur  $TS$  muss der Definition in Abschnitt 3 entsprechen.

### 9.5.2 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:

$PS$		max. zulässiger Auslegungsdruck (+/–)kurz- oder langfristig;
$p_{hp} = \rho \cdot g \cdot h_{liquid}$		langzeitig (hydrostatischer Druck);
$p_{wind}$	siehe 9.2.2	kurzzeitig;
$p_{snow}$	siehe 9.2.2	kurz- oder langfristig (üblicherweise 2 Monate);
$p_{access}$	siehe 9.2.2	kurzzeitig.
$p_d$		muss der ungünstigste Wert der Kombination aus einzelnen Druckbelastungen sein.

Als Minimalwerte zur Berechnung sind als Kurzzeitlasten für das Entleeren ein Unterdruck von – 3 mbar und für das Befüllen ein Überdruck von + 5 mbar zu berücksichtigen. Als Langzeitig sind nur die Drücke zu berücksichtigen, die im Betrieb auch tatsächlich auftreten.

## 10 Entwurfsauslegung

### 10.1 Symbole und Einheiten

Symbol	Einheit	Größe
$\alpha$	1/°C	Wärmeausdehnungskoeffizient
$\lambda$	–	Schalenparameter
$D$	mm	Innendurchmesser des Tanks/Behälters
$D_{pc}$	mm	Lochkreisdurchmesser der Ankerschrauben
$D_m$	mm	mittlerer Durchmesser des Konus
$D_s$	mm	Nullachse des Versteifungsringes
$d_{co}$ oder $d_c$	mm	Durchmesser eines Stützenschnitts
$E$	N/mm <sup>2</sup>	Elastizitätsmodul
$E_b$	N/mm <sup>2</sup>	Biege-Elastizitätsmodul
$E_s$	N/mm <sup>2</sup>	E-Modul einer Versteifung (Ring)
$E_x$	N/mm <sup>2</sup>	Zug- E-Modul des Laminates in axiale Richtung
$E_{x,b}$	N/mm <sup>2</sup>	Biege- E-Modul des Laminates in axiale Richtung
$E_\phi$	N/mm <sup>2</sup>	Zug- E-Modul des Laminates in Umfangsrichtung
$E_{\phi,b}$	N/mm <sup>2</sup>	Biege- E-Modul des Laminates in Umfangsrichtung
$\epsilon$	–	Dehnung
$\epsilon_{lim}$	–	Grenzdehnung des Laminats oder der Laminatschicht (= Auslegungsdehnung $\epsilon_d$ )

Nur zum internen Gebrauch

Symbol	Einheit	Größe
$\varepsilon_\phi$	-	Dehnung in Umfangsrichtung
$\varepsilon_x$	-	Dehnung in axialer Richtung
$G_{xy}$	N/mm <sup>2</sup>	Schubmodul des Laminats
$h_{\text{liquid}}$	mm	Höhe der Flüssigkeitssäule
$I_s$	mm <sup>4</sup>	Trägheitsmoment der Versteifung
$I_{\text{over}}$	mm	Trägheitsmoment des überlappenden Laminats
$L_c$	mm	Länge der örtlichen Wanddickenerhöhung
$L_j$	mm	Länge von Überlaminat/Verbindungskante
$L_s$	mm	Abstand zwischen zwei Versteifungen oder Auflagern
$m$	Nm/m	Einheitsmoment
$M$	Nmm	Biegemoment
$M_d$	Nmm	Biegemoment „design“
$M_H$	Nmm	maximales Biegemoment am Sattelhorn des Auflagers beim liegenden Behälter
$M_S$	Nmm	Biegemoment im Versteifungsring
$n$	N/mm	Schnittlast
$n_c$	N/mm	Schnittlast, Ausschnitt
$n_{\text{cr}}$	N/mm	Schnittlast, die zu kritischer axialer Instabilität führt
$n_{\text{over}}$	N/mm	Schnittlast, überlappendes Laminat
$n_{x,w}$	N/mm	Gewichtskraft bedingte Schnittlast, Längsrichtung
$n_x$	N/mm	Schnittlast in axialer Richtung
$n_\phi$	N/mm	Schnittlast in Umfangsrichtung
$N_b$	-	Anzahl der Ankerschrauben
$N_S$	N	Normallast am Versteifungsring
$p_d$	N/mm <sup>2</sup>	Auslegungsdruck
$p_{\text{cr}}$	N/mm <sup>2</sup>	Druck, der Instabilität verursacht
$p_{\text{hp}}$	N/mm <sup>2</sup>	hydrostatischer Druck
$PS$	N/mm <sup>2</sup>	Maximal-Druck (= maximal zulässiger Druck nach Richtlinie 2014/68/EU)
$PS_{\text{op}}$	N/mm <sup>2</sup>	Maximal-Innendruck (Überdruck)
$PS_{\text{ep}}$	N/mm <sup>2</sup>	Maximal-Außendruck
$t$	mm	Dicke der Schale
$t_k$	mm	Dicke der Zylinderschale im Krempenbereich
$t_s$	mm	Dicke der Versteifung
$t_z$	mm	Dicke des Zylinders im unteren Bereich bei Standzargenbehältern
$t_{ez}$	mm	Dicke des Zylinders im unteren Bereich bei Flachbodenbehältern
$t_{\text{over}}$	mm	Dicke des Überlaminats
$W_D$	N	berechnete Gewichtskraft

Symbol	Einheit	Größe
<i>W</i>	N	Gewichtskraft
<i>X</i>	N/mm	Einheitsmodul
<i>Z</i>	mm <sup>3</sup>	Widerstandsmoment

Indizes	
$\Delta T$	aufgrund der Temperaturdifferenz
$\phi$	Umfangsrichtung
<i>b, B</i>	Biegung
<i>Bk</i>	unterer Krepfenbereich
<i>e</i>	für jede mögliche Einwirkung
$\varepsilon$	aufgrund Dehnung
<i>d</i>	Auslegung ( <i>D</i> in Druckregeln)
<i>cr</i>	kritisch
<i>cyl</i>	Zylinder
<i>ep</i>	aufgrund Außendruck
<i>F</i>	Biegung
<i>H</i>	Sattelhorn
<i>hp</i>	aufgrund hydrosatischem Druck
<i>k</i>	Krepfenbereich
<i>k</i>	charakteristische Werte
<i>lam</i>	Laminat
<i>L</i>	Last
<i>M</i>	aufgrund des Biegemoments
<i>N</i>	aufgrund der Normallast
<i>op</i>	aufgrund Innendruck
<i>p</i>	aufgrund von Druck
<i>over</i>	für überlappendes Laminat
<i>R</i>	Ring
<i>R</i>	Bruch, Auslegung für Tragfähigkeit
<i>S</i>	Versteifung
<i>Sk</i>	Zarge
<i>Sku</i>	oberer Teil der Zarge
<i>snow</i>	aufgrund von Schnee
<i>T</i>	aufgrund der Zuglast
<i>W oder w</i>	aufgrund der Masse
<i>wind</i>	aufgrund von Wind
<i>x</i>	axiale Richtung

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

### 10.2.1 Belastung in Umfangsrichtung

Die maximale Schnittlast in Umfangsrichtung  $n_\phi$  ist mit Gleichung (31) zu berechnen:

$$n_{\phi,d,R} = \frac{p_{d,R} \cdot D}{2} \quad \text{oder} \quad n_{\phi,d,\varepsilon} = \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot D}{2} \quad (31)$$

$$\text{Dabei ist } p_{d,R} = PS_{op} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p} + p_{hp} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,w} \quad (32)$$

$$\text{bzw. } p_{d,\varepsilon} = PS_{op} + p_{hp} \quad (33)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit in Umfangsrichtung des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

$$\text{Für die radiale Stabilität gilt } p_{d,cr} = PS_{ep} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,p} + p_{wind} \cdot \gamma_{F,p} \quad (34)$$

### 10.2.2 Kombinierte axiale Belastung

Die maximale axiale Schnittlast  $n_x$  am betreffenden Punkt ist aus den kombinierten axialen Schnittlasten zu ermitteln, die bedingt sind durch:

a) Druck:

$$\text{axiale Schnittlast} \quad n_{x,p,d,R} = \frac{p_{d,R} \cdot D}{4} \quad \text{oder} \quad n_{x,p,d,\varepsilon} = \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot D}{4} \quad (35)$$

$$\text{Dabei ist } p_{d,R} = PS_{op} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p} + \sum(p_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i})$$

$$\text{bzw. } p_{d,\varepsilon} = PS_{op} + \sum p_{e,i}$$

Für die axiale Stabilität wird die aus Unterdruck hervorgerufene Axialspannung vernachlässigt:

$$p_{d,cr} = 0$$

Dabei ist  $p_{e,i}$  jede andere Drucklast.

b) Biegemoment aufgrund von Wind- oder Schneelasten (nach örtlichen nationalen Normen ermittelt):

$$\text{axiale Schnittlast } n_{x,M,d,R} = \frac{4 \cdot M_{d,R}}{\pi \cdot D^2} \quad \text{oder} \quad n_{x,M,d,\varepsilon} = \frac{4 \cdot M_{d,\varepsilon}}{\pi \cdot D^2} \quad \text{oder} \quad n_{x,M,d,cr} = \frac{4 \cdot M_{d,cr}}{\pi \cdot D^2} \quad (36)$$

$$\text{Dabei ist } M_{d,R} = M_{wind} \cdot \gamma_{F,p} + \sum(M_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i})$$

$$\text{bzw. } M_{d,\varepsilon} = M_{wind} + \sum M_{e,i}$$

$$\text{Für die axiale Stabilität gilt } M_{d,cr} = M_{wind} \cdot \gamma_{F,p} + \sum(M_{e,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i})$$

Dabei ist  $M_{e,i}$  jedes andere Biegemoment.

c) Gewichtskraft von Behälter, Armaturen, Beschickungsgut, Anbauteilen und Personal:

$$\text{axiale Schnittlast } n_{x,W,d,R} = \frac{W_{d,R}}{\pi \cdot D} \quad \text{oder } n_{x,W,d,\varepsilon} = \frac{W_{d,\varepsilon}}{\pi \cdot D} \quad \text{oder } n_{x,W,d,cr} = \frac{W_{d,cr}}{\pi \cdot D} \quad (37)$$

Dabei ist  $W_{d,R} = W \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,W} + \sum(W_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i})$

bzw.  $W_{d,\varepsilon} = W + \sum W_{e,i}$

Für die axiale Stabilität gilt  $W_{d,cr} = W \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,W} + \sum(W_{e,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i})$

Dabei ist  $W_{e,i}$  jede andere Gewichtsbelastung.

Die kombinierte axiale Schnittlast  $n_x$  ist die Summe der sich aus den vorstehenden Gleichungen ergebenden Werte unter Berücksichtigung der Belastungsrichtung.

Es gilt für Schalen unter:

$$\text{Zug: } n_{x,d,R} = n_{x,p,d,R} + n_{x,M,d,R} + n_{x,W,d,R} \quad (38)$$

$$\text{Dehnung: } n_{x,d,\varepsilon} = n_{x,p,d,\varepsilon} + n_{x,M,d,\varepsilon} + n_{x,W,d,\varepsilon} \quad (39)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit in Längsrichtung des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

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

$$n_{x,d,cr} = n_{x,M,d,cr} + n_{x,W,d,cr} \quad (40)$$

Der Höchstwert von  $n_{x,d,cr}$  muss den Stabilitätskriterien nach 10.3.2 entsprechen.

## 10.3 Zylinderschalen unter Druckbelastung — Kritische Beulkriterien

### 10.3.1 Allgemeines

Die Zylinderschale ist auf ausreichende Wanddicke zu überprüfen, um die Bruchfestigkeit bei Druckbelastung in entweder axialer oder Umfangsrichtung und gegebenenfalls bei kombinierter 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 Stabilität aufweist. Die Schnittlast der Schale unter Drucklast ist:

$$n_{cr} = k \cdot \sqrt{E_{\phi b} \cdot E_x} \cdot \frac{t^2}{D} \quad (41)$$

Dabei ist

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

$E_x$  der Axialmodul;

$t$  die tatsächliche Wanddicke der Schale;

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

Für Schalen ohne Ausschnitte, bei denen die Axialschnittlast  $n_x$  ausschließlich aus Biegung resultiert, muss der Faktor  $k$  um Faktor 1,2 erhöht werden.

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{n_{x,d,cr}}{n_{cr}/(\gamma_M \times A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4)} \leq 1 \quad (42)$$

Bei Schalenbereichen oder Zargenauflagern nach 10.6.4.3.7 mit Ausschnitten ist die Gleichung für  $k$  für derartige Ausschnitte:

wenn

$$\frac{d_{co}}{\left(\frac{D \cdot t}{2}\right)^{0.5}} \leq 3,5 \quad k = \frac{0,78}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \cdot t}}} \quad (43)$$

und wenn

$$\frac{d_{co}}{\left(\frac{D \cdot t}{2}\right)^{0.5}} > 3,5 \quad k = \frac{0,54}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \cdot t}}} \quad (44)$$

Dabei ist  $d_{co}$  der Durchmesser des Ausschnitts und  $t$  die allgemeine Wanddicke der Schale im Ausschnittsbereich. Wenn der Abstand der Öffnungen kleiner als der größte Wert für  $d_{co}$  ist, ist die Summe aus  $d_{co,1}$  und  $d_{co,2}$  zu nutzen

### 10.3.3 Kritischer Beuldruck in Umfangsrichtung

Für kurze Zylinder gilt  $L_s \leq 6 \cdot D$ .

Zylinder mit stufenweise veränderlichen Wanddicken sind nach EN 1993-1-6:2007, D.2, durch einen gleichwertigen Zylinder mit drei Querschnitten zu ersetzen. Die Werte  $t_0$  und  $l_0$  gelten für den oberen Querschnitt.

$$p_{cr} = 2,40 \cdot C_\theta \cdot \sqrt[4]{E_{\phi b}^3 \cdot E_x} \cdot \frac{D}{L_s} \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^{2,5} \quad (45)$$

Dabei ist  $L_s$  die wirksame Länge des Zylinders oder der Abstand zwischen zwei Versteifungen, siehe Bild 1. Bei normalen Tanks oder Behältern gilt  $C_\theta = 1,0$ . Bei oben offenen Tanks oder Behältern gilt  $C_\theta = 0,6$ .

Bei langen Zylindern, d. h.  $L_s$  oder  $L > 6 \cdot D$  gilt:

$$p_{cr} = 2,1 \cdot E_{\phi b} \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^3 \quad (46)$$

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

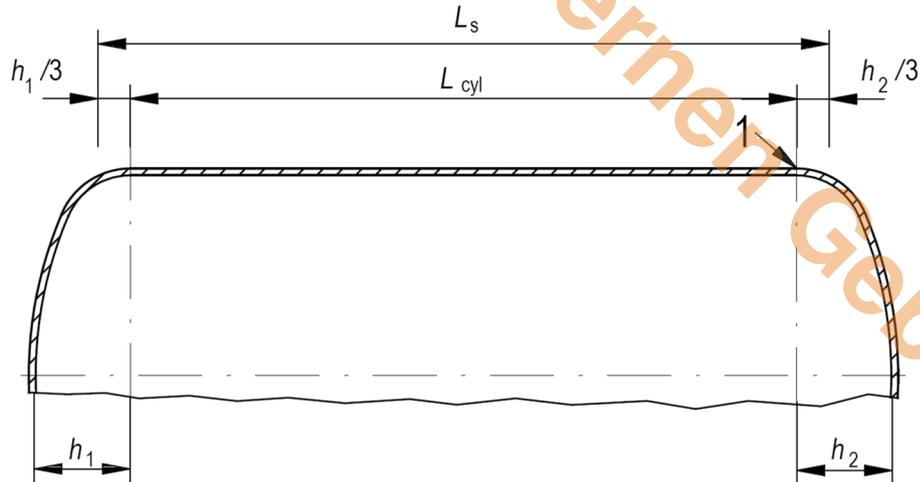
$$\frac{p_{d,cr}}{p_{cr}/(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \leq 1$$

### 10.3.4 Kombinierte axiale und radiale Drucklasten

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

$$\left( \frac{n_{x,d,cr}}{n_{cr}/(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \right)^{1,25} + \left( \frac{p_{d,cr}}{p_{cr}/(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \right)^{1,25} \leq 1 \quad (48)$$

Dabei ist  $n_{x,d,cr}$  in 10.2.2,  $n_{cr}$  in 10.3.2 und  $p_{cr}$  in 10.3.3 angegeben.

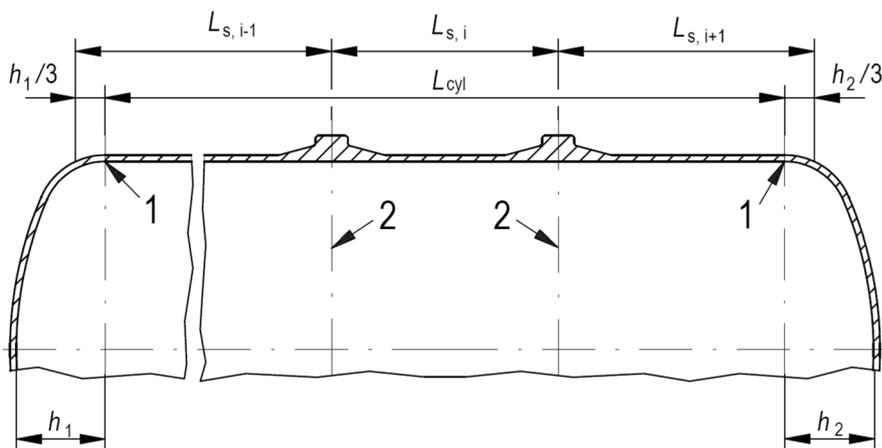


#### Legende

- 1 Tangentenpunkt

ANMERKUNG  $L_s$  kann zu  $L_{cyl}$  reduziert werden, wenn ein wirksamer Versteifungsring im Übergang Zylinder – Boden, wie in Bild 44 dargestellt ist, vorhanden und nachgewiesen wird.

**Bild 1 — Wirksame Länge von unverteiften Zylindern**



#### Legende

- 1 Tangentenpunkt  
2  $C_L$  der Versteifung

ANMERKUNG  $L_s$  kann zu  $L_{cyl}$  reduziert werden, wenn ein wirksamer Versteifungsring im Übergang Zylinder zu – Boden, wie in Bild 44 dargestellt ist, vorhanden und nachgewiesen wird.

**Bild 2 — Wirksame Länge zwischen Versteifungen an Zylindern**

### 10.3.5 Kritischer Beuldruck für eine Zylinderschale mit äußeren oder inneren Versteifungsringen

Ergibt sich nach 10.3.3 bzw. 10.3.4 eine unzulässig hohe Wanddicke, darf die Schale in der Länge unterteilt und für die resultierende, kürzere wirksame Länge 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 mit der Schale verbunden sein.

Der kritische Beuldruck  $p_{cr}$  wird mit Gleichung (49) berechnet:

$$p_{cr} = \left[ (E_{\phi b}^3 \cdot E_x)^{0,25} \cdot \frac{2 \cdot t_c}{D} \cdot \frac{\lambda^4}{\left(m^2 - 1 + \frac{\lambda^2}{2}\right) \cdot (m^2 + \lambda^2)^2} + \frac{8 \cdot (m^2 - 1) \cdot E_s \cdot I_s}{L_s \cdot D_s^3} \right] \quad (49)$$

Dabei ist  $m = 2, 3$  usw. einzusetzen, um den kleinsten Wert für  $p_{cr}$  zu ermitteln.

Bei  $L > 20 \times D$  oder wenn die Auswirkung der Schale unberücksichtigt bleibt, ist der in Gleichung (51) angegebene Schalenparameter in Gleichung (49) gleich 0, und die Ringsteifigkeit ist durch Gleichung (50) angeben:

$$E_s \cdot I_s \geq \frac{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot p_{d,cr} \cdot L_s \cdot D_s^3 \cdot F}{24} \quad (50)$$

Dabei ist

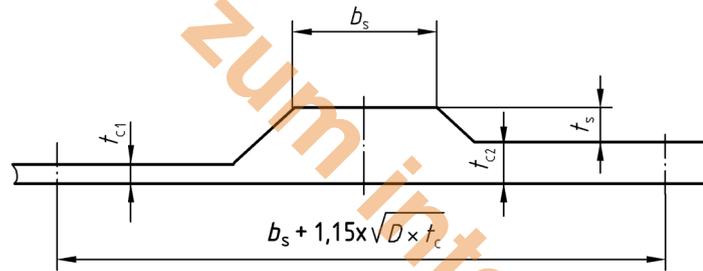
- $m$  die Umfangswellenzahl 2, 3, ...;
- $E_s$  der Biegemodul der Versteifung, in Umfangsrichtung;
- $\lambda$  der Schalenparameter;
- $I_s$  das Flächenträgheitsmoment der Versteifung, siehe Bilder 3 und 4;
- $L_s$  die mittlere Länge der Felder neben der Versteifung;
- $t_c$  die Mindestdicke der Schale von  $t_{c1}$  oder  $t_{c2}$  im Bereich der Versteifung, siehe Bild 3;
- $L_{cyl}$  die die Gesamtlänge der zylindrischen Schale.

$$\lambda = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot \left(L_{cyl} + \frac{h_1 + h_2}{3}\right)} \quad (51)$$

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{p_{d,cr}}{p_{cr} / (\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \leq 1 \quad (52)$$

- a) Die für eine massive GFK-Versteifung zu verwendenden Abmessungen sind in Bild 3 dargestellt und werden wie folgt berechnet. Dabei ist die in dieser Gleichung eingesetzte wirksame Breite der Schale  $b_s + 1,15 \times \sqrt{D} \times t_c$ :

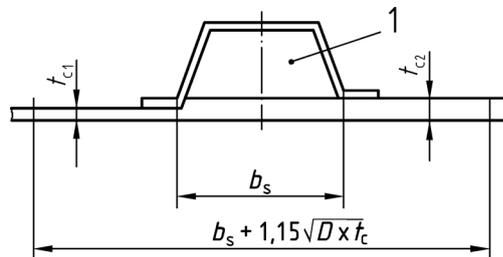


### Legende

$$5 \cdot t_c \leq b_s \leq 20 \times t_s \text{ und } 1,5 \times t_c \leq t_s \leq 4 \cdot b_s \text{ und } b_s \leq 300 \text{ mm}$$

**Bild 3 — Massive GFK-Versteifung**

- b) Für GFK-Versteifungen mit anderen Konfigurationen sind die in Bild 4 angegebenen grundlegenden Abmessungen zu verwenden.



### Legende

- 1 Verfüllung (Schaum) oder offen

ANMERKUNG  $t_c$  = mittlere Dicke.

**Bild 4 — Andere Konfigurationen von GFK-Versteifungen**

- c) Bei Versteifungsringen aus Stahl:

Gekapselte Versteifungsringe aus Stahl dürfen verwendet werden, vorausgesetzt:

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

## 10.4 Kegelschalen

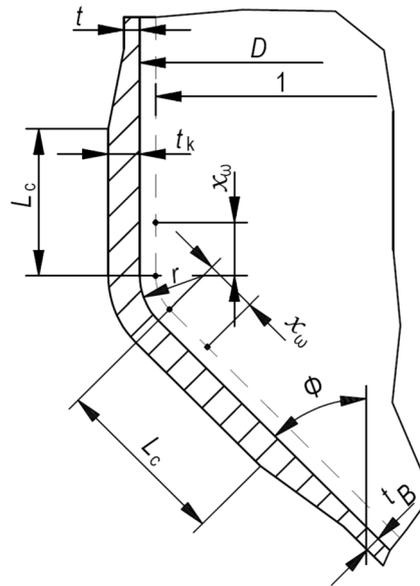
### 10.4.1 Allgemeine Anforderungen

Die Geometrie von Kegelschalen muss einer der beiden in den Bildern 5 und 6 dargestellten Formen entsprechen.

Kegelförmige Abschnitte mit Krempe, wie in Bild 5 dargestellt, sind mit den nachstehend aufgeführten Ausnahmen bei allen Werkstoffen mit oder ohne thermoplastische Auskleidung zu verwenden. Der Krempenradius  $r$  sollte vorzugsweise nicht kleiner als  $0,1 \cdot D$ , darf jedoch nicht kleiner als  $0,06 \cdot D$  sein, wobei  $D$  der Durchmesser der angrenzenden Schale ist. Der Öffnungswinkel darf bei allen Kegeln, die Über- oder Unterdruck ausgesetzt sind, höchstens  $150^\circ$  betragen.

Kegelförmige Abschnitte ohne Krempe (nicht bevorzugte Ausführung), wie in Bild 6 dargestellt, dürfen nur bei Tanks ohne thermoplastische Auskleidung und bei Tanks mit gewebekaschierter thermoplastischer Auskleidung verwendet werden. Diese Ausführung ist auf Tanks zu beschränken, die zur Lagerung mit ausschließlich statischer Belastung dienen und höchstens folgende Maße haben: einen Durchmesser von 1,5 m, eine Zylinderhöhe von 2 m und einen Öffnungswinkel des Kegels von höchstens 120°.

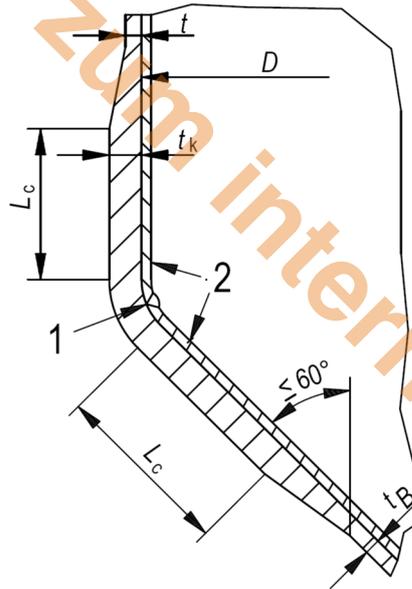
Kegelförmige Deckel von nicht mit Innen- oder Außendruck beaufschlagten Lagertanks ohne Krempe sind nach 10.4.5 auszulegen. Bei einem aufgebrachtten Innendruck von weniger als 65 mbar bzw. Außendruck von 6 mbar ist bei kegelförmigen Deckeln kein Krempenradius erforderlich.



### Legende

- 1 Auskleidung  $\chi_\omega > 80$  mm, d. h. die Lage der Schweißnähte

**Bild 5 — Kegelförmiger Abschnitt mit Krempe mit oder ohne thermoplastische Auskleidung**



### Legende

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

**Bild 6 — Kegelförmiger Abschnitt ohne Krempe (nicht bevorzugte Ausführung)**

### 10.4.2 Flachkegelförmige Böden

Flachkegelförmige Böden mit einem Öffnungswinkel von mehr als  $150^\circ$  sind entsprechend 10.9 als Flachböden auszulegen.

### 10.4.3 Kegelförmige Böden unter Innendruck

#### 10.4.3.1 Drücke

Die Drücke für diese Teile sind nachstehend festgelegt:

Für Innendruck:

$$p_{d,R} = PS_{op} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p} + p_{hp} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,w} \quad (53)$$

$$p_{d,\varepsilon} = PS_{op} + p_{hp} \quad (54)$$

Für radiale Stabilität:

$$p_{d,cr} = PS_{ep} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,p} + p_{wind} \cdot \gamma_{F,p} \quad (55)$$

#### 10.4.3.2 Am Kegel in Umfangsrichtung angreifende Schnittlast

Bei kegelförmigen Böden mit einem Öffnungswinkel bis  $150^\circ$  ist die Schnittlast in Umfangsrichtung mit Gleichung (56) zu berechnen.

Schnittlast in Umfangsrichtung:

$$n_{\phi,p,d,R} = \frac{p_{d,R} \cdot D}{2 \cdot \cos\phi} \quad \text{oder} \quad n_{x,p,d,\varepsilon} = \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot D}{2 \cdot \cos\phi} \quad (56)$$

Dabei ist  $\phi$  der halbe Öffnungswinkel des Kegels und  $D$  in Bild 5 festgelegt.

Für den Nachweis der Tragfähigkeit in Umfangsrichtung des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

#### 10.4.3.3 Axiale Schnittlast am Übergang zwischen Kegel und Kreppe

- a) Die axiale Schnittlast bei Böden mit kegelförmigen Abschnitten mit Kreppe mit oder ohne thermoplastische(r) Auskleidung entsprechend der Darstellung in Bild 5 ist mit Gleichung (57) zu berechnen:

$$n_{x,p,d,R} = \frac{p_{d,R} \cdot D \cdot K_{c1}}{2} \quad \text{oder} \quad n_{x,p,d,\varepsilon} = \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot D \cdot K_{c1}}{2} \quad (57)$$

Dabei ist  $K_{c1}$  Tabelle 13 entnommen.

Für den Nachweis der axialen Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

**Tabelle 13 — Spannungskonzentrationsfaktor  $K_{c1}$  für Kegelschalen mit Kreppe**

$\frac{r}{D}$	$K_{c1}$ für $\phi$					
	10°	20°	30°	45°	60°	75°
0,06	1,57	2,18	2,55	3,22	4,10	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	1,20	1,20	1,26	1,53	2,79
0,3	1,00	1,06	1,13	1,20	1,33	1,86

- b) Bei Böden mit der Form von kegelförmigen Abschnitten ohne Kreppe (nicht bevorzugte Konstruktion), wie in Bild 6 dargestellt, ist die axiale Schnittlast mit Gleichung (58) zu berechnen:

$$n_{x,p,d,R} = \frac{p_{d,R} \cdot D \cdot K_{c2}}{2} \quad \text{oder} \quad n_{x,p,d,\varepsilon} = \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot D \cdot K_{c2}}{2} \quad (58)$$

Dabei ist  $K_{c2}$  Tabelle 14 zu entnehmen.

Für den Nachweis der axialen Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Tabelle 14 — Konzentrationsfaktor  $K_{c2}$  für Kegelschalen ohne Krempe

$\frac{t_k}{D}$	$K_{c2}$ für $\phi$			
	15°	30°	45°	60°
0,002	2,94	5,62	8,90	13,6
0,005	2,05	3,70	5,80	8,70
0,01	1,60	2,75	4,12	6,30
0,02	1,24	2,00	3,00	4,40
0,04	1,00	1,55	2,20	3,20
0,05	1,00	1,45	2,00	2,75

Die für den Krempebereich berechnete Schalenverdickung muss sich über eine mit Gleichung (59) berechnete Länge  $L_c$  sowohl auf die Schale als auch auf den kegelförmigen Abschnitt erstrecken.

$$L_c = \sqrt{\frac{D \cdot t_k}{\cos \phi}} \quad (59)$$

Weitere Angaben zu Übergängen zwischen kegelförmigen Böden und Zylinderschalen aus faserrichtungsorientiertem Laminat, z. B. fadengewickelte Schalen, sind EN 13923 zu entnehmen.

#### 10.4.4 Kegelförmige Böden unter Außendruck

##### 10.4.4.1 Anforderung an die Festigkeit

Die Schnittlast in Umfangsrichtung ist nach 10.4.3.2 zu berechnen. Das nach 9.3.2 ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit aufweisen, die mindestens den in 10.4.3.2 und 10.4.3.3 angegebenen Werten entspricht.

##### 10.4.4.2 Elastische Stabilität

###### 10.4.4.2.1 Allgemeines

Die Kegelschale ist auf eine ausreichende Wanddicke zu überprüfen, um ihre Festigkeit gegen Versagen bei entweder den einzeln einwirkenden Druckbelastungen in Längs- und in Umfangsrichtung sowie gegebenenfalls deren kombinierten Einwirkungen sicherzustellen.

###### 10.4.4.2.2 Kritische Beullast $p_{cr}$ in Umfangsrichtung

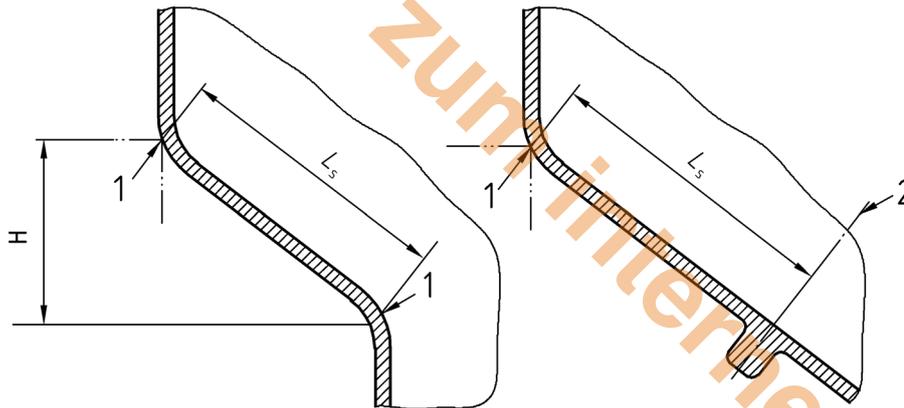
Für kurze Kegelschalen mit  $L \leq 6 \cdot D_m$  gilt:

$$p_{cr} = 2,40 \cdot \sqrt[4]{E_{\phi b}^3 \cdot E_x} \cdot \frac{D_m}{\cos \phi \cdot L_S} \cdot \left(\frac{\cos \phi \cdot t}{D_m}\right)^{2,5} \quad (60)$$

Dabei ist

$$L_S = \frac{H}{\cos \phi} \quad \text{die wirksame Länge des Kegelzylinders oder der Abstand zwischen Versteifungen, siehe Bild 7;}$$

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



**Legende1**

- 1 Tangentenpunkt
- 2 Mittellinie der Versteifung

**Bild 7 — Wirksame Länge zwischen Versteifungen für Kegel unter Außendruck**

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

$$p_{cr} = 2,1 \cdot E_{\phi b} \left( \frac{\cos \varphi \cdot t}{D_m} \right)^3 \tag{61}$$

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{p_{d,cr}}{p_{cr}/(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \leq 1 \tag{62}$$

Ist die Kegelschale mit Versteifungen versehen, ist 10.3.5 für die Auslegung der Versteifungen anzuwenden, mit  $D_m$  als  $D$ .

**10.4.4.2.3 Axiale Druckbelastung**

Bei axialer Druckbelastung ist eine Kontrollrechnung durchzuführen, um sicherzustellen, dass der Bereich der Schale, der der höchsten Druckbelastung ausgesetzt ist, eine ausreichende Stabilität aufweist:

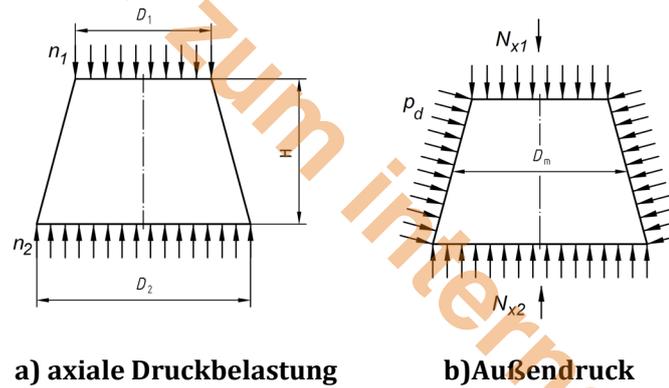
$$n_{cr} = k \cdot \sqrt{E_{\phi b} \cdot E_x} \cdot \frac{t^2 \cdot \cos \varphi}{D_m} \tag{63}$$

$$k = \frac{0,84}{\sqrt{1 + \frac{D_m}{200 \cdot t \cdot \cos \varphi}}} \tag{64}$$

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{n_{1,d,cr} \text{ und } n_{2,d,cr}}{n_{cr}/(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \leq 1 \tag{65}$$

Normen-Ticker - 1. Arge TPO e. V. Technische Prüforgansation - Kd.-Nr. 3300767 - Abo-Nr. 00002910/002/001 - 2016-09-23 19:11:10



**Bild 8 — Kegelschalen unter axialer Last und Außendruck**

Dabei sind  $n_1$  und  $n_2$  die axialen Schnittlasten am Konturübergang (Kegelanfang und Kegelerde) aufgrund der axialen Lasten  $N_{x1}$  sowie  $N_{x2}$

$$n_{1,x,d,cr} = \frac{N_{x1}}{\pi \cdot D_1} \quad n_{2,x,d,cr} = \frac{N_{x2}}{\pi \cdot D_2} \quad (66)$$

Dabei ist  $N_{x1} = \sum(N_{x1,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i})$  und  $N_{x2} = \sum(N_{x2,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i})$

#### 10.4.4.2.4 Kombinierte axiale und radiale Druckbelastungen

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

$$\left( \frac{n_{i,x,d,cr}}{n_{cr}} \right)^{1,25} + \left( \frac{p_{d,cr}}{p_{cr}} \right)^{1,25} \leq 1 \quad (67)$$

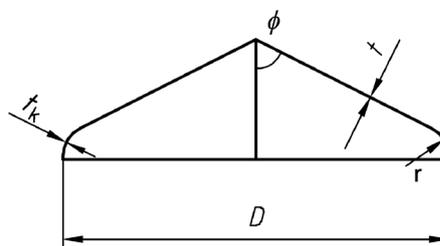
Dabei ist

$p_{cr}$  10.4.4.2.2 zu entnehmen;

$n_{cr}$  10.4.4.2.3 zu entnehmen.

#### 10.4.5 Kegelförmige Deckel

##### 10.4.5.1 Deckel unter Innendruck



**Bild 9 — Kegelförmige Deckel**

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

$$n_{x,p,d,R} = \frac{\alpha_b \cdot p_{D,R}}{\sin\varphi \cdot \cos\varphi} \cdot \left(\frac{D}{t_k}\right)^{1+\beta_b} \times t_k \quad \text{oder} \quad n_{x,p,d,\varepsilon} = \frac{\alpha_b \cdot p_{D,\varepsilon}}{\sin\varphi \cdot \cos\varphi} \cdot \left(\frac{D}{t_k}\right)^{1+\beta_b} \cdot t_k \quad (68)$$

Dabei ist

$$\alpha_b = -64 \cdot \left(\frac{r}{D}\right)^2 + 7,6 \cdot \left(\frac{r}{D}\right) + 0,13 \quad (69)$$

$$\beta_b = 51,6 \cdot \left(\frac{r}{D}\right)^2 - 8,18 \cdot \left(\frac{r}{D}\right) + 0,52 \quad (70)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

#### 10.4.5.2 Kegelförmige Deckel unter Außendruck

Die Stabilität des Deckels wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$p_{cr} = 13,58 \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^{2,5} \cdot E_b \cdot \sin\varphi \cdot (\cos\varphi)^{1,5} \quad (71)$$

Dabei ist  $E_b$  der Einheitsbiegemodul (Mindestwert) der kegelförmigen Deckelkonstruktion.

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{p_{d,cr}}{p_{cr}/(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \leq 1 \quad (72)$$

$p_{d,cr}$  ist 10.4.3 zu entnehmen.

### 10.5 Gewölbte Böden

#### 10.5.1 Allgemeine Anforderungen

Gewölbte Böden müssen eine der folgenden Formen aufweisen:

Halbkugelförmiger Boden siehe Bild 10. Für Böden mit Krepfen nach Bild 11 gelten als Grenzbedingungen für den Kalottenradius:  $0,8 \cdot D \leq R \leq D$  und der Krepfenradius muss mindestens  $0,1 \cdot D$  und höchstens  $0,25 D$  betragen.

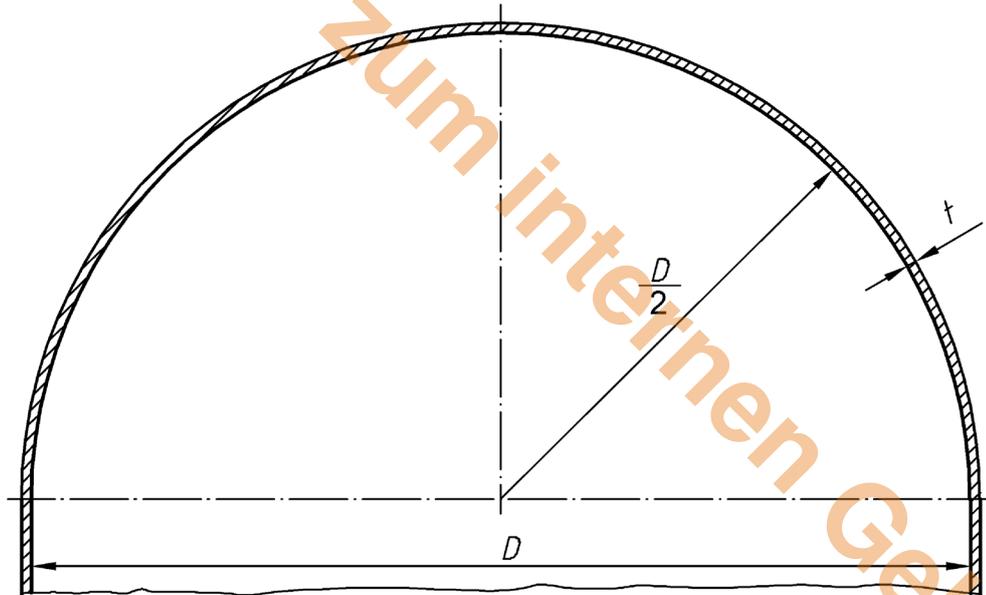
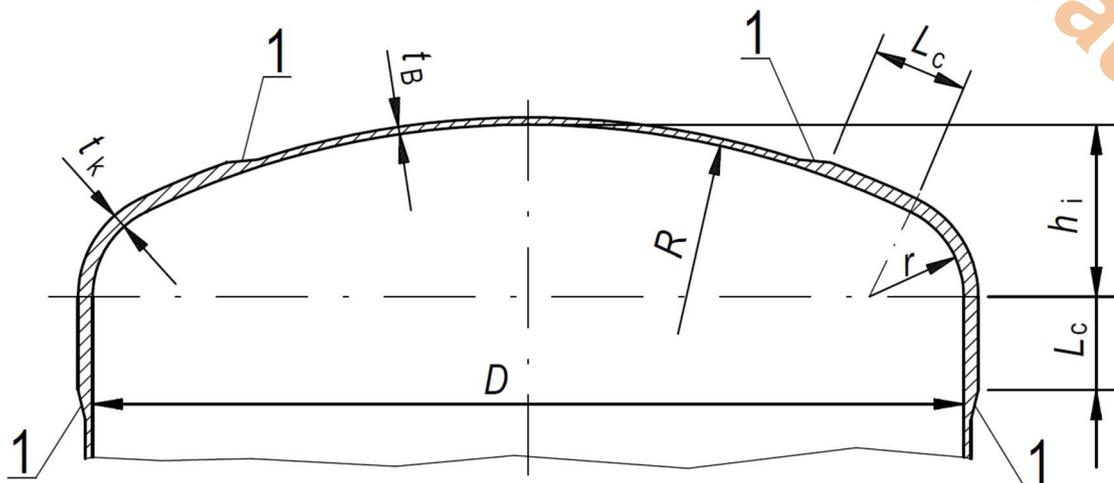


Bild 10 — Gewölbte Halbkugelböden



**Legende**

1 Neigung < 1 : 6

Bild 11 — Gewölbte Böden mit Krepfen

**10.5.2 Gewölbte Böden unter Innendruck**

Der Druck für diese Teile ist wie folgt festgelegt:

$$p_{d,R} = PS_{op} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p} + p_{hp} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,w} \quad (73)$$

$$p_{d,\varepsilon} = PS_{op} + p_{hp} \quad (74)$$

Die Schnittlast im Kalottenbereich von Böden mit Krepfen - oder von halbkugelförmigen Böden ist mit der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$n_{p,d,R} = 0,6 \cdot p_{d,R} \cdot R \quad \text{oder} \quad n_{p,d,\varepsilon} = 0,6 \cdot p_{d,\varepsilon} \cdot R \quad (75)$$

Dabei ist  $R$  der Kalottenradius.

Die Einheitsbelastung im Krepfenbereich von Böden mit Krepfen ist mit der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$n_{k,p,d,R} = \frac{p_{d,R} \cdot D \cdot K_d}{2} \quad \text{oder} \quad n_{k,p,d,\varepsilon} = \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot D \cdot K_d}{2} \quad (76)$$

Der Wert der Größe  $K_d$  ist anhand von Tabelle 15 für verschiedene Dicken zu ermitteln.

Bei Böden mit Krepfen, die im Krepfenbereich eine größere Laminatdicke als im Bereich der Kalotte erfordern können, muss sich die Laminatverdickung (Neigung 1 : 6) über eine mit der folgenden Gleichung berechnete Länge  $L_c$  sowohl auf die Wölbung als auch auf die Schale erstrecken.

$$L_c = \sqrt{D \cdot t_k} - 4 \cdot (t_k - t_b) \quad (77)$$

Dabei ist  $t_k$  die Dicke der Kreppe, ermittelt anhand des Wertes von  $n_{k,p}$ .

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

**Tabelle 15 — Konzentrationsfaktoren  $K_d$  für Krepfen von gewölbten Böden**

$\frac{h_i}{D}$	$\frac{t}{D}$	$K_d$	
		$R = D$	$R < D$
		$0,1 \leq \frac{r}{D} \leq 0,15$	$0,15 \leq \frac{r}{D} \leq 0,25$
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	0,005	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
Konturen von Standardböden		bei $\frac{r}{D} = 0,10$ und $R = D$ Klörperboden	bei $\frac{r}{D} = 0,154$ und $R = 0,8D$ Korbbojenboden

### 10.5.3 Stabilität gewölbter Böden unter Außendruck

Der kritische Beuldruck ist mit der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$p_{cr} = 0,242 \cdot E_b \left( \frac{t}{R} \right)^2 \quad (78)$$

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{p_{d,cr}}{p_{cr}/(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \leq 1 \quad (79)$$

mit

$$p_{d,cr} = PS_{ep} \cdot \sqrt{A_{5,i}} + \sum(p_i \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,p}) \quad (80)$$

Dabei ist  $p_i$  jeder andere Druck.

## 10.6 Auslegung von Flachböden und Standzargen für stehende Behälter

### 10.6.1 Definitionen

Die folgenden Lasten gelten für alle Auslegungsgleichungen:

Innendrucke:

$$p_{d,R} = PS_{op} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p} + p_{hp} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,w} \quad (81)$$

$$p_{d,\varepsilon} = PS_{op} + p_{hp} \quad (82)$$

Lasten aufgrund von Momenten:

$$M_{d,R} = \sum(M_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i}) \quad (83)$$

$$M_{d,\varepsilon} = \sum M_{e,i}$$

Für die axiale Stabilität gilt

$$M_{d,cr} = \sum(M_{e,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{5,i}) \quad (84)$$

Dabei ist  $M_e$  jedes andere Biegemoment.

Gewichtskraft von Behälter, Armaturen, Beschickungsgut, Anbauteilen und Personal:

$$W_{d,R} = W \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,w} + \sum(W_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i}) \quad (85)$$

$$W_{d,\varepsilon} = W + \sum W_{e,i} \quad (86)$$

Für die axiale Stabilität gilt

$$W_{d,cr} = W \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,w} + \sum(W_{e,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i}) \quad (87)$$

Dabei ist  $W_e$  jede andere Gewichtslast, z. B. aufgrund von Flüssigkeitslast auf der Zarge.

## 10.6.2 Vollflächig gelagerte Flachbodenbehälter

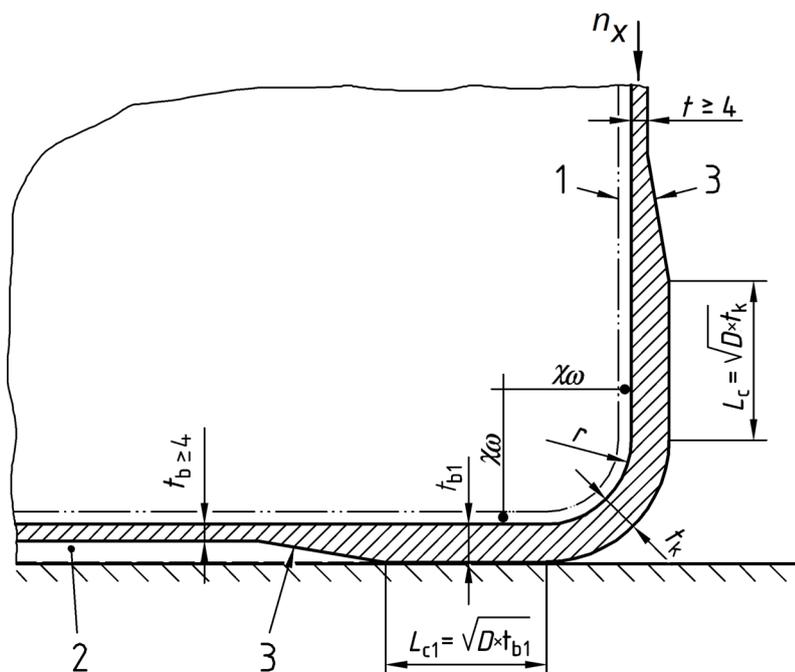
### 10.6.2.1 Allgemeines

Flachböden sind mit Ausnahme der Stellen, wo Wannen oder Ablaufvorrichtungen vorgesehen sind, vollflächig aufzulagern. Der nicht unterstützte Bereich des Bodens ist als ebene Platte auszulegen. Die für Abzweige in ebenen Böden vorgesehenen Abstände zwischen den Auflagerungen sind so zu bemessen, dass ausreichend Raum für Eckverstreibungen vorhanden ist (siehe Bilder 30 und 31), damit örtliche Lastspitzen nicht auf die zusätzlichen Ausschnittsverstärkungen an den Abzweigöffnungen wirken.

Verankerungen sind vorzusehen, wenn unter ungünstigsten Bedingungen die Gefahr besteht, dass die Schale vom Fundament abhebt. Konstruktive Vorkehrungen gegen das Abheben von Tanks sind in Abschnitt 14 aufgeführt, EN 13121-4 enthält Angaben zu typischen Anordnungen zur Bodenbefestigung.

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

Maße in Millimeter



### Legende

- 1 thermoplastische Auskleidung, sofern erforderlich
- $\chi_\omega > 80$  mm der Mindestlage der Schweißnaht
- 2 Verfüllung erforderlich, wenn Neigung  $> 1 : 10$  bei  $t_{b1}/t_b > 2$
- 3 Neigung  $< 1 : 10$

**Bild 12 — Tanks und Behälter mit und ohne Auskleidung mit Kreppe (bevorzugte Konstruktion)**

Dabei ist

$$L_c = \sqrt{D \cdot t_k} \quad (88)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Der lokale Verstärkungsbereich im Eckbereich der Bodenkrempe ergibt sich aus:

$$L_c = \sqrt{D \cdot t_k} \text{ für den Bereich der zylindrische Schale} \quad (89)$$

und

$$L_{c1} = \sqrt{D \cdot t_{b1}} \text{ für den Bereich im Boden} \quad (90)$$

### 10.6.2.2 Flachböden mit einem Krempe radius von $30 \leq r \leq 150$ mm (Bild 12)

Die maximale axiale Schnittlast  $n_{xk,1}$  an der Krempe wird mit folgenden Gleichungen berechnet:

a) Schnittlast  $n_{xk,1}$  aufgrund des Innendrucks (hydrostatischer Druck zuzüglich Überdruck)

$$n_{x,k1,d,R} = 3 \cdot k_p \cdot p_{d,R} \cdot D \quad \text{oder} \quad n_{x,k1,d,\varepsilon} = 3 \cdot k_p \cdot p_{d,\varepsilon} \cdot D \quad (91)$$

Dabei ist

$$k_p = 0,22 + \left(0,6 + 0,01415 \cdot \frac{D}{t_k}\right) \cdot \left(\frac{2 \cdot r}{D} - 4,44 \cdot \left(\frac{t_k}{D}\right)^{1,15} - 0,04\right) \quad (92)$$

und der Wert von  $k_p$  muss dabei stets  $\geq 0,22$  sein.

b) Schnittlast  $n_{x,k2}$  aus den in axialer Richtung an der Zylinderwand angreifenden Lasten  $\Sigma n_{x,i}$  durch Eigenlasten, Windlasten, Gewichtslasten usw.

$$n_{x,k2,d,R} = 6 \cdot k_n \cdot \Sigma n_{x,i,d,R} \quad \text{oder} \quad n_{x,k2,d,\varepsilon} = 6 \cdot k_n \cdot \Sigma n_{x,i,d,\varepsilon} \quad (93)$$

Dabei ist  $n_{x,i,d}$  10.2.2 zu entnehmen.

$$k_n = \left| 1,38 + 0,41 \cdot \frac{r}{D} \cdot \left(\frac{D}{t_k}\right)^{1,15} - 0,077 \cdot \left(\frac{r}{t_k}\right)^2 \right| \quad (94)$$

Die Höchstwerte dieser Lasten treten in verschiedenen Positionen auf, und die Wechselwirkung dieser Lasten wird mit den Gleichungen (95) und (96) beschrieben:

$$n_{v,d,R} = n_{x,k1,d,R} + 0,3 \cdot n_{x,k2,d,R} \quad \text{oder} \quad n_{x,d,\varepsilon} = n_{x,k1,d,\varepsilon} + 0,3 \cdot n_{x,k2,d,\varepsilon} \quad (95)$$

oder

$$n_{v,d,R} = n_{x,k2,d,R} + 0,3 \cdot n_{x,k1,d,R} \quad \text{oder} \quad n_{x,d,\varepsilon} = n_{x,k2,d,\varepsilon} + 0,3 \cdot n_{x,k1,d,\varepsilon} \quad (96)$$

Der Höchstwert von  $n_{x,d,R(\varepsilon)}$  ist für die Auslegung zu verwenden.

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Auch die Schnittlast in Umfangsrichtung ist daraufhin zu überprüfen, dass sie geringer ist als die Tragfähigkeit in Umfangsrichtung.

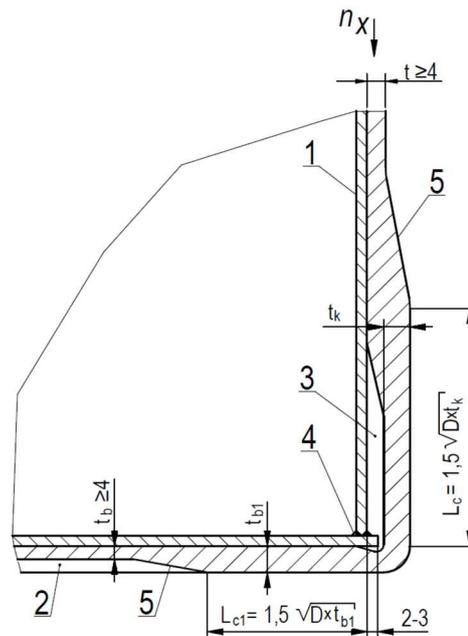
### 10.6.2.3 Flachböden mit einem Krepfenradius von $r \leq 30$ mm (Bild 12)

Die maximale axiale Schnittlast aufgrund von Innendruck (hydrostatischer Druck zuzüglich Überdruck) im Bereich der Kreppe wird mit der folgenden Gleichung berechnet, wenn gilt  $0,8t_k \leq t_{b1} \leq t_k$ :

$$n_{x,p,d,R} = 0,72 \times p_{d,R} \times D \quad \text{oder} \quad n_{x,p,d,\varepsilon} = 0,72 \times p_{d,\varepsilon} \times D \quad (97)$$

### 10.6.2.4 Flachböden mit einem Krepfenradius von $r = 0$ mm (Bild 13)

Maße in Millimeter



#### Legende

- 1 gewebekaschierte thermoplastische Auskleidung
- 2 Verfüllung erforderlich, wenn Neigung  $> 1 : 10$  bei  $t_{b1}/t_b > 2$
- 3 Harz/Wirrfasermatten-Verfüllung (einschließlich leitfähiger Schicht)
- 4 Schweißnaht, mindestens 3 Schweißlagen
- 5 Neigung  $< 1 : 10$

**Bild 13 — Tanks und Behälter mit gewebekaschierter Auskleidung ohne angeformte Kreppe**

Für Behälter mit gewebekaschierter thermoplastischer Auskleidung, die einen scharfkantigen Übergang Zylinder zu Boden aufweisen (siehe Bild 13) gelten die folgenden Gleichungen für den Einfluss des Innendrucks.

$$n_{x,p,d,R} = 0,9 \cdot p_{d,R} \cdot D \quad \text{oder} \quad n_{x,p,d,\varepsilon} = 0,90 \cdot p_{d,\varepsilon} \cdot D \quad (98)$$

Die maximale Schnittlast ergibt sich durch:

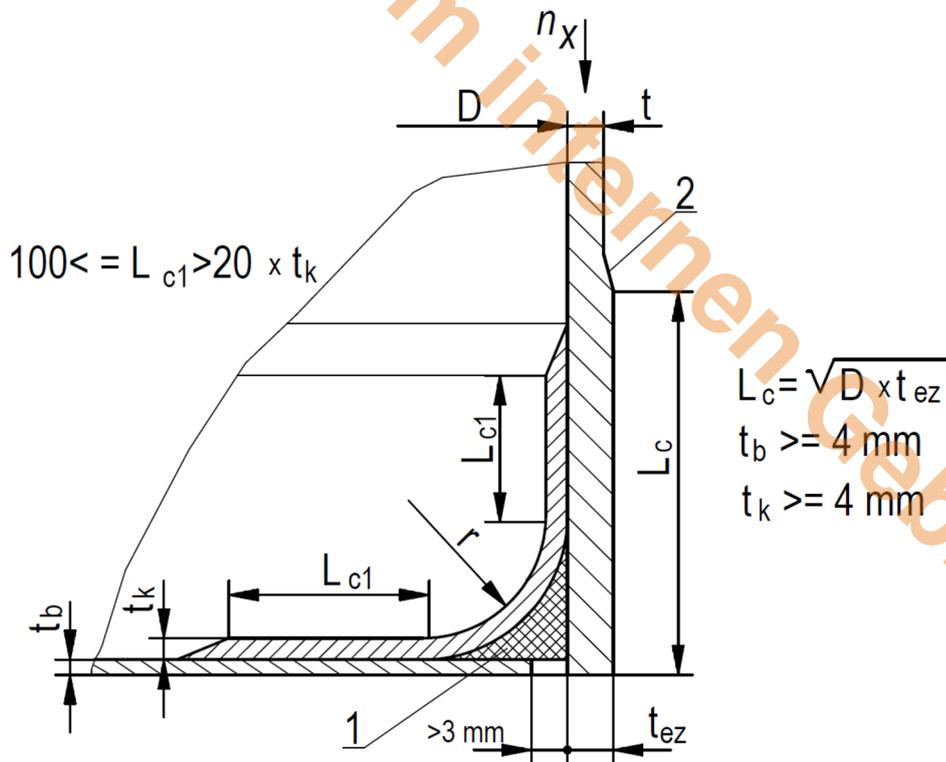
$$n_{x,d,R} = \pm n_{x,p,d,R} \pm n_{x,M,d,R} - n_{x,W,d,R} \quad \text{oder} \quad n_{x,d,\varepsilon} = \pm n_{x,p,d,\varepsilon} \pm n_{x,M,d,\varepsilon} - n_{x,W,d,\varepsilon} \quad (99)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Eine Verdickung im unteren Bereich der Schale oder des Bodens muss sich, ausgehend vom Ende der Kreppe, über eine Länge  $L_c$  erstrecken, siehe Bild 13.

10.6.2.5 Membranboden

Maße in Millimeter



**Legende**

- 1 Verfüllung, Steifigkeit  $E \leq 10 \text{ N/mm}^2$
- 2 Laminatauslauf

**Bild 14 — Flachboden in Membranausführung**

Die Auslegung des Krepfenradius für Membranböden erfolgt in zwei Teilen. Der Hauptteil betrifft bei  $n_{Kr,1}$  die Biegespannungen und bei  $n_{Kr,2}$  die Membranspannungen:

$$n_{Kr,1,d,R} = 0,106 \cdot p_{d,R} \cdot D \cdot \frac{t_k}{t_{eZ}} \cdot \sqrt{\frac{D}{r}} \cdot \frac{E_{x,b}}{E_\varphi} \cdot \left(\frac{E_{b,bottom}}{E_{x,b}}\right)^{2/3} \quad (100)$$

$$n_{Kr,2,d,R} = 3 \cdot p_{d,R} \cdot r$$

oder

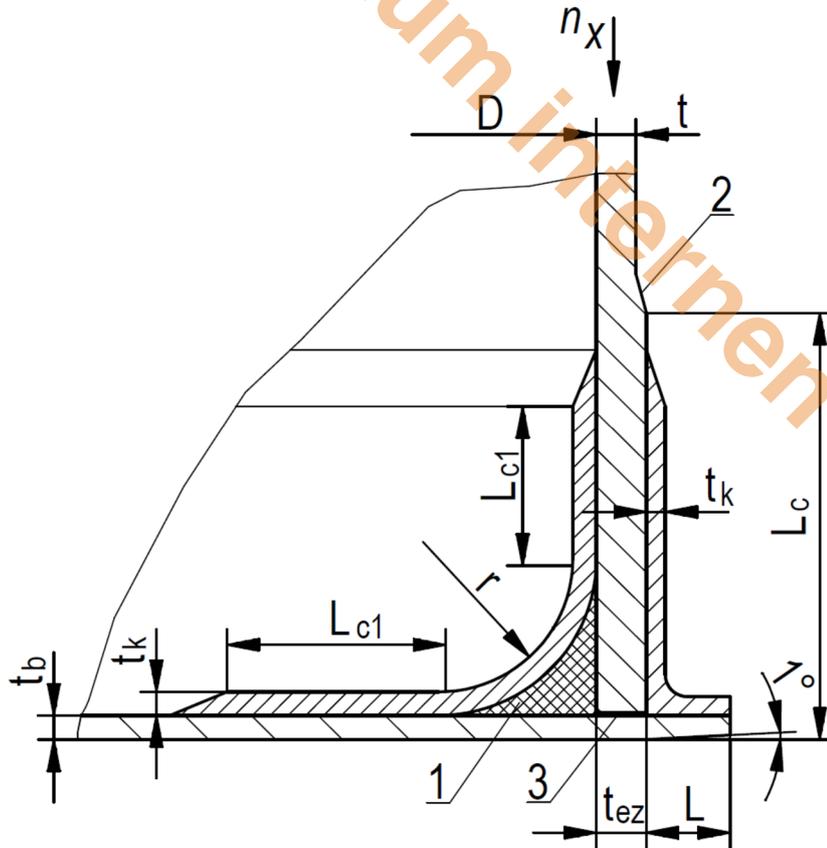
$$n_{Kr,1,\varepsilon} = 0,106 \cdot p_{d,\varepsilon} \cdot D \cdot \frac{t_k}{t_{eZ}} \cdot \sqrt{\frac{D}{r}} \cdot \frac{E_{x,b}}{E_\varphi} \cdot \left(\frac{E_{b,bottom}}{E_{x,b}}\right)^{2/3} \quad (101)$$

$$n_{Kr,2,\varepsilon} = 3 \cdot p_{d,\varepsilon} \cdot r$$

Grenzwerte:  $50 \text{ mm} \leq r \leq 250 \text{ mm}$   
 $0,0125 \leq r/D \leq 0,075$   
 $4 \text{ mm} \leq t_k \leq 12 \text{ mm}$ , aber  $< 0,6 \cdot t_{eZ}$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

10.6.2.6 Ausführung mit Flachboden und Membranscheibe unterhalb des Zylinders



**Legende**

- 1 Harz- oder Schaumstoffverfüllung
- 2  $75 \text{ mm} \leq \text{Neigung} \geq 1 : 6$
- 3 Harz oder CSM

**Bild 15 — Flachboden mit Membranscheibe unterhalb des Zylinders herausgeführt**

Dabei ist

$t_{ez} = 2 \cdot t$  oder Auslegung mit Gleichung (97). Der Höchstwert wird ausgewählt.

$$L_c = 1,5 \cdot \sqrt{D \cdot t_{ez}}$$

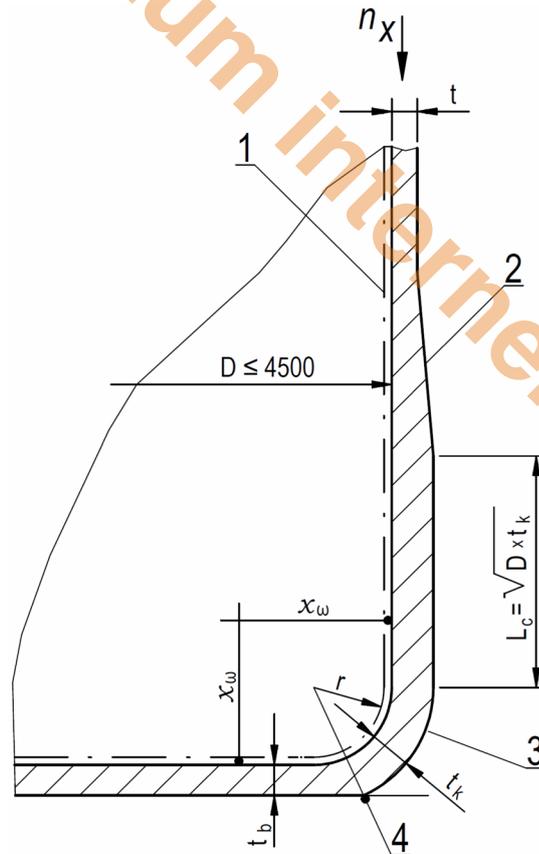
$$t_k = D^{0,2}$$

$$100 \leq L_{c1} \leq 20 \times t_k \text{ und } r = 0,01 \cdot D_r$$

$$t_b \geq 4 \text{ mm}$$

$$3 \times t_{ez} \leq L \leq 75 \text{ mm}$$

10.6.2.7 Abgeflachter Boden ( $D \leq 4\,500$  mm)



Legende

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1 | thermoplastische Auskleidung, sofern erforderlich | 4 | Es muss sichergestellt sein, dass $t_k$ zur vollständigen Stützung bis zur Aufstandsfläche ausgeführt wird. |
| 2 | Auslauf 1 : 6                                     | 5 | $40\text{ mm} \leq r \leq 100\text{ mm}$  |
| 3 | $t_k \geq t + t_b$ (Mindestwert)                  |   |   |

Bild 16 — Flachboden mit abgeflachter Ausführung

minimale Bodendicke  $t_b$

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| wenn $D \leq 2\,000$ mm                    | dann $t_b \geq 5$ mm;   |
| wenn $2\,000\text{ mm} < D \leq 3\,500$ mm | dann $t_b \geq 7,2$ mm; |
| wenn $3\,500\text{ mm} < D \leq 4\,500$ mm | dann $t_b \geq 10$ mm;  |

Die maximale axiale Schnittlast aufgrund von Innendruck (hydrostatischer Druck und Überdruck) im Bereich der Krempe wird mit den folgenden Gleichungen berechnet, wenn gilt  $0,6 \cdot t_k \leq t_b \leq t_k$ :

$$n_{x,p,d,R} = 0,72 \cdot p_{d,R} \cdot D \quad \text{oder} \quad n_{x,p,d,\varepsilon} = 0,72 \cdot p_{d,\varepsilon} \cdot D \quad (102)$$

Sollte einer der obigen Parameter überschritten werden, ist eine FE-Analyse (Anhang F), oder eine experimentelle Verifizierung (siehe 17.6) durchzuführen, um nachzuweisen, dass die Bauart geeignet ist.

### 10.6.2.8 Temperatureinfluss

Kann sich der Boden aufgrund der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  nicht ausdehnen, treten zusätzliche Schnittlasten bei allen Flachbodenkonstruktionen mit Ausnahme von Membranböden auf.

Die Schnittlast  $n_{x,\Delta T,d,R}$ , aufgrund der Temperaturdifferenzen, errechnet sich mit  $\Delta T$  nach 9.2.9 und einem Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha_i$  nach Tabelle 3 zu:

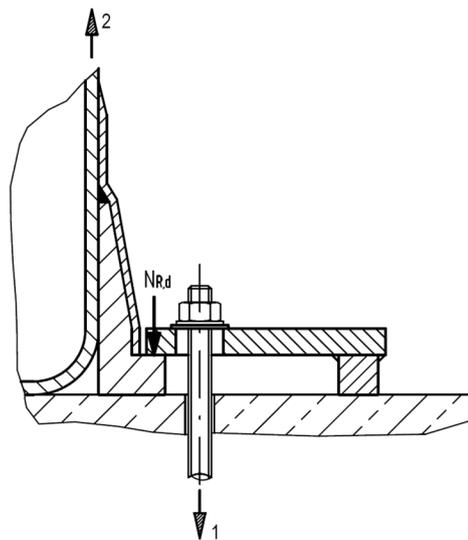
$$n_{x,\Delta T,d,R} = n_{x,\Delta T,d,\varepsilon} = 1,5 \cdot E_x \cdot \alpha_{i,\varphi} \cdot \Delta T \cdot t_k \quad (103)$$

### 10.6.3 Flachbodenbehälter unter Druck

Müssen Tanks oder Behälter mit flachen Böden einer Last aufgrund von Innendruck standhalten, muss der Boden auf einem starren Sockel oder Unterbau vollflächig aufgelagert werden, und die axiale Druckbelastung in der Schale muss entweder durch einen Winkelring oder einzelne Halterungen, die an der Schale befestigt und mit der Auflagerkonstruktion verschraubt sind, wie in Bild 17 dargestellt, ausgeglichen werden.

Bei einem Außendruck  $> 3$  mbar muss der Druck durch einen entsprechenden Füllstand der Flüssigkeit ausgeglichen werden oder der Boden muss für diesen Druck ausgelegt werden.

ANMERKUNG Zur Auslegung des Verankerungssystems siehe Abschnitt 14.



#### Legende

- 1 Reaktionslast
- 2 Druckbelastung

Bild 17 — Typische Verankerung eines Tanks oder Behälters mit Flachboden

### 10.6.4 Ausführungen mit gewölbten und kegelförmigen Böden

#### 10.6.4.1 Stützfüße

Einzelne Stützfüße dürfen direkt am Tank oder Behälter befestigt werden mit den in 12.2.2.1 festgelegten Einschränkungen.

### 10.6.4.2 Ringlagerungen

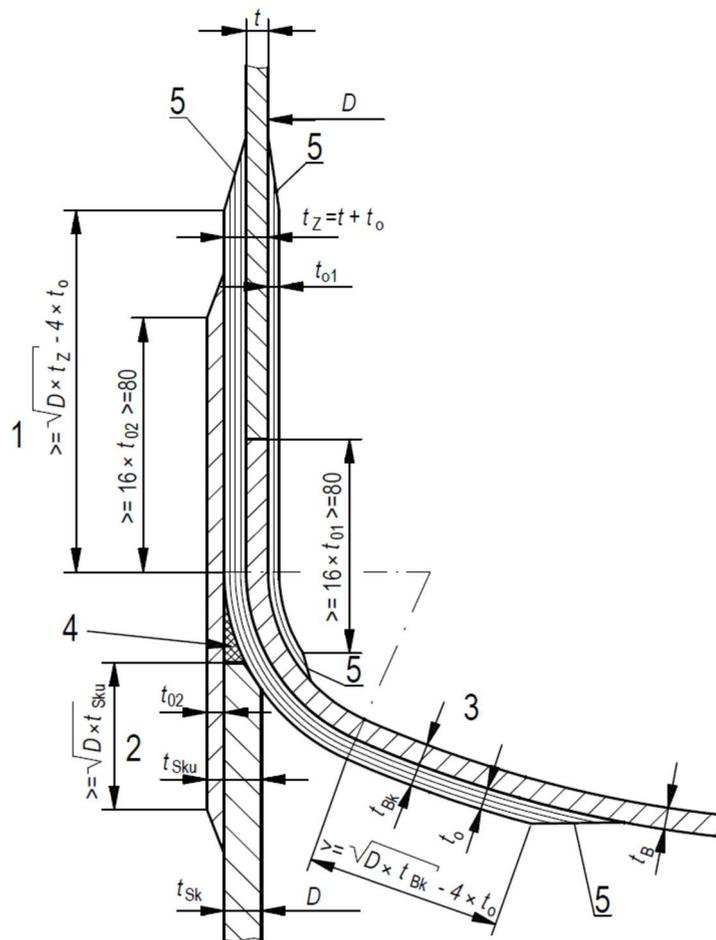
Mit dem Tank oder Behälter fest verbundene Stahlstützringe sollten nur verwendet werden, wenn die Auslegungstemperatur unter 60 °C liegt, sofern nicht in einer speziellen Entwurfsauslegung festgestellt wird, dass die Wärmedehnung und die aufgrund der Belastung einwirkende Dehnung die in Abschnitt 8 festgelegten Auslegungsdehngrenzen nicht überschreiten.

### 10.6.4.3 Auslegung von Behältern mit Standzarge

#### 10.6.4.3.1 Allgemeines

Bei der Auslegung von Behältern mit Standzarge gibt es drei kritische Bereiche: den unteren Teil des Zylinders (Bereich 1), den oberen Teil der Zarge (Bereich 2) und den Krepfenbereich am Boden des Behälters (Bereich 3); diese Bereiche sind in den Bildern 18 bis 22 für verschiedene Konstruktionsformen dargestellt.

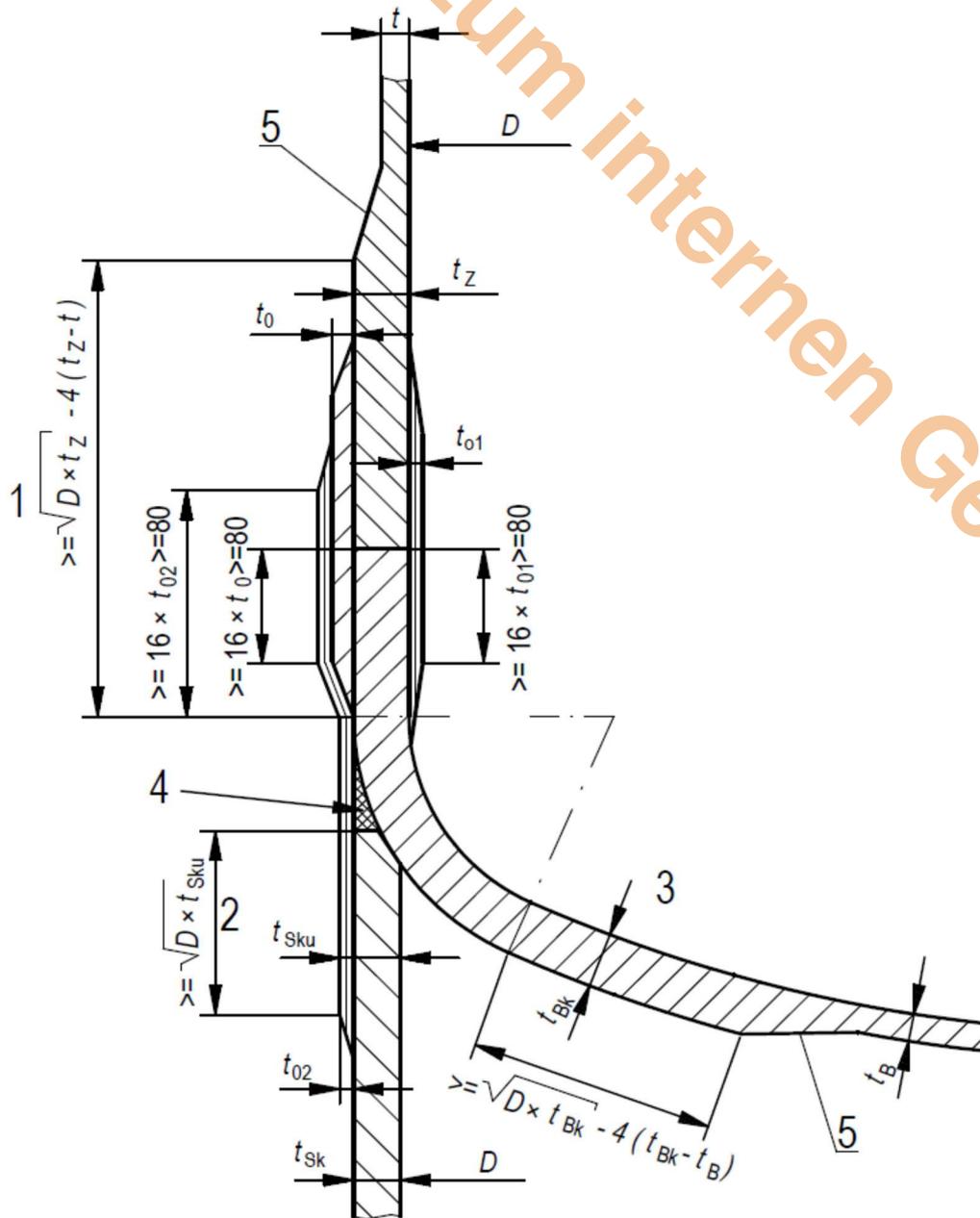
Maße in Millimeter



#### Legende

- |   |           |   |                 |
|---|-----------|---|-----------------|
| 1 | Bereich 1 | 4 | Spachtelmasse   |
| 2 | Bereich 2 | 5 | Neigung < 1 : 6 |
| 3 | Bereich 3 |   |                 |

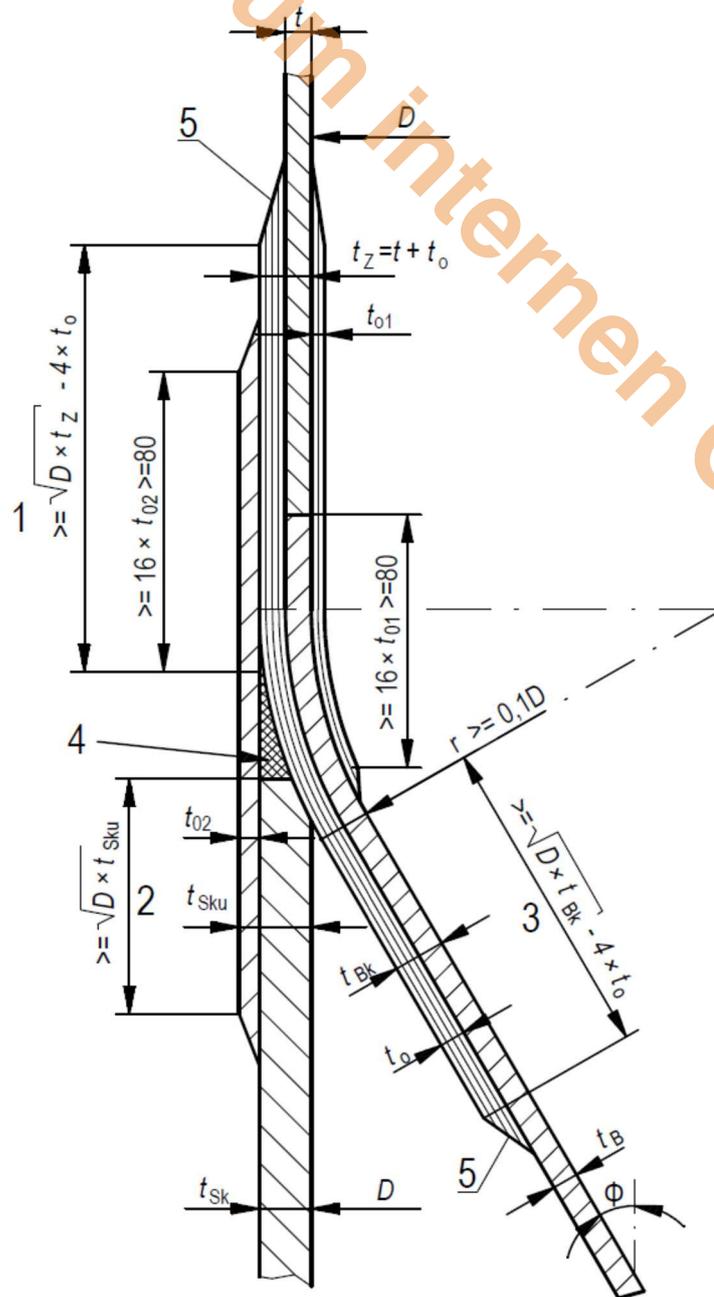
Bild 18 — Kritische Auslegungsbereiche 1, 2, 3 von Behältern ohne Auskleidung mit Standzarge



**Legende**

- |   |           |   |                 |
|---|-----------|---|-----------------|
| 1 | Bereich 1 | 4 | Spachtelmasse   |
| 2 | Bereich 2 | 5 | Neigung < 1 : 6 |
| 3 | Bereich 3 |   |                 |

**Bild 19 — Kritische Auslegungsbereiche 1, 2, 3 von Behältern ohne Auskleidung mit Standzarge**

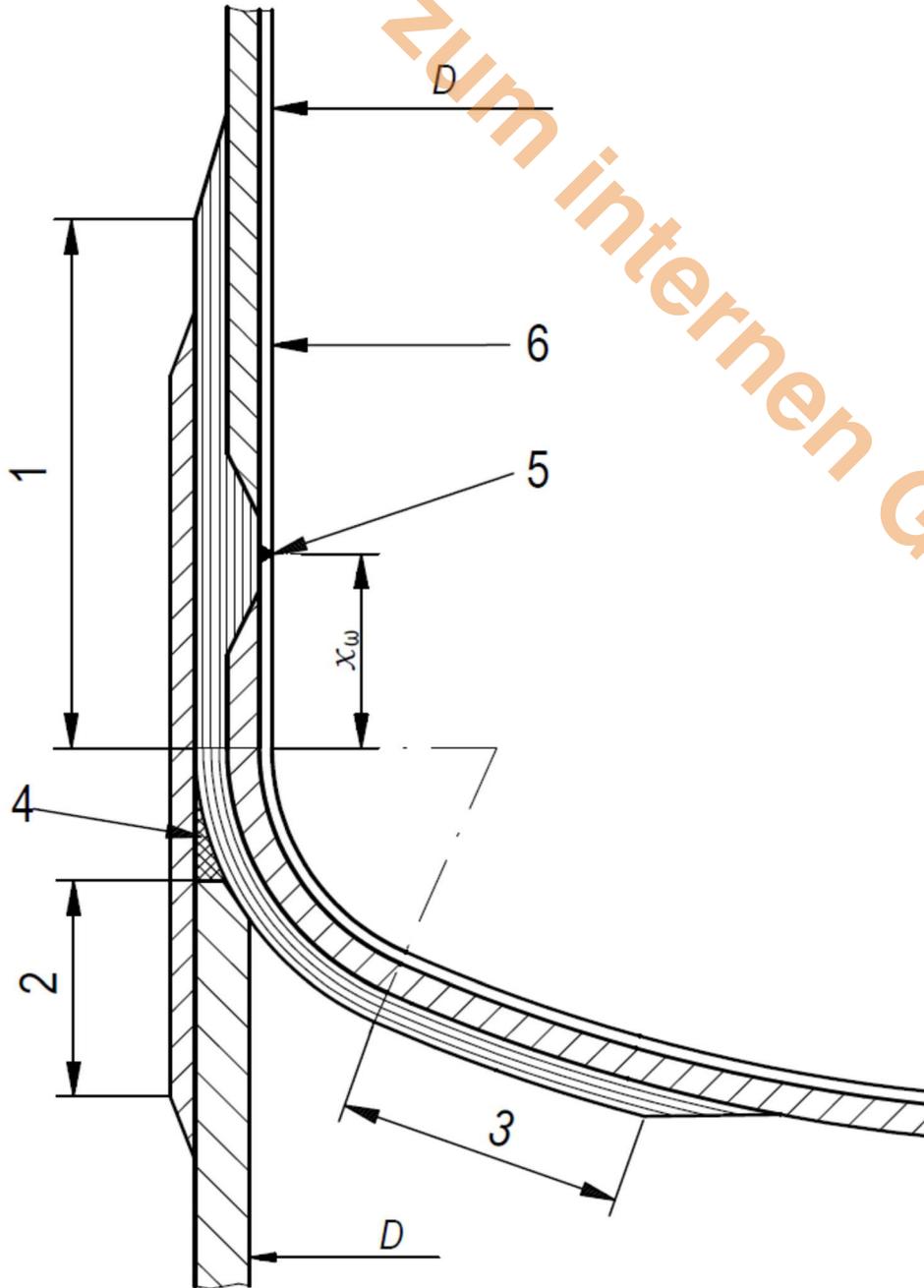


**Legende**

- |   |           |   |                 |
|---|-----------|---|-----------------|
| 1 | Bereich 1 | 4 | Spachtelmasse   |
| 2 | Bereich 2 | 5 | Neigung < 1 : 6 |
| 3 | Bereich 3 |   |                 |

**Bild 20 — Kritische Auslegungsbereiche 1, 2, 3 von Behältern mit Standzarge und kegelförmigem Boden mit  $\phi \leq 45^\circ$**

Nur zum internen Gebrauch

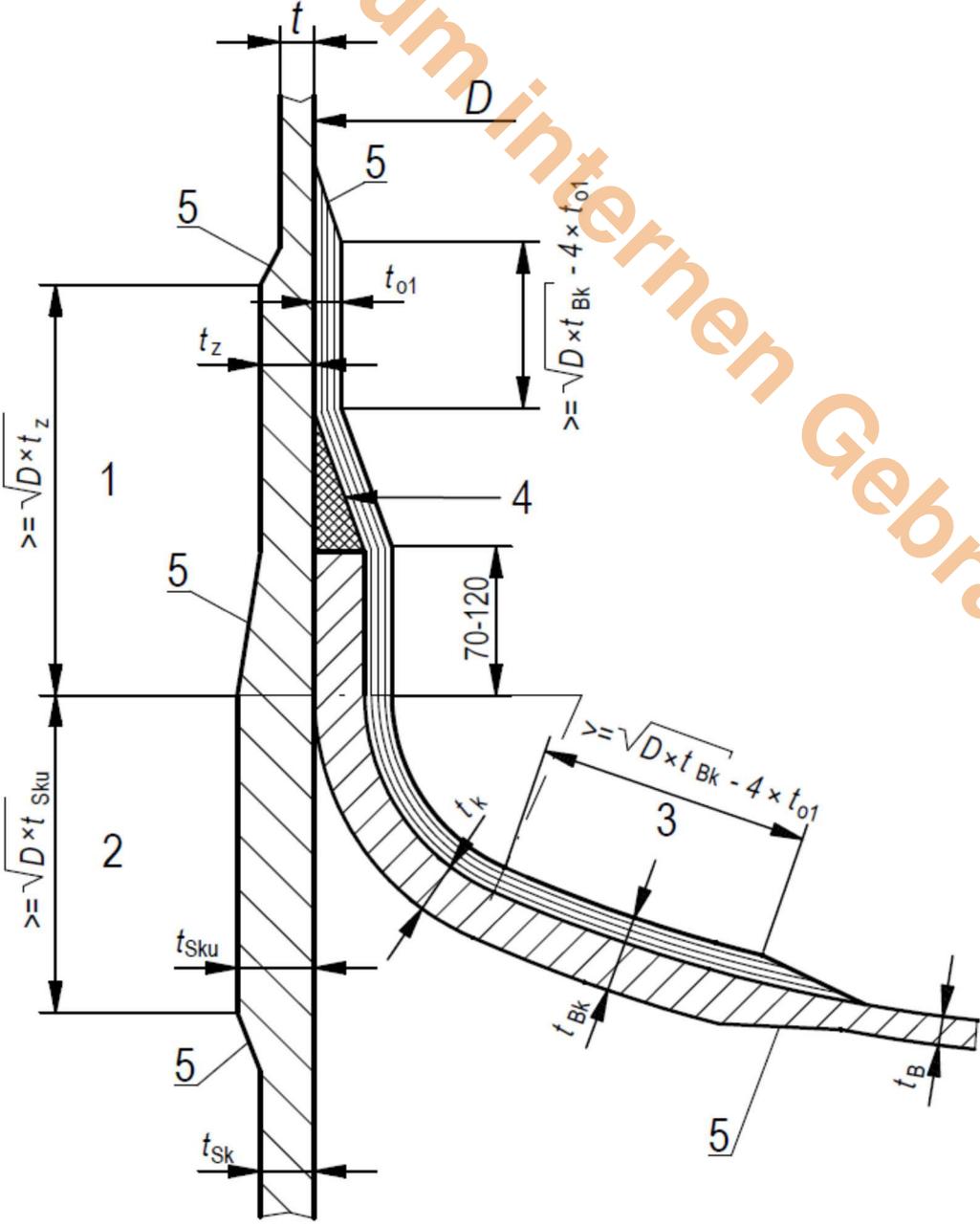


### Legende

- |   |           |   |  |
|---|-----------|---|--|
| 1 | Bereich 1 | 4 | Spachtelmasse                              |
| 2 | Bereich 2 | 5 | Lage der Schweißnaht $\chi_\omega > 80$ mm |
| 3 | Bereich 3 | 6 | Auskleidung                                |

ANMERKUNG Zu Maßen und Einzelheiten der Überlappung siehe Bild 19.

**Bild 21 — Kritische Auslegungsbereiche von Behältern mit Standzarge und Auskleidung**



**Legende**

- 1 Bereich 1
- 2 Bereich 2
- 3 Bereich 3
- 4 Spachtelmasse
- 5 Neigung < 1 : 6

**Bild 22 — Kritische Auslegungsbereiche von Behältern ohne Auskleidung mit Standzarge**

### 10.6.4.3.2 Schnittlast am unteren Teil des Zylinders (Bereich 1)

Die aufgrund von Unstetigkeit im Zylinder wirkende axiale Schnittlast  $n_{x,z,p}$  wird mit der folgenden Gleichung berechnet.

$$n_{x,z,p,d,R} = C_z \cdot p_{d,R} \cdot D \quad \text{oder} \quad n_{x,z,p,d,\varepsilon} = C_z \cdot p_{d,\varepsilon} \cdot D \quad (104)$$

Dabei ist bei Kugeltorus(Korbbogen)böden  $C_z = 0,9$ , wenn  $R = D$  bzw.  $C_z = 0,6$ , wenn  $R \leq 0,8 \cdot D$ .

Für kegelförmige Böden ist die Gleichung nach 10.4.3 anzuwenden.

$p_d$  beinhaltet den hydrostatischen Druck  $p_{hp}$  und den Überdruck  $PS_{op}$ .

Die Schnittlast  $n_{x,z,\Delta T}$  aufgrund der Auswirkung einer Temperaturdifferenz  $\Delta T$  nach 9.2.9 und einem Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha_i$  nach Tabelle 3 ergibt sich zu:

$$n_{x,z,\Delta T,d,R} = n_{x,z,\Delta T,d,\varepsilon} = 0,6 \cdot E_x \cdot \alpha_{i,\varphi} \cdot \Delta T \cdot t_z \quad (105)$$

$$\begin{aligned} n_{x,z,d,R} &= \pm n_{x,z,p,d,R} \pm n_{x,M,d,R} - n_{x,W,d,R} \pm n_{x,z,\Delta T,d,R} \\ n_{x,z,d,\varepsilon} &= \pm n_{x,z,p,d,\varepsilon} \pm n_{x,M,d,\varepsilon} - n_{x,W,d,\varepsilon} \pm n_{x,z,\Delta T,d,\varepsilon} \end{aligned} \quad \text{oder} \quad (106)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

### 10.6.4.3.3 Schnittlast am oberen Teil der Standzarge (Bereich 2)

Die aufgrund von Innendruck in axialer Richtung in der Zarge wirkende Schnittlast  $n_{x,Sku,p}$  wird berechnet mit:

$$n_{x,Sku,p,d,R} = C_{Sku} \cdot p_{hp} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,w} \cdot D \quad \text{oder} \quad n_{x,Sku,p,d,\varepsilon} = C_{Sku} \cdot p_{hp} \cdot D \quad (107)$$

Dabei ist bei Kugeltorus(Korbbogen)böden  $C_{Sku} = 1,2$  wenn  $R = D$  bzw.  $C_{Sku} = 0,6$  wenn  $R \leq 0,8 \cdot D$ .

Für kegelförmige Böden ist die Gleichung nach 10.4.3 zu verwenden.

Die Schnittlast  $n_{x,Sku,\Delta T}$  aufgrund der Auswirkung einer Temperaturdifferenz  $\Delta T$  nach 9.2.9 und einem Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha_i$  nach Tabelle 3 ergibt sich zu:

$$n_{x,Sku,\Delta T,d,R} = n_{x,Sku,\Delta T,d,\varepsilon} = 0,6 \cdot E_x \cdot \alpha_{i,\varphi} \cdot \Delta T \cdot t_{Sku} \quad (108)$$

$$\begin{aligned} n_{x,Sku,d,R} &= \pm n_{x,Sku,p,d,R} \pm n_{x,M,d,R} - n_{x,W,d,R} \pm n_{x,Sku,\Delta T,d,R} \\ n_{x,Sku,d,\varepsilon} &= \pm n_{x,Sku,p,d,\varepsilon} \pm n_{x,M,d,\varepsilon} - n_{x,W,d,\varepsilon} \pm n_{x,Sku,\Delta T,d,\varepsilon} \end{aligned} \quad \text{oder} \quad (109)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

$$L_{c,Sku} \geq \sqrt{D \cdot t_{Sku}} \quad (110)$$

#### 10.6.4.3.4 Schnittlast im Krepfenbereich (Bereich 3)

Die im Krepfenbereich wirkende maximale Schnittlast  $n_k$  ist für kegelförmige Böden nach 10.4.3.3 und für gewölbte Böden nach 10.5.2 zu berechnen.

Die Schnittlast  $n_{x,Bk,\Delta T}$  aufgrund der Auswirkung einer Temperaturdifferenz  $\Delta T$  nach 9.2.9 und einem Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha_i$  nach Tabelle 3 ergibt sich zu:

$$n_{x,Bk,\Delta T,d,R} = n_{x,Bk,\Delta T,d,\varepsilon} = 0,9 \cdot E_x \cdot \alpha_{i,\varphi} \cdot \Delta T \cdot t_{Bk} \quad (111)$$

$$n_{x,Bk,d,R} = \pm n_{x,p,d,R} \pm n_{x,Bk,\Delta T,d,R} \quad \text{oder} \quad n_{x,Bk,d,\varepsilon} = \pm n_{x,p,d,\varepsilon} \pm n_{x,Bk,\Delta T,d,\varepsilon} \quad (112)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Länge des Bereichs:

$$L_c \geq \sqrt{D \cdot t_{Bk}} - 4 \cdot t_0 \quad \text{oder} \quad L_c \geq \sqrt{D \cdot t_{Bk}} - 4(t_{Bk} - t_B) \quad \text{oder} \quad L_c \geq \sqrt{D \cdot t_{Bk}} - 4 \cdot t_{01} \quad (113)$$

Die maximale Schnittlast für jedes innere Überlaminat zur Verbindung des gewölbten Bodens mit dem Zylinder, siehe Bild 22, wird mit der folgenden Gleichung berechnet.

$$n_{\text{over},d,R} = p_{d,R} \cdot D/2 \quad \text{oder} \quad n_{\text{over},d,\varepsilon} = p_{d,\varepsilon} \cdot D/2 \quad (114)$$

Dabei beinhaltet  $p_d$  den hydrostatischen Druck  $p_{hp}$  und den Überdruck  $PS_{op}$ .

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Die Fasermenge des inneren Überlaminats für die Verbindung des Bodens muss mindestens  $3 \times 450 \text{ g/m}^2$  Wirrfasermatte, zuzüglich Korrosionsschutzschicht betragen bei  $D < 2 \text{ m}$  und  $4 \times 450 \text{ g/m}^2$  Wirrfasermatte, zuzüglich Korrosionsschutzschicht für  $D > 2 \text{ m}$  für die in den Bildern 18 bis 22 dargestellten Konstruktionsbeispiele.

#### 10.6.4.3.5 Schnittlast an der Zarge

Die axialen Lasten durch Biegemomente aufgrund von Wind- oder Erdbebenlasten (nach den örtlichen nationalen Normen ermittelt):

$$\text{axiale Schnittlast } n_{x,Sk,M,d,R} = \frac{4 \cdot M_{d,R}}{\pi \cdot D^2} \quad \text{oder} \quad n_{x,Sk,M,d,\varepsilon} = \frac{4 \cdot M_{d,\varepsilon}}{\pi \cdot D^2} \quad \text{oder} \quad n_{x,Sk,M,d,cr} = \frac{4 \cdot M_{d,cr}}{\pi \cdot D^2} \quad (115)$$

$$\text{Dabei ist } M_{d,R} = M_{\text{wind}} \cdot \gamma_{F,p} + \sum (M_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i})$$

$$\text{bzw. } M_{d,\varepsilon} = M_{\text{wind}} + \sum M_{e,i}$$

$$\text{Für die axiale Stabilität gilt } M_{d,cr} = M_{\text{wind}} \cdot \gamma_{F,p} + \sum (M_{e,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i})$$

Dabei ist  $M_e$  jedes andere Biegemoment.

Gewichtskraft von Behälter, Armaturen, Beschickungsgut, Anbauteilen und Personal:

$$\text{axiale Schnittlast } n_{x,Sk,W,d,R} = \frac{W_{d,R}}{\pi \cdot D} \quad \text{oder} \quad n_{x,Sk,W,d,\varepsilon} = \frac{W_{d,\varepsilon}}{\pi \cdot D} \quad \text{oder} \quad n_{x,Sk,W,d,cr} = \frac{W_{d,cr}}{\pi \cdot D} \quad (116)$$

Dabei ist  $W_{d,R} = W \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,w} + \sum(W_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i})$

bzw.  $W_{d,\varepsilon} = W + \sum W_{e,i}$

Für die axiale Stabilität gilt  $W_{d,cr} = W \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,w} + \sum(W_{e,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i})$

Dabei ist  $W_e$  jede andere Gewichtslast, z. B. aufgrund von Flüssigkeitsfüllung, Schneelast oder anderen Zusatzlasten.

Die kombinierte axiale Schnittlast  $n_x$  ist die Summe der sich aus den vorstehenden Gleichungen ergebenden Werte unter Berücksichtigung der Belastungsrichtung.

Für die Zarge gilt bei:

$$\text{Zug: } n_{x,Sk,d,R} = n_{x,Sk,M,d,R} + n_{x,Sk,W,d,R} \quad (117)$$

$$\text{Dehnung: } n_{x,Sk,d,\varepsilon} = n_{x,Sk,M,d,\varepsilon} + n_{x,Sk,W,d,\varepsilon} \quad (118)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

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

$$n_{x,Sk,d,cr} = n_{x,Sk,M,d,cr} + n_{x,Sk,W,d,cr} \quad (119)$$

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{n_{x,Sk,d,cr}}{n_{cr}/(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \leq 1 \quad (120)$$

Dabei ist

$$n_{cr} = k \cdot \sqrt{E_{\phi b} \cdot E_x} \cdot \frac{t^2}{D} \quad (121)$$

mit

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

$E_x$  = Axialmodul der Zarge.

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

#### 10.6.4.3.6 Überlaminat Anbindung der Zarge

Die maximale Schnittlast für ein äußeres Überlaminat am Übergang zwischen Zylinder und Zarge wird berechnet mit:

$$n_{over,d,R} = \pm n_{x,Sk,M,d,R} - n_{x,Sk,W,d,R} + 0,2 \cdot p_{d,hp} \cdot D \text{ oder} \quad (122)$$

$$n_{over,d,\varepsilon} = \pm n_{x,Sk,M,d,\varepsilon} - n_{x,Sk,W,d,\varepsilon} + 0,2 \cdot p_{d,hp} \cdot D$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Die Schubspannung im Überlaminat wird wie folgt berechnet:

$$\tau_{\text{over,d}} = \frac{n_{\text{over,d,R}}}{l_{\text{over}}} \quad \text{und} \quad \tau_{\text{over,d}} \leq \frac{\tau_k}{(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \quad (123)$$

und

$$l_{\text{over}} \leq 16 \cdot t_{\text{over}} \quad (124)$$

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

#### 10.6.4.3.7 Ausschnitte in einer Zarge

Bei erforderlichen Ausschnitten in einer Standzarge ist diese entsprechend zu verstärken, so dass sie die in 10.8 angegebenen Anforderungen für die Verstärkung der Öffnungen erfüllt. Zur Berechnung der Stabilität der Zarge sind die in 10.3.2 angegebenen Gleichungen anzuwenden.

Die maximale Schnittlast im Bereich des Ausschnitts ohne zusätzliche Verstärkungen wird wie folgt berechnet:

$$n_{x,Sk,d,R} = \left( \frac{n_{x,Sk,W,d,R} \cdot \pi \cdot D}{A_c} \right) + \left( \frac{n_{x,Sk,M,d,R} \cdot \pi \cdot D^2/4 + (n_{x,Sk,W,d,R} \cdot \pi \cdot D) \cdot e_c}{Z_c} \right)$$

oder

$$n_{x,Sk,d,\varepsilon} = \left( \frac{n_{x,Sk,W,d,\varepsilon} \cdot \pi \cdot D}{A_c} \right) + \left( \frac{n_{x,Sk,M,d,\varepsilon} \cdot \pi \cdot D^2/4 + (n_{x,Sk,W,d,\varepsilon} \cdot \pi \cdot D) \cdot e_c}{Z_c} \right) \quad (125)$$

Dabei ist

$$A_c = D \cdot [\pi - \alpha_c] \quad (126)$$

$$Z_c = \frac{D^3 \cdot [\pi - \alpha_c - 0,5 \cdot \sin 2\alpha_c] - A_c \cdot e_c^2}{8 \cdot (e_c + 0,5 \cdot D \cdot \cos \alpha_c)} \quad (127)$$

$$\alpha_c = \arcsin \left( \frac{d_{co}}{D} \right) \quad (128)$$

$$e_c = \frac{D \cdot \sin \alpha_c}{2 \cdot (\pi - \alpha_c)} \quad (129)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Für die Stabilität gilt:

$k$  für derartige Querschnitte ist mit folgenden Gleichungen angegeben, wenn:

$$\frac{d_{co}}{\left( \frac{D \cdot t_{Sk}}{2} \right)^{0,5}} \leq 3,5 \quad k = \frac{0,78}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \cdot t_{Sk}}}} \quad (130)$$

und wenn

$$\frac{d_{co}}{\left( \frac{D \cdot t_{Sk}}{2} \right)^{0,5}} > 3,5 \quad k = \frac{0,54}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \cdot t_{Sk}}}} \quad (131)$$

Dabei ist  $d_{co}$  der Durchmesser des Ausschnitts und  $t$  die allgemeine Wanddicke der Schale im Ausschnittsbereich.

$$n_{x,Sk,d,cr} = \left( \frac{n_{x,Sk,W,d,cr} \cdot \pi \cdot D}{A_c} \right) + \left( \frac{n_{x,Sk,M,d,cr} \cdot \pi \cdot D^2/4 + (n_{x,Sk,W,d,cr} \cdot \pi \cdot D) \cdot e_c}{Z_c} \right) \quad (132)$$

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{n_{x,Sk,d,cr}}{n_{cr}/(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \leq 1 \quad (133)$$

$n_{cr}$  ist 10.6.4.3.5 zu entnehmen.

## 10.7 Rundlamine an Zylinderstoßstellen

### 10.7.1 Allgemeines

Wenn Zylinderabschnitte eines Behälters miteinander verbunden werden sollen, indem entweder eine Überlappung von einem Zylinderlaminat auf ein bereits bestehendes Zylinderlaminat vorgenommen wird oder das Verbinden von zwei Zylinderabschnitten miteinander durch Verwendung einer Stumpfstoßverbindung vorgenommen wird, so sind die Nachweisverfahren in diesem Abschnitt anzuwenden.

Typische Ausführungen von Rundlaminaten an Zylinderstoßstellen für Tanks und Behälter ohne thermoplastische Auskleidung sind in Bild 23 und für Tanks und Behälter mit thermoplastischer Auskleidung in Bild 24 dargestellt.

Das Laminat der Überlappung/Überlaminat  $l_{over}$  darf im Übergangsbereich eine Neigung von 1 : 6 nicht übersteigen.

Die maximale Schnittlast einer Stoßverbindung wird mit Gleichung (134) berechnet:

$$n_{over,d,R} = \pm n_{x,M,d,R} - n_{x,W,d,R} + n_{x,p,d,R} \quad \text{oder} \quad (134)$$

$$n_{over,d,\varepsilon} = \pm n_{x,M,d,\varepsilon} - n_{x,W,d,\varepsilon} + n_{x,p,d,\varepsilon}$$

$n_{x,i}$  ist 10.2.2 zu entnehmen.

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Die Schubspannung im Überlaminat wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$\tau_{over,d} = \frac{n_{over,d,R}}{l_{over} - 2 \cdot t_{over}} \quad \text{und} \quad \tau_{over,d} \leq \frac{\tau_{lap,k}}{(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \quad (135)$$

und für den Nachweis:

$$l_{over} \leq 16 \cdot t_{over} \quad (136)$$

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

Die Länge der Überlappung des Laminats/des Überlaminats muss für Lamine mit einer Dicke  $< 6 \text{ mm}$  mindestens  $100 \text{ mm}$  und bei Laminaten mit einer Dicke  $> 6 \text{ mm}$  mindestens  $150 \text{ mm}$  betragen sowie mindestens zu beiden Seiten der Stoßstelle dem 16fachen der jeweiligen Dicke entsprechen ( $16 \cdot t_{over}$ ).

Verbindungsstellen dürfen nicht im Bereich hoher örtlicher Belastung liegen, d. h. in der Nähe von Krepfen, Abzweigen, Querschnittsübergängen usw.

Maße in Millimeter

<p>Diagram showing a cross-section of a tank joint. The joint is formed by two overlapping layers (4) with a central sealant (2) and an inner sealant (1). An outer overlay (3) is applied over the joint. The overlap length is labeled <math>l_{over}</math> and the total length is 100-150 mm. The thickness of the overlay is <math>t_{over}</math>.</p>	<p><b>Legende</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Dichtlaminat innen</li> <li>2 Harz/Pasten-Verfüllung (min)</li> <li>3 Überlaminat</li> <li>4 Traglaminat</li> </ol>
<p>Diagram showing a cross-section of a tank joint. The joint is formed by two overlapping layers (4) with a central sealant (2) and an inner sealant (1). An overlay (3) is applied over the joint. The overlap length is labeled <math>l_{over}</math> and the total length is 80 mm. The thickness of the overlay is <math>t_{over}</math>.</p>	<p><b>Legende</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Dichtlaminat innen</li> <li>2 Harz/Pasten-Verfüllung (min)</li> <li>3 Überlaminat</li> <li>4 Traglaminat</li> </ol>
<p>Diagram showing a cross-section of a tank joint. The joint is formed by two overlapping layers (4) with a central sealant (2) and an inner sealant (1). An overlay (3) is applied over the joint. The overlap length is labeled <math>l_{over}</math> and the total length is 100-150 mm. The thickness of the overlay is <math>t_{over}</math>.</p>	<p><b>Legende</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Dichtlaminat innen</li> <li>3 Überlaminat</li> <li>4 Traglaminat</li> </ol>
<p>Diagram showing a cross-section of a tank joint. The joint is formed by two overlapping layers (4) with a central sealant (2) and an inner sealant (1). A thin laminate (6) is applied over the joint, and the rest of the shell laminate (7) is applied over the thin laminate. The overlap length is labeled <math>l_{over}</math> and the total length is 100-150 mm. The thickness of the thin laminate is <math>t_{over}</math>.</p>	<p><b>Legende</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Dichtlaminat innen</li> <li>3 Überlaminat</li> <li>6 dünnes Laminat</li> <li>7 Rest des Schalenlaminats</li> </ol>
<p>Diagram showing a cross-section of a tank joint. The joint is formed by two overlapping layers (4) with a central sealant (2) and an inner sealant (1). An overlay (3) is applied over the joint. The overlap length is labeled <math>l_{over}</math> and the total length is 100-150 mm. The thickness of the overlay is <math>t_{over}</math>.</p>	<p><b>Legende</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Dichtlaminat innen</li> <li>4 Traglaminat</li> </ol>
<p>Diagram showing a cross-section of a tank joint. The joint is formed by two overlapping layers (4) with a central sealant (2) and an inner sealant (1). An inner overlay (3) is applied over the joint, and an outer overlay (3) is applied over the inner overlay. The overlap length is labeled <math>l_{over}</math> and the total length is <math>t_{over} = t_1 + t_2</math>. The thickness of the inner overlay is <math>t_1</math> and the thickness of the outer overlay is <math>t_2</math>.</p>	<p><b>Legende</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 inneres Überlaminat</li> <li>2 Harz/Pasten-Verfüllung (min)</li> <li>3 äußeres Überlaminat</li> <li>4 Traglaminat</li> </ol> <p><math>t_2 \geq 0,3 \times t_1</math></p>

Bild 23 — Typische Hauptverbindungsnahte bei Tanks und Behältern ohne thermoplastische Auskleidungen

Nur zum internen Gebrauch

	<p><b>Legende</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 alle Neigungen nicht steiler als 1 : 6</li> <li>2 alle Neigungen nicht steiler als 1 : 6</li> <li>3 Überlaminat</li> <li>4 Traglaminat</li> <li>5 thermoplastische Auskleidung</li> <li>6 leitfähige Schicht hinter Schweißnaht</li> </ol>
	<p><b>Legende</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 alle Neigungen nicht steiler als 1 : 6</li> <li>2 Überlaminat</li> <li>3 thermoplastische Auskleidung</li> <li>4 leitfähige Schicht hinter Schweißnaht</li> </ol>
	<p><b>Legende</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 alle Neigungen nicht steiler als 1 : 6</li> <li>2 alle Neigungen nicht steiler als 1 : 6</li> <li>3 Überlaminat</li> <li>4 dünnes Außenlaminat, 1,2 kg/m<sup>2</sup> bis 2,4 kg/m<sup>2</sup> Wirrfasermatte (min)</li> <li>5 thermoplastische Auskleidung</li> <li>6 leitfähige Schicht hinter Schweißnaht</li> <li>7 Rest des Schalenlaminats</li> </ol>

**Bild 24 — Typische Hauptverbindungsnahte bei Tanks und Behältern mit thermoplastischer Auskleidung**

**10.7.2 Ausführung ohne thermoplastische Auskleidung**

Ist der betreffende Bereich zugänglich, ist entsprechend der Darstellung in Bild 23, ein inneres Dichtlaminat aufzubringen, das entweder aus einer nicht tragenden Chemieschutzschicht oder mindestens zwei Schichten mit je 450 g/m<sup>3</sup> Wirrfasermatte bestehen muss, wobei die größere Dicke gilt und die Gesamtbreite des Dichtlaminates zwischen 100 mm und 150 mm liegen muss.

**10.7.3 Ausführung mit thermoplastischer Auskleidung**

Alle Thermoplast-Schweißnähte müssen vollständig durchgeschweißt sein, und sofern sie zugänglich sind, ist an der Innenseite der Auskleidung eine Dichtnaht anzubringen. Vor Aufbringen des Traglaminats sind sämtliche Schweißnähte mit einer leitfähigen Harz-/Laminatschicht zu überdecken, siehe Bild 24 sowie den Angaben hierzu bei der Ausführung von Flanschanschlüssen/Abzweigen nach 10.8.

**10.8 Öffnungen, Abzweige und Laminare zur Ausschnittsverstärkung**

**10.8.1 Allgemeines**

Öffnungen und Abzweige in Tanks/Behältern unter Außendruck sind entsprechend den Anforderungen für Tanks und Behälter unter Innendruck auszulegen, wobei an der Stelle des Abzweigs der höhere der beiden Druckwerte von Innendruck oder Außendruck anzusetzen ist.

Für den maximalen Durchmesser von Öffnungen in Zylinderschalen nach dieser Norm gilt  $d_c \leq 0,3 \cdot D$ . Öffnungen  $> 0,3 \cdot D$  sowie nicht runde Öffnungen, sind gesondert zu behandeln, müssen jedoch den grundlegenden Anforderungen dieser Norm entsprechen.

In gewölbten Böden müssen sämtliche Öffnungen innerhalb eines Kreises mit einem Radius  $\leq 0,4 \cdot D$  liegen. Für den maximalen Durchmesser von Öffnungen in gewölbten Böden nach dieser Norm gilt  $d_c \leq 0,5 \cdot D$ .

Abzweige dürfen möglichst nicht im Krepfenbereich eines gewölbten Bodens angeordnet sein; ist dies aus bestimmten Gründen nicht möglich, darf der Durchmesser des Abzweigs höchstens  $\sqrt{D \cdot t_k}$  betragen.

### 10.8.2 Symbole

$D$	Durchmesser der Schale
$d_c$	Durchmesser der Öffnung in Schale/Boden
$d_b$	Nenndurchmesser des Abzweigs
$d_r$	Außendurchmesser des Verstärkungslaminats = $(d_c + 2l_a)$
$t_c$	Dicke der Schale an der Stelle des Abzweigs
$t_1$	Dicke der Verstärkungsschichten, siehe Bilder 25 bis 33
$t_2$	Dicke der Verstärkungsschicht zur Erhöhung des Ausziehwidestands, siehe Bilder 25 bis 33
$t_3$	Dicke des inneren Überlaminats, siehe Bilder 25 bis 33
$t_k$	Krependicke des gewölbten Bodens
$U_d$	Grenzschnittlast des Laminates der Schale im Grenzzustand der Tragfähigkeit
$U_{d,c}$	Grenzschnittlast des Verstärkungslaminats im Grenzzustand der Tragfähigkeit bei $(\gamma_F \cdot A_5)$ -fachen Lasten, siehe 9.3.2
$X_d$	Einheitsmodul des Laminates der Schale
$X_{d,c}$	Einheitsmodul des Verstärkungslaminates
$\varepsilon_d$	Grenzdehnung $\varepsilon_{lim}$ des Schalenlaminates
$\varepsilon_{d,c}$	Grenzdehnung $\varepsilon_{lim}$ des Verstärkungslaminates
$t_a$	Dicke der an der Abzweigposition erforderlichen Gesamtverstärkung $(= t_c + t_1 + t_2)$
$l_a$	Länge der Verstärkungsschichten an einem Abzweig

### 10.8.3 Anforderungen die Ausschnittsverstärkungen von Öffnungen

Das Ausschnittsverstärkungslaminat muss die folgenden zwei Funktionen haben:

- Ausgleich des Tragfähigkeitsverlustes aufgrund des Einbringens einer Öffnung in den Tank oder Behälter; und
- Befestigung des Abzweigs am Tank oder Behälter unter Schubbeanspruchung.

Die Abzweige sind entsprechend einer der in den Bildern 25 bis 33 dargestellten Arten auszuführen.

Die Berechnung der Ausschnitte erfolgt mit der folgenden Gleichung. In Abhängigkeit von der Ausführung ist eine scheibenförmige Verstärkungsschicht um den Ausschnitt herum erforderlich.

Die maximale Schnittlast am Ausschnitt wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$n_{\max \phi, d, R} = n_{\phi, d, R} \cdot v_A \text{ oder } n_{\max \phi, d, \varepsilon} = n_{\phi, d, \varepsilon} \cdot v_A \quad (137)$$

$$n_{\max x, d, R} = n_{x, d, R} \cdot v_A \text{ oder } n_{\max x, d, \varepsilon} = n_{x, d, \varepsilon} \cdot v_A \quad (138)$$

Dabei ist  $v_A$  der Lastkonzentrationsfaktor, angegeben durch Gleichung (139):

$$v_A = 1,5 \cdot \left( 1 + \frac{d_c}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t_a}} \right) \quad (139)$$

und  $n_{i, d, R}$  oder  $n_{i, d, \varepsilon}$  ist 10.2.1 oder 10.2.2 zu entnehmen.

$$n_{\max, d, R} \leq U_{R, d} + U_{R, d, c} \text{ oder } n_{\max, d, \varepsilon} \leq \varepsilon_{d, c} \cdot X_{d, c} + \varepsilon_d \cdot X_d \quad (140)$$

Das nach 9.3.2 ausgewählte Laminat muss eine Tragfähigkeit nach Gleichung (140) aufweisen, die mindestens den nach Gleichung (137) und (138) berechneten Werten entspricht. Die Verstärkung muss mindestens aus 3 Schichten von 450 g/m<sup>2</sup> Wirrfasermatte bestehen.

Die Länge des Verstärkungslaminats (Schäftung 1 : 6) muss entweder 100 mm betragen oder  $l_a$  nach Gleichung (141) entsprechen, wobei der größere Wert gilt:

$$l_a = \sqrt{D \cdot t_a} - 3 \cdot (t_1 + t_2) \quad (141)$$

Dabei ist  $t_1 + t_2 = t_{\text{over}}$ .

Bei Ausschnitten  $\leq 150$  mm kann die Länge der Verstärkung 100 mm betragen.

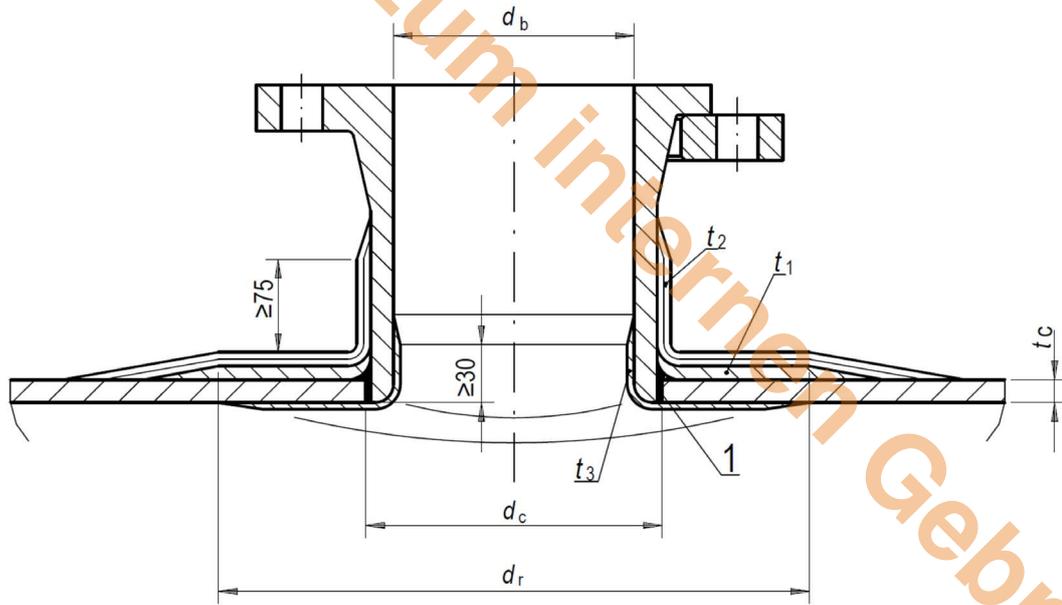
Die Mindestdicke des inneren überlappenden Laminats ohne Korrosionsschutzschicht am Abzweig von drucklosen Behältern und Tanks unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche, siehe Bilder 25 bis 33, muss Folgendem entsprechen:

$$t_3 \geq \frac{p_d \cdot d_c}{2 \cdot U_{R, d, c}} \quad (142)$$

Die Mindestwerte für die innere Verstärkung sind:

für $d_c \leq 50$ mm	$t_3 \geq 1 \times 300$ g/m <sup>2</sup> Wirrfasermatte
für $50 \text{ mm} < d_c \leq 150$ mm	$t_3 = 2 \times 450$ g/m <sup>2</sup> Wirrfasermatte
für $150 \text{ mm} < d_c < 400$ mm	$t_3 \geq 3 \times 450$ g/m <sup>2</sup> Wirrfasermatte
für $d_c \geq 400$ mm	$t_3 \geq 4 \times 450$ g/m <sup>2</sup> Wirrfasermatte

Maße in Millimeter

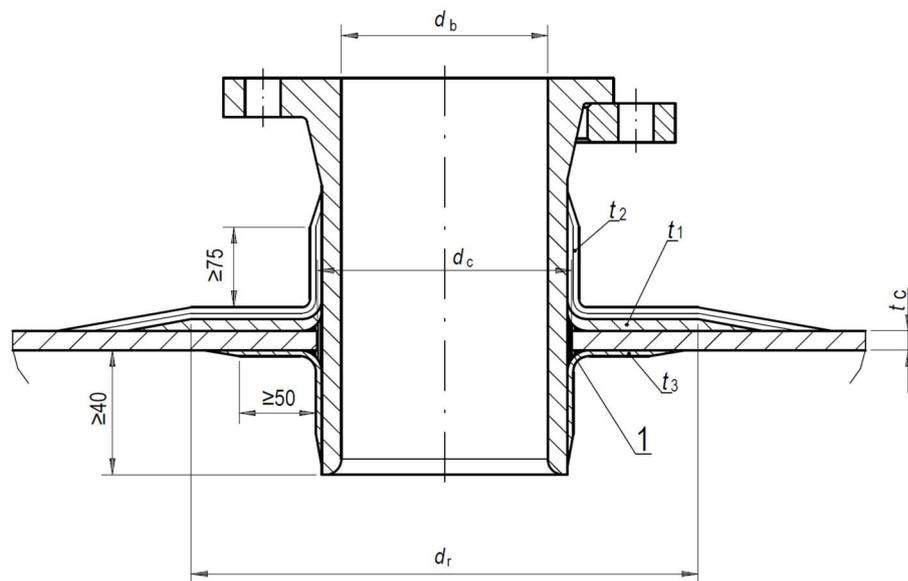


**Legende**

- 1 Glasfaser/Harz-Verfüllung

**Bild 25 — Abzweige — Bündig eingesetzter Abzweig ohne thermoplastische Auskleidung**

Maße in Millimeter

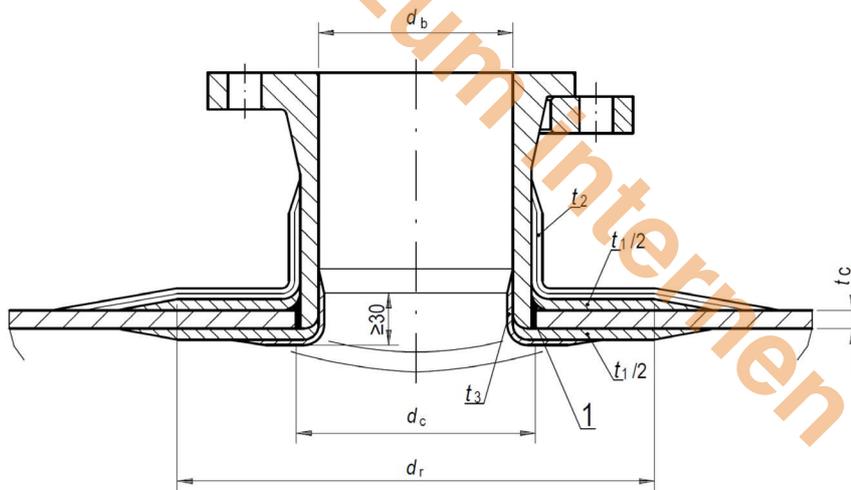


**Legende**

- 1 Glasfaser/Harz-Verfüllung

**Bild 26 — Abzweige — Durchgesteckter Abzweig ohne thermoplastische Auskleidung**

Maße in Millimeter

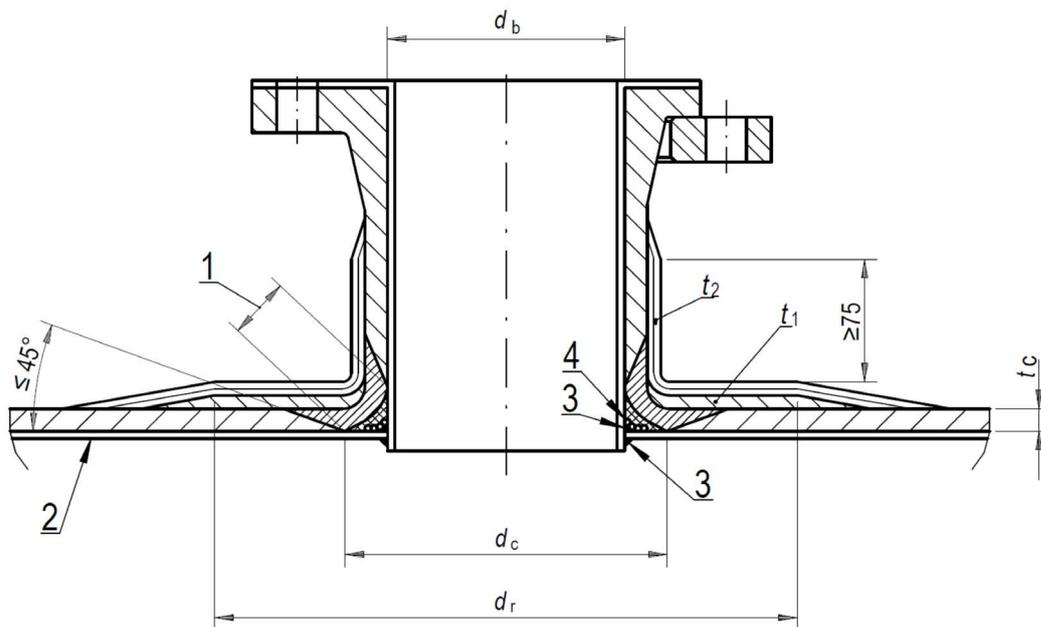


**Legende**

- 1 Traglaminat

**Bild 27 — Abzweige — Mit innerem und äußerem Überlaminat ohne thermoplastische Auskleidung**

Maße in Millimeter

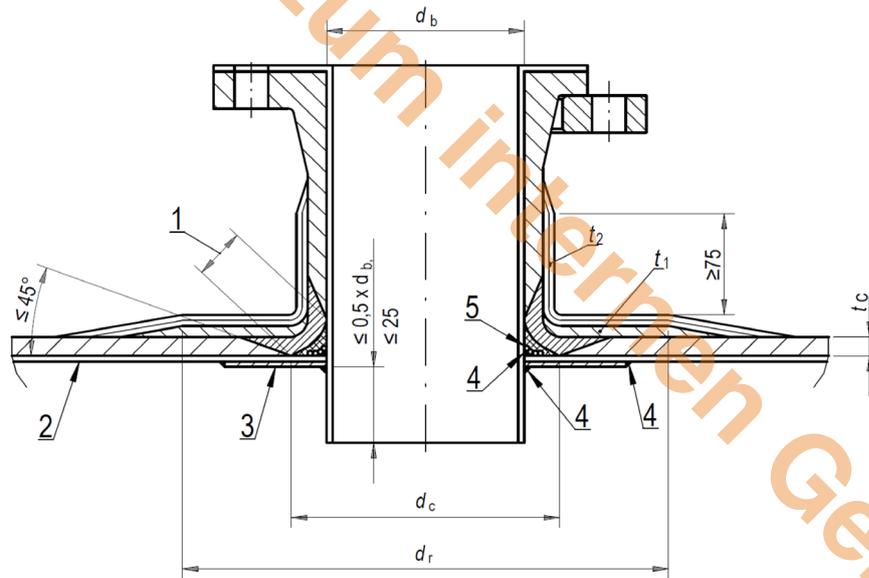


**Legende**

- 1 Laminat freigelegt, um das Anschweißen der Auskleidung zu ermöglichen; Bereich wird anschließend mit Glasfaser/Harz-Verfüllung wieder aufgefüllt (erforderliche Mindest-Spaltbreite für den Zugang und das Aufbringen einer leitfähigen Schicht)
- 2 thermoplastische Auskleidung
- 3 Schweißnähte innen und außen
- 4 leitfähige Schicht

**Bild 28 — Abzweige — Bündiger Abzweig mit thermoplastischer Auskleidung**

Maße in Millimeter

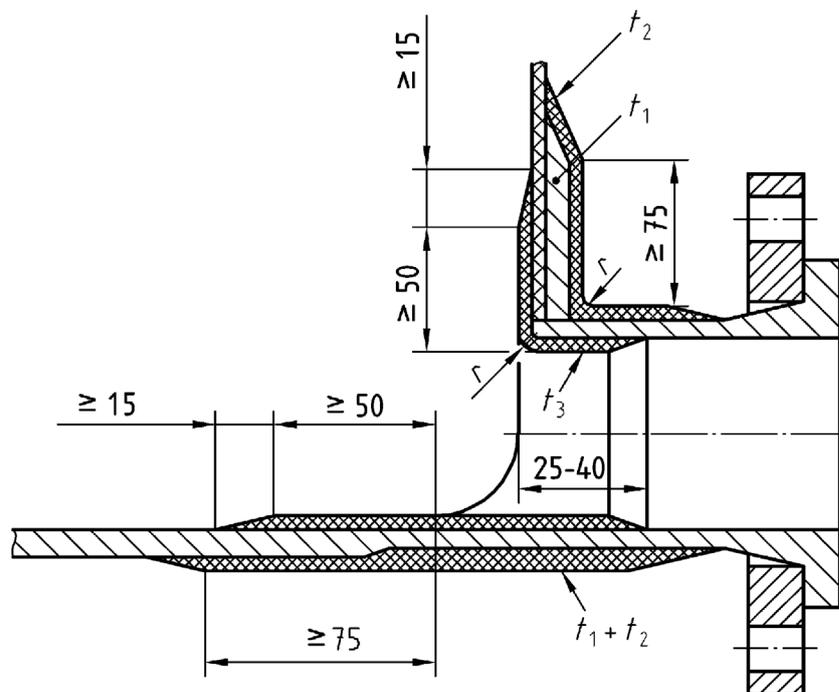


### Legende

- 1 Laminat freigelegt, um Anschweißen der Auskleidung zu ermöglichen; Bereich wird anschließend mit Glasfaser/Harz-Verfüllung wieder aufgefüllt (erforderliche Mindest-Spaltbreite für den Zugang und das Aufbringen einer leitfähigen Schicht)
- 2 thermoplastische Auskleidung
- 3 optionale Verstärkung aus Auskleidungswerkstoff PVC-U bis 60 °C, PP bis 80 °C
- 4 Schweißnähte
- 5 leitfähige Schicht

**Bild 29 — Abzweige — Durchgesteckter Abzweig mit thermoplastischer Auskleidung**

Maße in Millimeter



**Bild 30 — Abzweige — Bündiger Abzweig am Boden ohne Auskleidung**

Maße in Millimeter

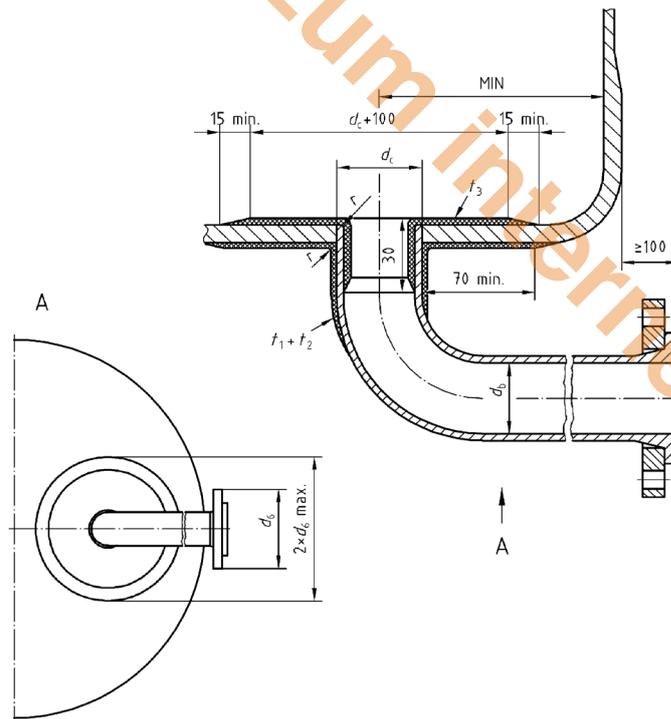
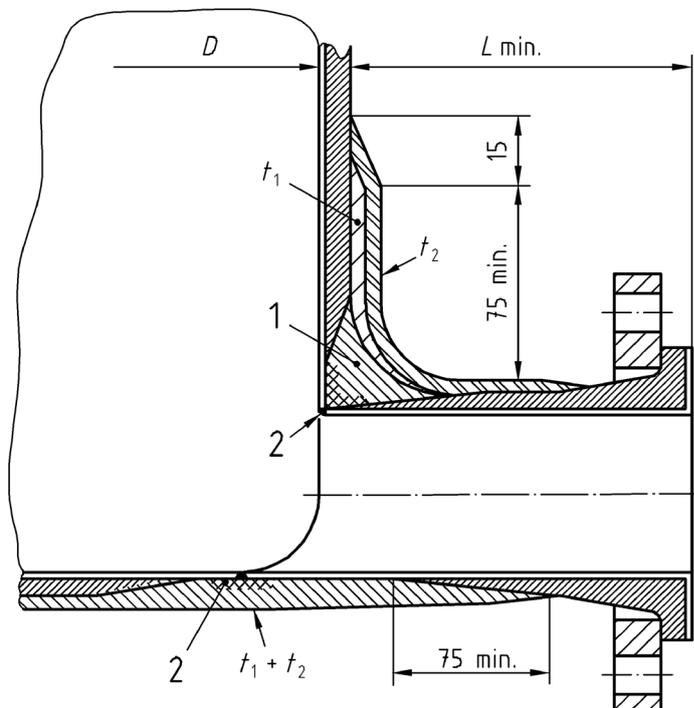


Bild 31 — Abzweige — Abzweig als Bodenauslass ohne thermoplastische Auskleidung

Maße in Millimeter



**Legende**

- 1 Glasfaser/Harz-Verfüllung (min.)
- 2 Schweißnähte und leitfähige Schicht

Bild 32 — Abzweige — Bündiger Abzweig am Boden mit thermoplastischer Auskleidung



Übersteigt die Einheitsausziehlast  $n_{b,d,R}$  die durch Prüfungen bestimmte interlaminare Schälfestigkeit der Laminatverbindung, ist der Abzweig neu zu berechnen. Bei Tanks oder Behältern ohne thermoplastische Auskleidungen lässt sich der Auszieh Widerstand mit dem in 10.8.3 festgelegten inneren Dichtungslaminat steigern.

## **10.8.6 Blockflanschverbindungen**

### **10.8.6.1 Allgemeines**

Blockflansche mit Stiftschrauben müssen den Mindestanforderungen nach 10.8.6.2 und 10.8.6.3 entsprechen und die in Bild 34 angegebenen Mindestmaße aufweisen. Sind hohe Momente durch die angeschlossene Rohrleitung zu erwarten, oder soll unmittelbar am Tank oder Behälter ein Ventil angebracht werden, ist der Flansch nach der maßgebenden Norm für Stahlbehälter auszulegen; er darf jedoch nicht bei Temperaturen von über 60 °C verwendet werden. Bei höheren Temperaturen ist die Lösung nach Bild 35 zu bevorzugen.

### **10.8.6.2 Stiftschrauben**

Die Stiftschrauben müssen aus einem Werkstoff bestehen, der bei Kontakt mit dem Inhalt des Tanks oder Behälters unerheblich korrodiert.

Die Befestigung der Stiftschrauben muss ausschließlich in einem Verstärkungsring aus Metall mittels folgender Verfahren erfolgen (siehe Bild 34):

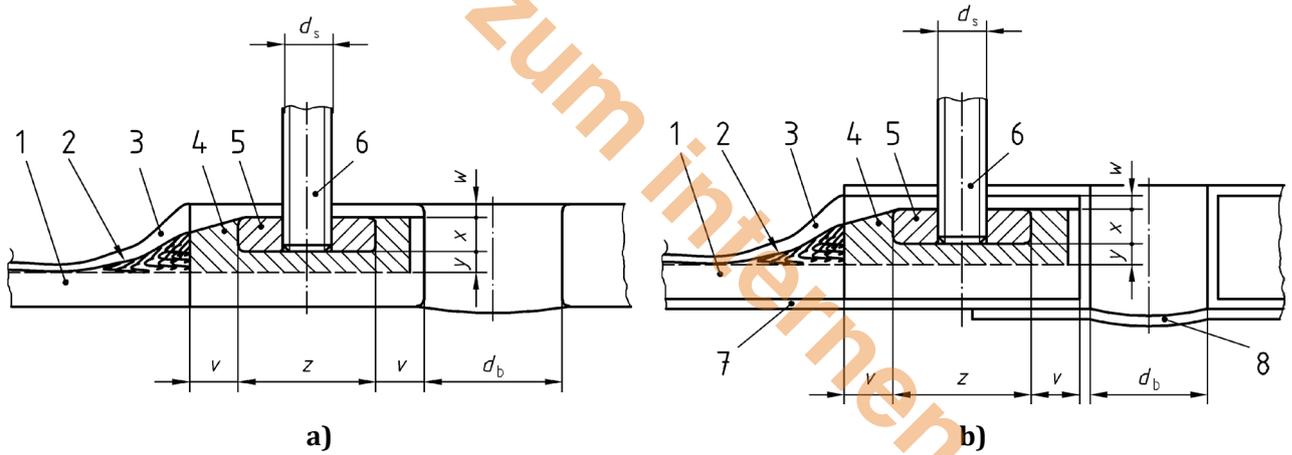
- a) Einschrauben;
- b) Einschrauben und Verschweißen.

Das Einschrauben ist anzuwenden, um ein Austauschen der Stiftschrauben zu ermöglichen, wenn eine Beschädigung der Schrauben im Betrieb wahrscheinlich oder eine maschinelle Bearbeitung der Dichtfläche erforderlich ist.

### **10.8.6.3 Metallringe**

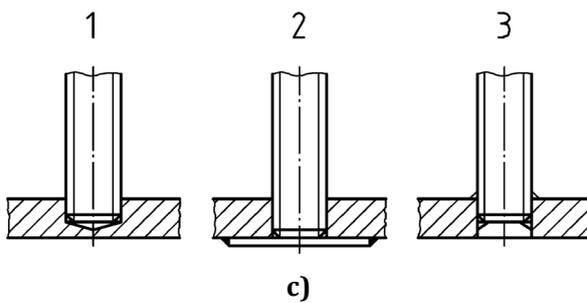
Die Maße des Metallrings müssen den Angaben in Bild 34 entsprechen, und die Stiftschrauben dürfen nicht über die innere Stirnfläche hinausragen. Bei Stiftschrauben, die nur eingeschraubt sind, müssen entweder Gewindefacklöcher im Ring oder alternativ innenseitig angeschweißte Metallplatten ein zu tiefes Einschrauben der Stiftschrauben verhindern.

Bevor der Metallring in den Blockflansch eingeklebt wird, ist er zu reinigen, um Zunder und Oberflächenablagerungen zu entfernen, und zu entfetten.



**Legende**

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1 Schalenlaminat              | 5 Ring                                      |
| 2 Neigung der Glas-Verfüllung | 6 Stiftschraube                             |
| 3 Überlaminat                 | 7 thermoplastische Auskleidung              |
| 4 feste Glas/Harz-Verfüllung  | 8 optionaler thermoplastischer Blockflansch |



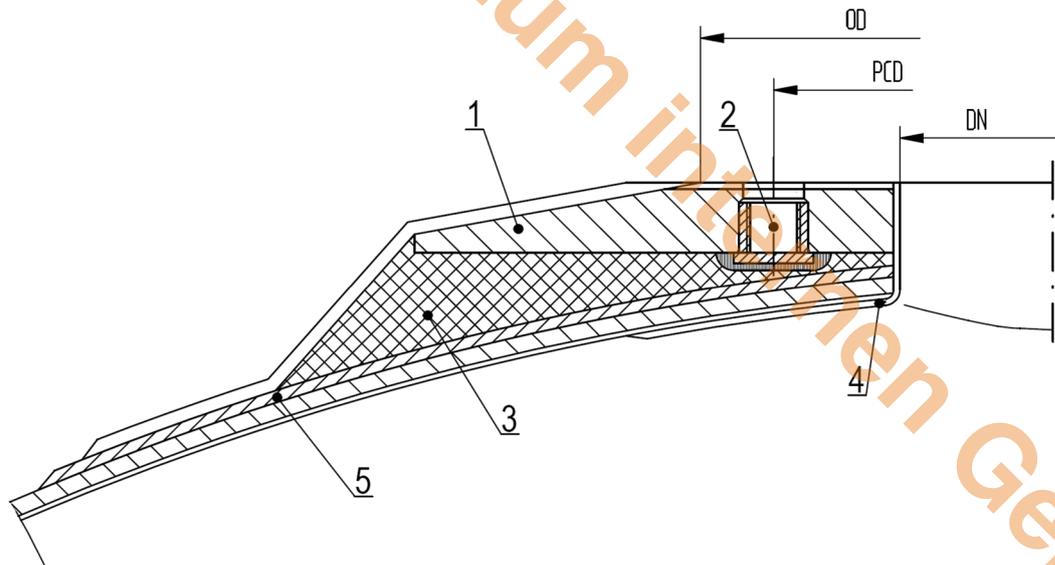
**Legende**

- |  |
|--|
| 1 in Gewindesackloch eingeschraubt             |
| 2 eingeschraubt mit angeschweißter Gegenplatte |
| 3 eingeschraubt und verschweißt                |

Abmessung	Mindestwerte
v	$d_s$
w	$0,75d_s$
x	$D_s + 3 \text{ mm}$
y	Dicke der Verstärkung, siehe 10.8.3
z	$3d_s$

**Bild 34 — Blockflansche für Behälter**

#### 10.8.6.4 Stiftschrauben mit Gewindebuchsen aus Stahl



#### Legende

- |   |                         |   |   |
|---|-------------------------|---|---|
| 1 | FRP                     | 4 | 3 × 450 g/m <sup>2</sup> Wirrfasermatte + Vlies |
| 2 | Gewindebuchse aus Stahl | 5 | Ausschnittsverstärkungslaminat der Öffnung      |
| 3 | Faserspachtelmasse      |   |   |

Bild 35 — Stiftschrauben mit Gewindebuchsen

#### 10.8.7 Schraubverbindungen

Schraubverbindungen, einschließlich Gewindenippeln und Gewindeabzweigen, dürfen nicht verwendet werden.

#### 10.8.8 Zugangs- und Inspektionsöffnungen

Sämtliche Tanks oder Behälter sind mit Inspektions- und/oder Zugangsöffnungen zu versehen, die so angeordnet sein müssen, dass sie eine Sichtprüfung des Tank- bzw. Behälterinneren ermöglichen.

#### 10.8.9 Verstärkungen an Abzweigen

Sämtliche Abzweige mit einem Innendurchmesser bis 80 mm sind mit kegelförmigen massiven Eckverstärkungen zu versehen, wenn der Überstand mehr als 200 mm beträgt und zusätzliche auf den Abzweig wirkende Kräfte zu erwarten sind. Die Verstärkungen sind erst nach der Fertigstellung von Trag- und Überlaminaten anzubringen (siehe Bilder 25 bis 33).

Die Länge der Schräge der kegelförmigen Verstärkungen muss mindestens dem Innendurchmesser des Abzweigs entsprechen, und die Dicke des Überlaminats über dem kegelförmigen Kern (entweder Spachtelmasse oder PU-Schaum) muss mindestens 3 mm betragen (siehe Bilder 25 bis 33).

### 10.9 Ebene Platten oder Blindflansche

#### 10.9.1 Allgemeines

Ebene Platten nach dieser Norm sind ausschließlich aus Werkstoffen mit isotropen Eigenschaften, wie z. B. Wirrfasermatte, oder mit orthotropen Eigenschaften, wie z. B. Wirrfasermatte/Gewebe, als Verstärkungsmaterial zu fertigen. Die Gleichungen in diesem Abschnitt beruhen sowohl auf der maximal

zulässigen Schnittlast auf der Tragschicht (Zug- oder Druckbeanspruchung) als auch auf der hier vorrangigen maximal zulässigen Durchbiegung vom 1,5fachen der Plattendicke  $t$ .

### 10.9.2 Symbole

$\beta$	Rechenbeiwert entsprechend der angenommenen Randeinspannung
$d_p$	Durchmesser einer runden Platte, über den der Druck einwirkt
$E_b$	Biegemodul des betreffenden Laminats, in N/mm <sup>2</sup>
$m_{p,d,R(\varepsilon)}$	Auslegungsmoment für Tragfähigkeit oder Dehnung, in Nm/m
$m_{W,d,R(\varepsilon)}$	Auslegungsmoment aufgrund örtlicher Last $W$ , in Nm/m
$r_0$	Radius der örtlichen Last
$r_p$	Radius der Platte oder bei gleichschenkelig dreieckigen Platten die Länge einer der beiden gleichen Seiten
$t$	Dicke der Platte
$t_{\min}$	durch die Durchbiegung begrenzte zulässige Mindestdicke
$W$	aufgebrachte örtliche Last, in N

### 10.9.3 Runde Platten

#### 10.9.3.1 Allgemeines

Die angegebenen Gleichungen gelten für innen liegende Dichtungen, die innerhalb des Lochkreises angeordnet sind. Für vollflächige Dichtungen sind die Gleichungen konservativ auf der sicheren Seite.

#### 10.9.3.2 Runde Platten unter Einwirkung einer gleichmäßig verteilten Last

Das Einheitsmoment  $m_p$  aufgrund einer gleichmäßig verteilten Last ist nach Gleichung (145) zu bestimmen:

$$m_{p,d,R} = \beta_1 \cdot d_p^2 \cdot p_{d,R} \quad \text{oder} \quad m_{p,d,\varepsilon} = \beta_1 \cdot d_p^2 \cdot p_{d,\varepsilon} \quad (145)$$

Dabei ist

$$p_{d,R} = PS \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p} + \sum p_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i}$$

$$p_{d,\varepsilon} = PS + \sum p_{e,i}$$

$\beta_1$  ein Rechenbeiwert mit den folgenden Werten:

$\beta_1 = 0,031\ 25$  für Randbedingung vom Typ 1 = fest eingespannt;

$\beta_1 = 0,051\ 6$  für Randbedingung vom Typ 2 = gelenkig gelagert;

$p_{e,i}$  jede andere Druckbelastung, z. B. Schnee- oder Windlast usw.

Für das gewählte Laminat ist die Tragfähigkeit oder Dehnungsgrenze nach Gleichung (146) zu bestimmen.

$$\frac{\sum m_{p,d,R} \cdot \frac{6}{t^2}}{f_{i,k} \cdot \gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \leq 1 \quad \text{oder} \quad \frac{\sum m_{p,d,R} \cdot \frac{6}{t}}{U_{lam,i,k} \cdot \gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \leq 1 \quad (146)$$

$$\frac{6 \cdot \sum m_{p,d,\varepsilon}}{E_{i,m} \cdot t^2} \leq \varepsilon_{lim} \quad \text{oder} \quad \frac{6 \cdot \sum m_{p,d,\varepsilon}}{X_{lam,i,m} \cdot t} \leq \varepsilon_{lim}$$

### 10.9.3.3 Runde Platten unter Einwirkung einer zentralen örtlichen Last

Das Moment  $m_{W,d}$  aufgrund der zentralen örtlichen Last  $W = p \cdot \pi \cdot r_o^2$  für eine einfach aufgelagerte ebene Platte ist nach Gleichung (147) zu bestimmen:

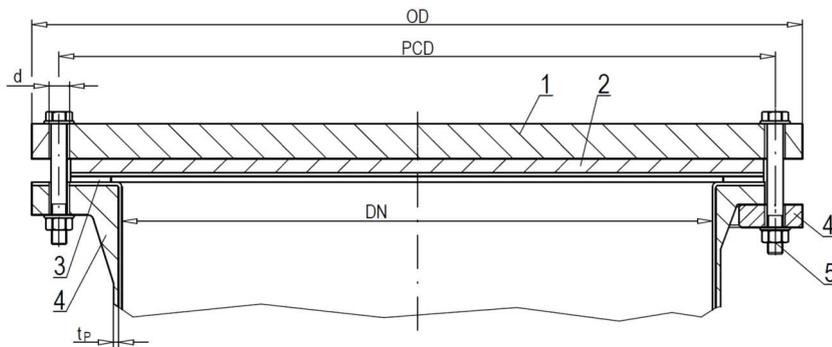
$$m_{W,d,R} = \frac{W_{d,R}}{4 \cdot \pi} \left[ \frac{(1 - \nu) \cdot \ln D}{2 \cdot r_o} + 1 \right] \quad (147)$$

bzw.

$$m_{W,d,\varepsilon} = \frac{W_{d,\varepsilon}}{4 \cdot \pi} \left[ \frac{(1 - \nu) \cdot \ln D}{2r_o} + 1 \right]$$

Für das gewählte Laminat ist die Tragfähigkeit oder Dehnungsgrenze nach Gleichung (146) zu bestimmen.

### 10.9.3.4 Blindflansche mit Stahl-Stützplatte



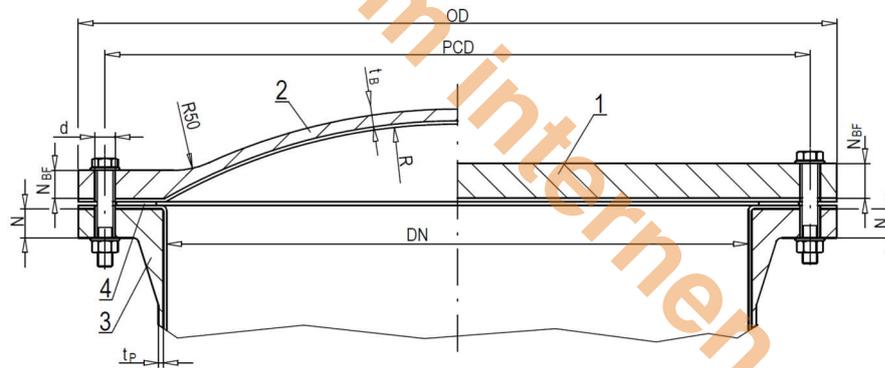
#### Legende

- |   |   |   |                               |
|---|---|---|-------------------------------|
| 1 | Stahl-Stützplatte                           | 4 | Losring aus Stahl             |
| 2 | Laminatdeckel (mit oder ohne Auskleidung)   | 5 | Schrauben oder Stiftschrauben |
| 3 | Dichtung innerhalb des Schraubenlochkreises |   |                               |

Bild 36 — Blindflansch mit Stahl-Stützplatte

10.9.3.5 Blindflansche mit GFK-Deckel

Maße in Millimeter



Legende

- |                                    |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| 1 ebene GFK-Deckelplatte           | 4 Dichtung      |
| 2 kugelförmig gewölbter GFK-Deckel | $N_{BF} \geq N$ |
| 3 GFK-Stützflansch                 |                 |

Bild 37 — Typische Ausführungsvarianten von GFK-Blindflanschen

a) Ebene Blindflansche

Das Einheitsmoment  $m_p$  aufgrund einer auf den ebenen Blindflansch wirkenden gleichmäßig verteilten Last ist nach Gleichung (148) zu bestimmen:

$$m_{p,d,R} = 0,053 \cdot p_{d,R} \cdot DN \cdot PCD \quad \text{oder} \quad m_{p,d,\varepsilon} = 0,053 \cdot p_{d,\varepsilon} \cdot DN \cdot PCD \quad (148)$$

Dabei ist

$$p_{d,R} = PS \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p} + \sum(p_{ei} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i}) \text{ für GFK}$$

$$p_{d,R} = PS \cdot \gamma_{F,p} + \sum(p_{ei} \cdot \gamma_{F,i}) \text{ für Stahl}$$

$$\text{bzw. } p_{d,\varepsilon} = PS + \sum p_{e,i} \text{ für GFK}$$

$DN$  der Nenndurchmesser des Blindflansches;

$PCD$  der Lochkreis des Blindflansches;

$p_{e,i}$  jede andere Drucklast, z. B. Wind- oder Schneelast usw.

Für das gewählte Laminat ist die Tragfähigkeit nach Gleichung (149) bzw. die Dehnungsgrenze nach Gleichung (150) zu bestimmen.

$$\frac{\sum m_{p,d,R} \cdot \frac{6}{t^2}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \leq 1 \quad \text{oder} \quad \frac{\sum m_{p,d,R} \cdot \frac{6}{t}}{U_{lam,i,k}} \leq 1 \quad (149)$$

$$\frac{6 \cdot \sum m_{p,d,\varepsilon}}{E_{i,m} \cdot t^2} \leq \varepsilon_{lim} \quad \text{oder} \quad \frac{6 \cdot \sum m_{p,d,\varepsilon}}{X_{lam,i,m} \cdot t} \leq \varepsilon_{lim} \quad (150)$$

Bei Stahl müssen die Anforderungen nach EN 1993-1-1 erfüllt sein.

Die Durchbiegung wird berechnet mit:

$$f = 0,049 \cdot \frac{p_{d,R} \cdot DN \cdot PCD^3 \cdot A_3}{E_b \cdot N_{BF}^3 \cdot \gamma_{F,p}} \leq 1,5 \cdot N_{BF} \quad (151)$$

Für den Winkel bei PCD gilt

$$\widehat{\phi} = 0,14 \cdot \frac{p_{d,R} \cdot DN \cdot PCD^2 \cdot A_3}{E_b \cdot N_{BF}^3 \cdot \gamma_{F,p}} \leq 0,025 \quad (152)$$

## b) Kugelförmig gewölbte Deckel

Gültigkeitsbedingung:  $R \leq DN$

Zur Erfüllung der Anforderungen an die Dichtheit bei der Bemessung des Deckelflansches siehe Abschnitt 11.

Für den kugelförmigen Abschnitt des Flansches/der Kugel gilt Folgendes:

Die Schnittlast  $n_{p,d}$  aufgrund auf den Flansch/die Kugel wirkender überlagerter Spannungen ist wie folgt zu bestimmen:

$$n_{p,d,R} = 1,5 \cdot p_{d,R} \cdot R \cdot \beta_e \quad \text{oder} \quad n_{p,d,\varepsilon} = 1,5 \cdot p_{d,\varepsilon} \cdot R \cdot \beta_e \quad (153)$$

$$\text{mit: } \beta_e = 2,18 - 0,593 \log \bar{x} + 0,381 (\log \bar{x})^2 - 0,12 (\log \bar{x})^3 + 0,4 (\log \bar{x})^4$$

$$\text{für } \bar{x} = \frac{t_B}{R} \cdot \sqrt{DN \cdot t_B} \leq 3$$

$$\text{und } \beta_e = 2,0 \text{ für } \bar{x} > 3$$

Für das gewählte Laminat ist die Tragfähigkeit nach Gleichung (154) oder die Dehnungsgrenze nach Gleichung (155) zu bestimmen.

$$\frac{\sum n_{p,d,R}/t_B}{\frac{f_{i,k}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4}} \leq 1 \quad \text{oder} \quad \frac{\sum n_{p,d,R}}{\frac{U_{lam,i,k}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4}} \leq 1 \quad (154)$$

$$\frac{\sum n_{p,d,\varepsilon}}{E_{i,m} \times t_B} \leq \varepsilon_{lim} \quad \text{oder} \quad \frac{\sum n_{p,d,\varepsilon}}{X_{lam,i,m}} \leq \varepsilon_{lim} \quad (155)$$

Zur Stabilitätsanalyse der Kugel siehe 10.5.3.

## 10.10 Liegende Behälter

### 10.10.1 Auflagertypen

Liegende Behälter dürfen auf zwei Arten aufgelagert werden:

- mit zwei oder mehr starren, in gleichen Abständen über die Länge des Behälters verteilten Sätteln mit einem Aufgewinkel von mindestens 120°;

- b) mit zwei oder mehr flexiblen Sätteln, auf denen der untere Bereich des Behälters mit seiner Unterseite über einen Winkelbereich von  $180^\circ$  aufliegt, oder mit zwei oder mehr an einer Tragkonstruktion befestigten Schlingen, die den Behälter ebenfalls über einen Winkelbereich von  $180^\circ$  umfassen.

Diese zwei Ausführungen sind schematisch in den Bildern 38 und 39 dargestellt.

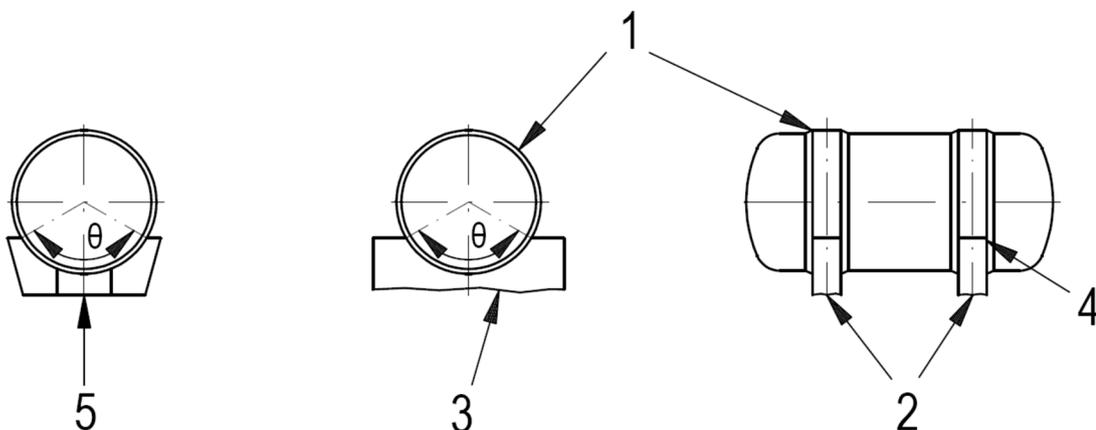
Bei Tanks und Behältern auf zwei oder mehr Sätteln kann eines der zwei folgenden Auslegungsverfahren angewendet werden: Entweder die Analyse für starre Tragsättel (siehe 10.10.4.2/10.10.4.3.2) oder die Analyse für flexible Tragsättel (siehe 10.10.4.3.3). Diese beiden Auslegungsverfahren unterscheiden sich lediglich insofern, als sich je nach angewendetem Verfahren und Art der Auflagerung für die Schale im Bereich des Sattels eine unterschiedliche Lastverteilung ergibt.

Die Gleichungen zur Berechnung der statischen Beanspruchung in Form von Biegemomenten, Schubkräften und Sattelreaktionskräften sind bei beiden Verfahren gleich.

Viele der Gleichungen enthalten Faktoren, die auf experimentellem Wege oder anhand streng analytischer Verfahren bestimmt worden sind; die betreffenden Quellen sind jeweils für die Durchgängigkeit angegeben.

Für die Anwendung dieser Norm gelten für die zwei Arten der Sattelausführung die folgenden Begriffsbestimmungen:

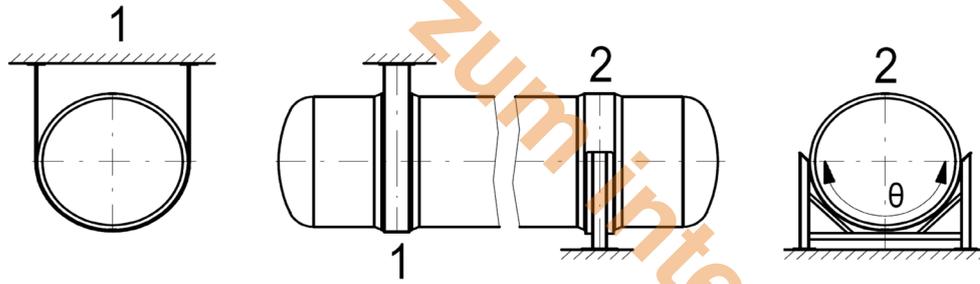
- c) Bei einem starren Sattel ist der Auflagerbereich starr und kann fest mit der Behälterschale verbunden sein. Derartige Sättel sind gewöhnlich als massive Stahlkonstruktion oder als vorgegossenes Betonteil ausgeführt.
- d) Bei einem flexiblen Sattel liegt der Behälter mit seinem Auflagerbereich in einem flexiblen Sattellagerblech, sodass sich Sattel und Behälter gemeinsam verformen können.



#### Legende

- |   |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
| 1 | Versteifungsringe, soweit erforderlich | 4 | Sattelkanten abgerundet |
| 2 | Sattel $\theta > 120^\circ$            | 5 | starrer Stahlsattel     |
| 3 | starrer Sattel aus Beton               |   |                         |

**Bild 38 — Typische Arten der Auflagerung für liegende Tanks und Behälter mittels starrem Sattel**



### Legende

- 1 Aufhängung an Schlingen  $\theta \geq 180^\circ$   
2 flexibler Stahlsattel  $\theta \geq 180^\circ$

### Bild 39 — Typische Arten der Auflagerung für liegende Tanks und Behälter mittels flexiblen Sätteln

Die Unterstüzungen müssen so konzipiert sein, dass eine freie horizontale Bewegung und eine unbehinderte Ausdehnung des Behälters möglich sind.

Sind mehr als zwei Tragsättel erforderlich, können die Stützkräfte anhand einer Durchlaufträgeranalyse oder von Verformungsenergie-Berechnungsverfahren ermittelt werden; allerdings müssen bei Anwendung dieser analytischen Verfahren etwaige Unterschiede in der Höhe der Tragsättel ausreichend berücksichtigt werden. Bei der Bauausführung sind die der Analyse zu Grunde liegenden Bedingungen der Abstützung vollständig zu reproduzieren.

Sind starre Sättel weder fester Bestandteil des Behälters noch fest damit verbunden, muss zwischen Sattel und Behälter eine mindestens 4 mm dicke elastische Zwischenlage entweder aus Gummi oder einem Polstermaterial mit geringem E-Modul eingelegt werden.

### 10.10.2 Symbole

$A$	der Abstand zwischen Mittelpunkt des Tragsattels und Ende des zylindrischen Behälterabschnitts;
$H_i$	die Höhe des gewölbten Bodens;
$b_1$	die Breite des Tragsattels;
$E_{x,b}, E_{\phi,b}$	die E-Moduln des Laminats ( $N/mm^2$ ) in axialer bzw. Umfangsrichtung unter Biegebeanspruchung;
$E_x, E_\phi$	die E-Moduln des Laminats ( $N/mm^2$ ) in axialer bzw. Umfangsrichtung unter Zugbeanspruchung;
$\phi$	die Koordinatenachse in Umfangsrichtung;
$I$	das Flächenträgheitsmoment des Behälters an der untersuchten Stelle entspricht $\pi \times D^3 \times t/8$
$K_1$ bis $K_{11}$	im Text definierte Beiwerte;
$L_s$	der Abstand zwischen Auflagern oder Versteifungen;
$L_{cyl}$	die Länge des zylindrischen Behälterabschnitts;
$L$	entspricht in den Gleichungen $L_{cyl}$ ;
$n_x, n_\phi$	die Schnittlasten in axialer bzw. Umfangsrichtung;
$n_{x,h}$	die waagerechte Schnittlast;
$n_{x,v}$	die senkrechte Schnittlast;

$n_{\phi m}$	die Membranschnittlast in Umfangsrichtung;
$n_{\phi b}$	die Schnittlast aus Biegung;
$PS_{op}$	maximal Innendruck;
$PS_{ep}$	maximaler Außendruck;
$\theta$	der Gesamtumschlingungswinkel des Tragsattels;
$\varepsilon_{\phi}$	die Dehnung in Umfangsrichtung;
$\varepsilon_x$	die Dehnung in axialer Richtung;
$Q$	die Schubkraft am untersuchten Abschnitt;
$2 \cdot W_1 = W_t$	das auf die Sättel einwirkende Gesamtgewicht des liegenden Behälters, einschließlich seines Inhalts;
$X$	die Koordinatenachse in axialer Richtung;
$W$	die Lastverteilung.

ANMERKUNG Die Indizes 1, 2, 3... kennzeichnen bestimmte im Text angegebene Werte in der Analyse.

### 10.10.3 Auf die Zylinderschale wirkende Schnittlasten

#### 10.10.3.1 Schnittlasten in Umfangsrichtung aufgrund von Druck

Die Einheitsbemessungslasten sind wie folgt zu bestimmen:

Belastung aufgrund der Behältermasse, siehe folgende Gleichung:

$$n_{\phi b,d,R} = 0,15 \cdot \rho \cdot g \cdot L_s^2 \cdot A_5 \cdot \gamma_{F,w} \quad \text{oder} \quad n_{\phi b,d,\varepsilon} = 0,15 \cdot \rho \cdot g \cdot L_s^2 \quad (156)$$

Dabei ist  $L_s$  der Abstand zwischen zwei Sattelauflegern.

Die Last aufgrund des Behälterinhalts und des Drucks ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$n_{\phi m,d,R} = (2 \cdot PS_{op} \cdot \gamma_{F,p} + \rho \cdot g \cdot D(1 - \cos\phi) \cdot \gamma_{F,w}) \cdot \frac{D \cdot A_5}{4}$$

oder

$$n_{\phi m,d,\varepsilon} = (2 \cdot PS_{op} + \rho \cdot g \cdot D(1 - \cos\phi)) \cdot \frac{D}{4} \quad (157)$$

Die maximalen Zuglasten treten bei  $\phi = 90^\circ$  auf, wenn der Behälter zur Hälfte gefüllt ist; dies ist an der Unterseite des Behälters der Fall, und wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

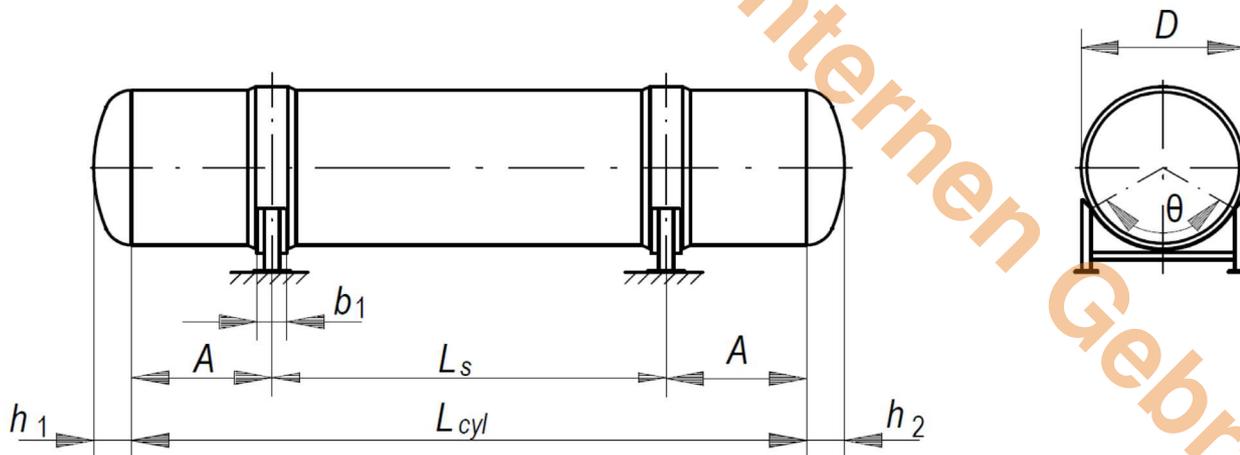
$$n_{\phi,d,R} = n_{\phi b,d,R} + n_{\phi m,d,R} \quad \text{oder} \quad n_{\phi,d,\varepsilon} = n_{\phi b,d,\varepsilon} + n_{\phi m,d,\varepsilon} \quad (158)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

### 10.10.3.2 Schnittlasten in axialer Richtung und Querkräfte bei symmetrischer Auflagerung auf zwei Sätteln

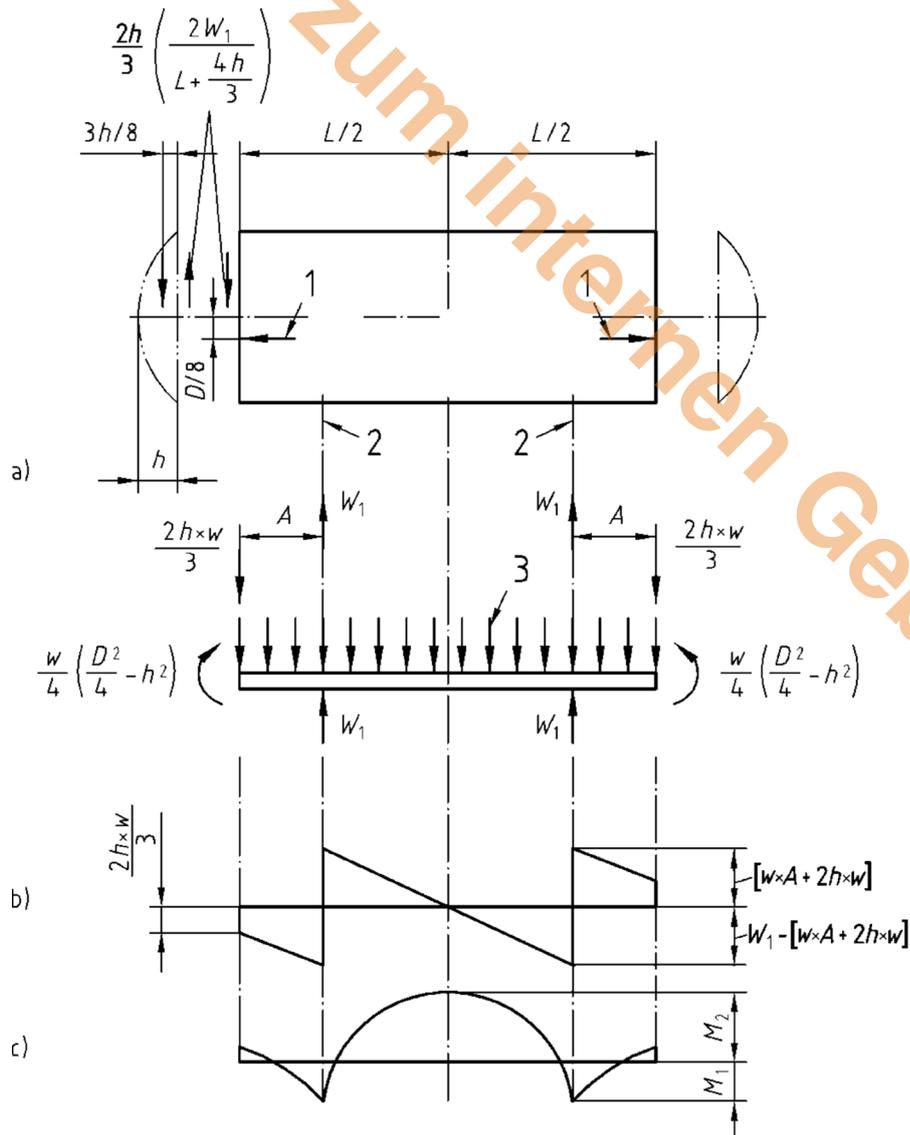
#### 10.10.3.2.1 Allgemeines

Auflagerung des Behälters auf zwei Auflagern wie in Bild 40 dargestellt.



**Bild 40 — Behälter auf zwei Auflagern**

Die entsprechenden Diagramme für Biegemomente und Schubkraft sind in Bild 41 dargestellt.



### Legende

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| a) Lasten und Auswirkungen | 1 an den Böden wirkende Last aufgrund hydrostatischen Drucks = $\frac{wD}{2}$ |
| b) Schubkraftdiagramm      | 2 Auflagermittellinie   |
| c) Biegemomentdiagramm     | 3 Lastverteilung $W = \left( \frac{2W_1}{L + \frac{4h}{3}} \right)$           |

**Bild 41 — Zylindrischer Behälter, der sich wie ein Träger auf zwei Auflagern verhält**

Die Abmessung  $\frac{3h}{8}$  ist ein Näherungswert für den Abstand von der Tangentialebene zum Schwerpunkt des gewölbten Bodens und seines Beschickungsguts für alle Behälter mit gewölbten Böden nach dieser Europäischen Norm.

### 10.10.3.2.2 Bestimmung des Biegemoments in Längsrichtung

Die Ermittlung des Längsbiegemoments ist nach der Balkentheorie unter Berücksichtigung des Eigengewichtes, des Füllgutes und der Drücke durchzuführen. Bei dieser Analyse werden das Eigengewicht, das Füllgewicht und die Drücke entsprechend berücksichtigt.

Nach Bild 41 wird das Biegemoment am Auflager wie folgt berechnet:

$$M_1 = \frac{w}{4} \cdot \left( \frac{D^2}{4} - h^2 - 2 \cdot A^2 - \frac{8 \cdot h \cdot A}{3} \right) \quad (159)$$

und das Biegemoment in der Mitte zwischen den beiden Auflagern ergibt sich aus:

$$M_2 = \frac{w}{8} \cdot \left[ L^2 + \frac{D^2}{2} - 2 \cdot h^2 - 4 \cdot L \cdot A - \frac{16 \cdot h \cdot A}{3} \right] \quad (160)$$

Dabei ist

$$w = \frac{2 \cdot W_1}{L + \frac{4 \cdot h}{3}} \quad (161)$$

### 10.10.3.2.3 Axiale Schnittlast in der Mitte zwischen den Auflagern

Neben der Belastung in Form des Gesamt-Biegemoments unterliegt der Behälter auch axialen Lasten aufgrund des Drucks an den Enden des Behälters, die eine axiale Schnittlast  $n_{xp}$  ergeben, welche wie folgt berechnet wird:

$$n_{x,p,d,R} = \frac{p_{d,R} \cdot D}{4} \quad \text{oder} \quad n_{x,p,d,\varepsilon} = \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot D}{4} \quad (162)$$

$$\text{Dabei ist} \quad p_{d,R} = PS_{op} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p} + \sum(p_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i})$$

$$\text{bzw.} \quad p_{d,\varepsilon} = PS_{op} + \sum p_{e,i}$$

Dabei ist  $p_e$  jede andere Drucklast, hier: hydrostatischer Flüssigkeitsdruck.

Für die axiale Stabilität gilt  $p_{d,cr} = 0$  aufgrund von Unter- oder Außendruck.

Das Biegemoment aufgrund von Gewicht-, Erdbeben- oder Schneelasten (Windlast ist vernachlässigbar) wird entsprechend der jeweiligen örtlich nationalen Norm ermittelt:

$$n_{x,M,d,R} = \frac{4 \cdot M_{d,R}}{\pi \cdot D^2} \quad \text{oder} \quad n_{x,M,d,\varepsilon} = \frac{4 \cdot M_{d,\varepsilon}}{\pi \cdot D^2} \quad \text{oder} \quad n_{x,M,d,cr} = \frac{4 \cdot M_{d,cr}}{\pi \cdot D^2} \quad (163)$$

$$\text{Dabei ist} \quad M_{d,R} = M_2 \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,w} + \sum(M_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i})$$

$$\text{bzw.} \quad M_{d,\varepsilon} = M_2 + \sum M_{e,i}$$

Für den Nachweis der axialen Stabilität gilt  $M_{d,cr} = M_2 \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,w} + \sum(M_{e,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i})$

Dabei ist  $M_e$  jedes andere Biegemoment.

In Wirklichkeit verhält sich der Behälter nicht wie ein Balken, sondern wie eine Schale. Aus diesem Grund werden die Balkenbelastungen mit den Beiwerten  $K_7$  und  $K_8$  erhöht. Die Beiwerte  $K_7$  und  $K_8$  werden mit den folgenden Gleichungen berechnet.

Der Beiwert  $K_7$  für Zugbelastung lautet:

$$K_7 = \left( 1,385 - 0,476 \cdot \frac{L_s}{D} + 0,24 \cdot \left( \frac{L_s}{D} \right)^2 - 0,024 \cdot \left( \frac{L_s}{D} \right)^3 \right) \geq 1 \quad (164)$$

und für Drucklasten:

$$K_8 = \left( 2,71 + \frac{D}{600 \cdot t} - 1,376 \cdot \frac{L_s}{D} + 0,308 \cdot \left( \frac{L_s}{D} \right)^2 - 0,024 \cdot \left( \frac{L_s}{D} \right)^3 \right) \geq 1 \quad (165)$$

Somit wird die maximale axiale Last  $n_x$  wie folgt berechnet:

$$\text{höchster Punkt: } n_{x1,d,R} = n_{x,p,d,R} - n_{x,M,d,R} \cdot K_8 \quad (166)$$

$$\text{niedrigster Punkt: } n_{x2,d,R} = n_{x,p,d,R} + n_{x,M,d,R} \cdot K_7 \quad (167)$$

$$\text{Dehnung: } n_{x,d,\varepsilon} = n_{x,d,\varepsilon} + n_{x,M,d,\varepsilon} \cdot K_7 \quad (168)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Für die Schaleninstabilität (d. h. Axialdruckbelastung) gilt:

$$n_{x,d,cr} = n_{x,M,d,cr} \cdot K_8 - n_{x,p,d,cr} \quad (169)$$

Der Höchstwert für  $n_{x,d,cr}$  muss auch auf Übereinstimmung mit den Stabilitätskriterien nach 10.3 überprüft werden.

#### 10.10.3.2.4 Axiale Schnittlast an den Sattelauflagern

Die axiale Schnittlast an den Sattelauflagern aufgrund von  $M_1$  wird berechnet unter der Annahme, dass nur ein Teil des Schalenquerschnitts am Sattelauger wirksam ist.

Die axialen Belastungen werden wie folgt berechnet:

$$n_{x,M,d,R} = \frac{4 \cdot M_{d,R}}{\pi \cdot D^2} \quad \text{oder} \quad n_{x,M,d,\varepsilon} = \frac{4 \cdot M_{d,\varepsilon}}{\pi \cdot D^2} \quad \text{oder} \quad n_{x,M,d,cr} = \frac{4 \cdot M_{d,cr}}{\pi \cdot D^2} \quad (170)$$

Dabei ist  $M_{d,R} = M_1 \cdot A_{5,1} \cdot \gamma_{F,w} + \sum (M_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i})$  bzw.  $M_{d,\varepsilon} = M_1 + \sum M_{e,i}$

Für die axiale Stabilität gilt  $M_{d,cr} = M_1 \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,w} + \sum (M_{e,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i})$

$$\text{höchster Punkt: } n_{x1,d,R} = n_{x,p,d,R} - n_{x,M,d,R}/K_1 \quad (171)$$

$$\text{niedrigster Punkt: } n_{x2,d,R} = n_{x,p,d,R} + n_{x,M,d,R}/K_2 \quad (172)$$

$$\text{Dehnung: } n_{x,d,\varepsilon} = n_{x,d,\varepsilon} + n_{x,M,d,\varepsilon}/K_2 \quad (173)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

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

$$n_{x,d,cr} = n_{x,M,d,cr}/K_2 - n_{x,p,d,cr} \quad (174)$$

Die Auslegungsfaktoren  $K_1$  und  $K_2$  sind Tabelle 16 zu entnehmen.

Tabelle 16 — Auslegungsfaktoren  $K_1$  und  $K_2$

Bedingung	Umschlingungswinkel $\theta$	$K_1$	$K_2$
Schale mit Boden oder Ringen versteift, d. h. $A < \frac{D}{4}$ oder Versteifungsringe vorhanden	bis zu 180	$1/K_7$	$1/K_8$
Schale nicht mit Boden oder Ringen versteift, d. h. $A > \frac{D}{4}$ und keine Versteifungsringe vorhanden [6]	120	0,107	0,192
	135	0,132	0,234
	150	0,161	0,279
	165	0,193	0,328
	180	0,229	0,380

### 10.10.3.3 Schubkräfte

Die Verteilung der Querkräfte in der Schale ist für Behälter auf zwei Auflagern nach Bild 41 zu ermitteln und für Behälter, die auf mehr als zwei Tragsätteln ruhen, aus der entsprechenden Durchlaufträgeranalyse des Balkens.

Für die Ausführung mit zwei Tragsätteln gilt für die maximal zulässigen Querkräfte  $Q_d$  am Tragsattel:

Die Schublast an der freitragenden Seite des Sattels wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$Q_{d,R} = w \cdot \left( A + \frac{2 \cdot h}{3} \right) \cdot A_5 \cdot \gamma_{F,w} \quad \text{oder} \quad Q_{d,cr} = w \cdot \left( A + \frac{2 \cdot h}{3} \right) \cdot \sqrt{A_5} \cdot \gamma_{F,w} \quad (175)$$

Und die Schublast zwischen den Sätteln an der Auflagerseite wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$Q_{d,R} = w \cdot \left( \frac{L}{2} - A \right) \cdot A_5 \cdot \gamma_{F,w} \quad \text{oder} \quad Q_{d,cr} = w \cdot \left( \frac{L}{2} - A \right) \cdot \sqrt{A_5} \cdot \gamma_{F,w} \quad (176)$$

Dabei ist  $w$  aus 10.10.2 entnommen.

Der Sattelbereich darf entweder versteift (d. h. Anbringen von Versteifungsringen an der Schale oder Anordnung der Tragsättel nahe den Behälterenden) oder ohne Versteifungen ausgeführt werden (d. h. als glatter Zylinder).

Bei versteiften Schalen gilt entweder  $A \leq \frac{D}{4}$  oder sie müssen in der Sattellebene mit Ringen versteift sein; alle anderen Schalen gelten als unversteift.

In beiden Fällen muss die gesamte Querschnittsfläche der Schale zur Verfügung stehen, um die auftretenden Schubkräfte aufzunehmen.

Die Schubspannung  $\tau$  für den Höchstwert  $Q_{d,R}$  wird mit Gleichung (177) berechnet, wobei  $K_3$  Tabelle 17 zu entnehmen ist.

$$\tau_{d,R} = \frac{2 \cdot Q_{d,R} \cdot K_3}{D \cdot t} \quad (177)$$

Tabelle 17 — Auslegungsfaktor  $K_3$  [6]

Bedingung	Umschlingungswinkel	$A > \frac{D}{4}$	$A < \frac{D}{4}$
	$\theta$ °	$K_3$	$K_3$
Schalen nicht mit Ringen versteift und Schalen mit Ringen neben den Tragsätteln versteift	120	1,171	0,880
	135	0,958	0,654
	150	0,799	0,485
	165	0,675	0,357
	180	0,577	0,260
Schale in Sattellebene mit Ringen versteift	bis zu 180	0,319	0,319

Für  $f_{v,k} = \tau_k = 60 \text{ N/mm}^2$  gilt Folgendes:

$$\frac{\tau_{d,R}}{\frac{\tau_k}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4}} \leq 1 \quad (178)$$

Liegt der Messwert für die Schubfestigkeit des Laminats vor, kann dieser statt  $60 \text{ N/mm}^2$  in vorstehende Gleichung eingesetzt werden.

#### 10.10.3.4 Ausbeulung unter Schublast

Im Auflagebereich kann es zu Ausbeulungen unter Schublast kommen, die kritische Beul-Schubfestigkeit ist mit Gleichung (179) und die angewendete Schubfestigkeit mit Gleichung (180) zu ermitteln, wobei der maximale Wert der Schubkraft  $Q$  an der betrachteten Auflagerstelle anzusetzen ist.

$$\tau_{cr} = k_q \cdot (E_x^3 \cdot E_{\phi,b}^5)^{0,125} \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^{1,25} \cdot \left(\frac{D}{L_s}\right)^{0,5} \quad (179)$$

Dabei ist  $k_q = 1,31$  für  $\tau = \text{konstant}$  in Umfangs- und Längsrichtung (Torsion);

$k_q = 14$  für  $\tau = \tau_{\max} \cdot \sin\varphi$ ;  $\varphi = 0$  am höchsten Punkt (Biegung).

$$\tau_{d,cr} = \frac{2 \times Q_{d,cr} \times K_3}{D \times t} \quad (180)$$

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\left( \frac{\tau_{d,cr}}{\tau_{cr} / (\gamma_m \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \right) \leq 1 \quad (181)$$

### 10.10.3.5 Stabilität der Schale

Die Stabilität der Schale ist entsprechend den maßgebenden Anforderungen nach 10.3 zu überprüfen, wobei die maximale Einheitsdruckbelastung in der Schale bei einer Drucklast von null oder einem negativen Druck vorliegt; dabei ist 10.10.3.2.3 oder 10.10.3.2.4 anzuwenden.

Liegt auch ein Außendruck vor, gilt:

$$p_{d,cr} = PS_{ep} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,p} + p_{wind} \cdot \gamma_{F,p}$$

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\left( \frac{n_{x,d,cr}}{n_{cr}/(\gamma_m \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \right)^{1,25} + \left( \frac{p_{d,cr}}{p_{cr}/(\gamma_m \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \right)^{1,25} \leq 1 \quad (182)$$

Die kritische radiale Beullast  $p_{cr}$  ist nach 10.3.3 und die kritische axiale Beullast  $n_{cr}$  ist nach 10.3.2 zu bestimmen. Ergeben sich für die Schalenwanddicke unzulässig hohe Werte, kann der Behälter im Bereich der Sättel mit Ringen versteift werden. Tabelle 16 zeigt die Größenordnung der möglichen Änderungen gegenüber den Werten  $K_1$  und  $K_2$ .

### 10.10.3.6 Schnittlasten in axialer Richtung und Querkräfte bei Auflagerung eines Behälters auf drei oder mehr Sätteln

Für Behälter auf drei oder mehr Sattelschalen ist für die Analyse die Balkentheorie anzuwenden. Die maximalen Schnittlasten, Zug und Druck, sind in den Gleichungen (183) und (184) gegeben:

$$n_{x,d,R} = 0,25 \cdot p \left\{ PS_{op} \cdot D \cdot \gamma_{F,p} + \rho \cdot g \cdot \left( \frac{D^2}{2} + 0,125 \cdot (4 \cdot L_s^2 + D^2) \cdot K_7 \right) \cdot \gamma_{F,w} \right\} \cdot A_5 \quad (183)$$

$$\text{oder } n_{x,d,\varepsilon} = 0,25 \cdot \left\{ PS_{op} \cdot D + \rho \cdot g \cdot \left( \frac{D^2}{2} + 0,125 \cdot (4 \cdot L_s^2 + D^2) \cdot K_7 \right) \right\}$$

$$n_{x,d,cr} = 0,25 \cdot \left\{ PS_{op} \cdot D \cdot \gamma_{F,p} + \rho \cdot g \cdot \left( \frac{D^2}{2} - 0,125 \cdot (4 \cdot L_s^2 + D^2) \cdot K_8 \right) \cdot \gamma_{F,w} \right\} \cdot \sqrt{A_5} \quad (184)$$

Für den Nachweis der axialen Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Die Höchstwerte der Drucklast aus vorstehender Gleichung müssen auf Schalenstabilität überprüft werden, siehe kritische axiale Last  $n_{cr}$  in 10.3.2.

Die maximale Schubkraft und die entsprechenden Schubspannungen werden mit Gleichung (185) berechnet:

$$Q_{d,R} = 0,156 \cdot \rho \cdot g \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L_s \cdot A_5 \cdot \gamma_{F,w} \quad (185)$$

$$\text{oder } Q_{d,cr} = 0,156 \cdot \rho \cdot g \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L_s \cdot \sqrt{A_5} \cdot \gamma_{F,w}$$

$$\tau_{d,R} = \frac{2 \cdot Q_{d,R} \cdot K_3}{D \cdot t} \quad \text{oder} \quad \tau_{d,cr} = \frac{2 \cdot Q_{d,cr} \cdot K_3}{D \cdot t} \quad (186)$$

Zur Tragfähigkeit siehe 10.10.3.3 und zur Beul-Schublast siehe 10.10.3.4.

Zur Stabilität der Schale siehe 10.10.3.5.

#### 10.10.4 Schnittlasten an den Tragsätteln

##### 10.10.4.1 Allgemeines

Bei der Auslegung der Tragsättel ist der ungünstigste Lastfall am Tragsattel zu betrachten.

Die folgenden Gleichungen werden angewendet, um die Lasten an den Sattelschalen zu bestimmen.

Bei Behältern auf zwei Sätteln wird die am Sattel einwirkende Last mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$W_1 = \frac{W_t}{2} \quad (187)$$

und bei Behältern auf mehr als zwei Sätteln wird die Last mittels einer Durchlaufträgeranalyse ermittelt. Für die Ausführung der Ringe wird dagegen ein konservativerer Wert der Sattellast verwendet, der wie folgt bestimmt wird:

$$W_1 = \frac{W_t}{n - 1} \quad (188)$$

Dabei ist  $n$  die Anzahl der Sättel.

##### 10.10.4.2 Schnittlast in Umfangsrichtung — Unversteifte Schale

###### 10.10.4.2.1 Allgemeines

Die größte Bedeutung hinsichtlich der Belastung in Umfangsrichtung kommt den Lasten zu, die in der Mitte des Sattels im Bereich des Sattelhorns (d. h. am höchsten Punkt des Tragsattels) auftreten, da dies der kritischste Bereich ist; ein weiterer kritischer Belastungswert ist der am niedrigsten Punkt des Querschnitts (d. h. am Nadir).

###### 10.10.4.2.2 Maximale Schnittlast am Nadir des Sattels bei unversteifter Schale

$$W_{1,d,R} = W_1 \cdot A_5 \cdot \gamma_{F,w} \quad \text{oder} \quad W_{1,d,\varepsilon} = W_1 \quad (189)$$

Maximale Schnittlast am Nadir

$$n_{\varphi 5,d,R} = \frac{K_5 \cdot W_{1,d,R}}{(b_1 + 10 \cdot t)} \quad \text{oder} \quad n_{\varphi 5,d,\varepsilon} = \frac{K_5 \cdot W_{1,d,\varepsilon}}{(b_1 + 10 \cdot t)} \quad (190)$$

Dabei ist  $K_5$  Tabelle 18 zu entnehmen.

**Tabelle 18 — Auslegungsfaktor  $K_5$  [6]**

$\theta$	120°	135°	150°	165°	180°
$K_5$	0,76	0,711	0,673	0,645	0,624

- Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.
- Sind Sattel und Behälter über ihre gesamte Berührungsfläche fest miteinander verbunden, muss der verwendete Wert  $K_5$  1/10 des in Tabelle 18 angegebenen Wertes betragen.
- Bei Verwendung von losen Sätteln ist der volle Wert  $K_5$  einzusetzen; liegen entsprechende Versuchsdaten vor, können diese verwendet werden.

10.10.4.2.3 Belastung am Sattelhorn bei unversteifter Schale oder Schale versteift durch Böden

a) Das maximale Biegemoment tritt am Sattelhorn auf und wird wie folgt berechnet:

$$M_{H,d,R} = \frac{K_6 \cdot W_{1,d,R} \cdot D}{2} \quad \text{oder} \quad M_{M,d,\varepsilon} = \frac{K_6 \cdot W_{1,d,\varepsilon} \cdot D}{2} \quad (191)$$

Dabei ist  $K_6$  Tabelle 19 zu entnehmen.

Tabelle 19 — Auslegungsfaktor  $K_6$  [6]

$\frac{2A}{D}$	$\theta$				
	120°	135°	150°	165°	180°
< 0,5	0,013 2	0,010 3	0,007 9	0,005 9	0,004 1
≥ 1,0	0,052 8	0,041 3	0,031 6	0,023 8	0,016 5

Der Bereich zwischen  $0,5 < \frac{2A}{D} < 1,0$  wird als linear angenommen, wodurch andere Werte für  $K_6$  durch lineare Interpolation ermittelt werden können.

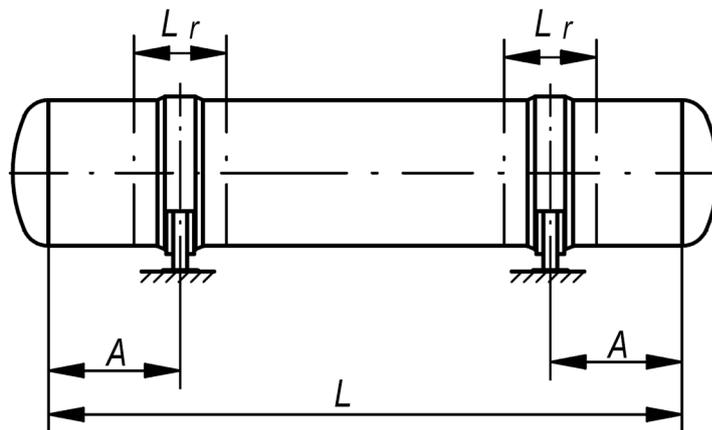


Bild 42 — Schematische Darstellung der gegenüber dem Moment  $M_H$  wirksamen Breite  $L_r$  des Behälters

Bei  $L \geq 4 \cdot D$  gilt  $A \leq 1,2 \cdot D$ , wenn keine Versteifungsringe vorhanden sind.

Der Anteil der Biegebelastung an der Schnittlast in Umfangsrichtung bei einer wirksamen Breite von  $L_r \geq 2D$  wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$n_{\varphi 1b,d,R} = \frac{3 \cdot K_6 \cdot W_{1,d,R}}{2 \cdot t} \quad \text{oder} \quad n_{\varphi 1b,d,\varepsilon} = \frac{3 \cdot K_6 \cdot W_{1,d,\varepsilon}}{2 \cdot t} \quad (192)$$

und bei  $L < 4D$  wird der Anteil der Biegebelastung an der Schnittlast in Umfangsrichtung mit der Gleichung (193) berechnet, dabei ist  $\frac{L}{2}$  die wirksame Breite der Schale  $L_r = \frac{L}{2}$ :

$$n_{\varphi 2b,d,R} = \frac{6 \cdot K_6 \cdot W_{1,d,R} \cdot D}{L \cdot t} \quad \text{oder} \quad n_{\varphi 2b,d,\varepsilon} = \frac{6 \cdot K_6 \cdot W_{1,d,\varepsilon} \cdot D}{L \cdot t} \quad (193)$$

b) Einheitsdrucklast aus Normalkraft am Sattelhorn

Die in Umfangsrichtung wirkende Einheitsdrucklast aus Normalkraft am Sattelhorn wird wie folgt berechnet:

$$n_{\varphi,d,R} = \frac{W_{1,d,R}}{4 \cdot (b_1 + 10 \cdot t)} \quad \text{oder} \quad n_{\varphi,d,\varepsilon} = \frac{W_{1,d,\varepsilon}}{4 \cdot (b_1 + 10 \cdot t)} \quad (194)$$

c) Die maximale Schnittlast in Umfangsrichtung am Sattelhorn ( $n_{\varphi 6}$ ), die eine Druckbelastung ist, wird wie folgt berechnet:

1) bei  $L \geq 4D$

$$n_{\varphi 6,d,R} = -n_{\varphi,d,R} - n_{\varphi 1b,d,R} \quad \text{oder} \quad n_{\varphi 6,d,\varepsilon} = -n_{\varphi,d,\varepsilon} - n_{\varphi 1b,d,\varepsilon} \quad (195)$$

2) bei  $L < 4D$

$$n_{\varphi 6,d,R} = -n_{\varphi,d,R} - n_{\varphi 2b,d,R} \quad \text{oder} \quad n_{\varphi 6,d,\varepsilon} = -n_{\varphi,d,\varepsilon} - n_{\varphi 2b,d,\varepsilon} \quad (196)$$

### 10.10.4.3 Mit Ringen in der Sattellebene versteifte Schalen

#### 10.10.4.3.1 Querschnittswerte der Ringe

Ein typischer Versteifungsring ist in Bild 43 dargestellt.

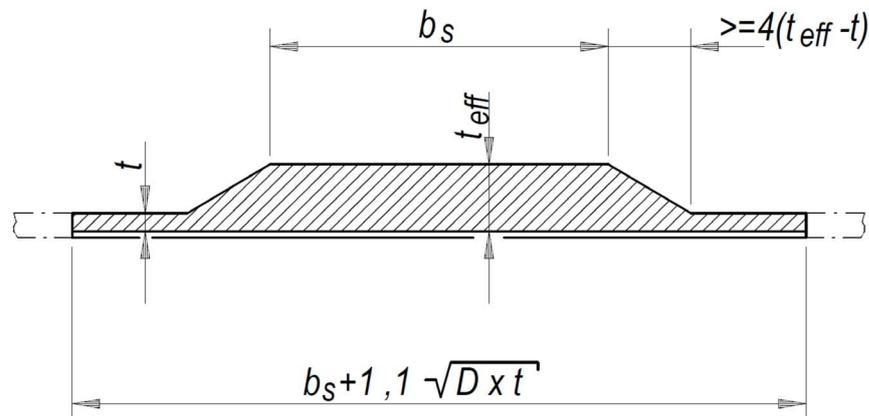


Bild 43 — Typischer Versteifungsring

Die Querschnittswerte typischer Ringe werden wie folgt bestimmt.

$$y = \frac{\sum(A_i \cdot E_i \cdot y_i)}{\sum(A_i \cdot E_i)} \quad (197)$$

$$A_S = \frac{\sum(A_i \cdot E_i)}{E_S} \quad (198)$$

$$I_S = \frac{\sum(I_i \cdot E_i)}{E_S} \quad (199)$$

$$W_S = \frac{I_S}{y} \quad (200)$$

Nur zum internen Gebrauch

$$t_{\text{eff,N}} = \frac{A_S}{b_s} \quad (201)$$

$$t_{\text{eff,B}} = \sqrt{\frac{6 \cdot W_S}{b_s}} \quad (202)$$

Dabei ist

- $E_S$  der E-Modul des Versteifungsringlaminates;
- $b_s$  die Breite des Versteifungsrings, mindestens jedoch 200 mm;
- $I_S$  das Trägheitsmoment des Versteifungsrings zuzüglich der wirksamen Breite der Schale  $b_s + 1,1 \cdot \sqrt{D \cdot t}$  bei Standard-Sattelsystemen;
- $A_S$  die Querschnittsfläche des Versteifungsrings zuzüglich der wirksamen Breite der Schale  $b_s + 1,1 \cdot \sqrt{D \cdot t}$  bei Standard-Sattelsystemen;
- $y$  der Abstand zwischen der Nullachse und der Außenlinie der Versteifung;
- $W_S$  der Querschnittsmodul des Versteifungsrings zuzüglich der wirksamen Breite der Schale  $b_s + 1,1 \cdot \sqrt{D \cdot t}$  bei Standard-Sattelsystemen;
- $t_{\text{eff,N}}$  die äquivalente Dicke für Normalkraftbelastungen bei einem Ring mit der Breite  $b_s$  und denselben Querschnittswerten wie bei einem Ring zuzüglich der wirksamen Breite der Schale  $b_s + 1,1 \cdot \sqrt{D \cdot t}$ ;
- $t_{\text{eff,B}}$  die äquivalente Dicke für die Biegebelastung bei einem Ring mit der Breite  $b_s$  und denselben Querschnittswerten wie bei einem Ring zuzüglich der wirksamen Breite der Schale  $b_s + 1,1 \cdot \sqrt{D \cdot t}$ .

#### 10.10.4.3.2 Schnittlasten in Umfangsrichtung am Ring — Behälter auf starren Tragsätteln

##### 10.10.4.3.2.1 Belastung am tiefsten Punkt des Sattels bei mit Ringen versteifter Schale

$$W_{1,d,R} = W_1 \cdot A_5 \cdot \gamma_{F,w} \quad \text{oder} \quad W_{1,d,\varepsilon} = W_1 \quad (203)$$

Maximale Schnittlast am Nadir

$$n_{\varphi 5,d,R} = \frac{K_5 \cdot W_{1,d,R}}{b_s} \quad \text{oder} \quad n_{\varphi 5,d,\varepsilon} = \frac{K_5 \cdot W_{1,d,\varepsilon}}{b_s} \quad (204)$$

Dabei ist  $K_5$  Tabelle 18 zu entnehmen.

- a) Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats bei Dicke  $t_{\text{eff,N}}$  ist 9.3.2 anzuwenden.
- b) Sind Sattel und Behälter über ihre gesamte Berührungsfläche fest miteinander verbunden, muss der verwendete Wert  $K_5$  1/10 des in Tabelle 18 angegebenen Wertes betragen.
- c) Bei Verwendung von losen Sätteln ist der volle Wert  $K_5$  einzusetzen; sind entsprechende Versuchsdaten vorhanden, können diese verwendet werden.

##### 10.10.4.3.2.2 Belastung am Sattelhorn bei mit Ringen versteifter Schale

- a) Das maximale Biegemoment an der Versteifung tritt am Sattelhorn auf und wird wie folgt berechnet:

$$M_{s,d,R} = \frac{K_{6,R} \cdot W_{1,d,R} \cdot D}{2} \quad \text{oder} \quad M_{s,d,\varepsilon} = \frac{K_{6,R} \cdot W_{1,d,\varepsilon} \cdot D}{2} \quad (205)$$

Dabei ist  $K_{6,R}$  Tabelle 20 zu entnehmen.

**Tabelle 20 — Auslegungsfaktor  $K_{6,R}$  (EN 13445-3)**

$\frac{2A}{D}$	$\theta$				
	120°	135°	150°	165°	180°
< 0,5	0,015 8	0,012 4	0,009 5	0,007 2	0,005 0
≥ 1,0	0,031 7	0,024 8	0,019 0	0,014 3	0,009 9

Der Bereich zwischen  $0,5 < \frac{2A}{D} < 1,0$  wird als linear angenommen, wodurch andere Werte für  $K_{6,R}$  durch lineare Interpolation ermittelt werden können.

b) Einheitsdrucklast in Folge von Normalkraft am Sattelhorn

Die in Umfangsrichtung wirkende Einheitsdrucklast in Folge von Normalkraft am Sattelhorn wird wie folgt berechnet:

$$N_{s,d,R} = K_9 \cdot W_{1,d,R} \quad \text{oder} \quad N_{s,d,\varepsilon} = K_9 \cdot W_{1,d,\varepsilon}$$

Dabei ist  $K_9$  Tabelle 21 zu entnehmen.

**Tabelle 21 — Auslegungsfaktor  $K_9$  (EN 13445-3)**

$\theta$	120°	135°	150°	165°	180°
$K_9$	0,34	0,33	0,30	0,28	0,25

c) Die maximale Schnittlast am Versteifungsring wird wie folgt berechnet:

$$n_{s,d,R} = \pm \frac{M_{s,d,R}}{W_s} \cdot t_{\text{eff},B} - \frac{N_{s,d,R}}{b_s} \quad \text{oder} \quad n_{s,d,\varepsilon} = \pm \frac{M_{s,d,\varepsilon}}{W_s} \cdot t_{\text{eff},B} - \frac{N_{s,d,\varepsilon}}{b_s} \quad (206)$$

$W_s$ ,  $b_s$  und  $t_{\text{eff}}$  sind 10.10.4.3.1 zu entnehmen.

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats bei Dicke  $t_{\text{eff},B}$  ist 9.3.2 anzuwenden.

### 10.10.4.3.3 Schnittlasten in Umfangsrichtung am Ring bei einer Lagerung in einer weichen Sattelschale

#### 10.10.4.3.3.1 Allgemeines

Im folgenden Abschnitt wird ein Behälter, der auf weichen Sattelschalen gelagert behandelt. Die Lagerung eines Behälters in weichen Sattelschalen bedeutet, dass der Behälter mit einem flexiblen Stahlband 180° umschlungen ist. Dieses Sattelband ist in eine steife Stahlkonstruktion eingebunden, und basiert auf dem Dokument, welches unter Literaturhinweis [3] zu finden ist.

#### 10.10.4.3.3.2 Auslegung der Versteifungsringe an den Tragsätteln

a) Standardfall: Ringe sind in der Zylinderschale angeordnet

Die Schnittlasten im Versteifungsring werden wie folgt berechnet:

Moment  $M_s$  im Versteifungsring ergibt sich durch:

$$M_{s,d,R} = \frac{K_{11} \cdot W_1 \cdot D_s \cdot A_5 \cdot \gamma_{F,w}}{2 \cdot \pi} \quad \text{oder} \quad M_{s,d,\varepsilon} = \frac{K_{11} \cdot W_1 \cdot D_s}{2 \cdot \pi} \quad (207)$$

$K_{11}$  ist Tabelle 22 und  $K_{10}$  ist Gleichung (214) zu entnehmen.

Tabelle 22 — Auslegungsfaktor  $K_{11}$  [17]

Schalenparameter	Flexibler Sattel $K_{11}$
$K_{10} \leq 0,1$	0,012 5
$0,1 \leq K_{10} \leq 10$	$0,017 5 \times \log(K_{10}) + 0,03$
$K_{10} \geq 10$	0,047 5

Normallast  $N_s$  im Versteifungsring wird berechnet mit:

$$N_{s,d,R} = \frac{W_1 \cdot A_5 \cdot \gamma_{F,w_1}}{4} \quad \text{oder} \quad N_{s,d,\varepsilon} = \frac{W_1}{4} \quad (208)$$

und die maximale Schnittlast am Versteifungsring wird berechnet mit:

$$n_{s,d,R} = \pm \frac{M_{s,d,R}}{W_s} \cdot t_{\text{eff},B} - \frac{N_{s,d,R}}{b_s} \quad \text{oder} \quad n_{s,d,\varepsilon} = \pm \frac{M_{s,d,\varepsilon}}{W_s} \cdot t_{\text{eff},B} - \frac{N_{s,d,\varepsilon}}{b_s} \quad (209)$$

$W_s$ ,  $b_s$  und  $t_{\text{eff}}$  sind 10.10.4.3.1 zu entnehmen.

b) Sonderfall: Ringe sind am gewölbten Boden angeordnet

Maße in Millimeter

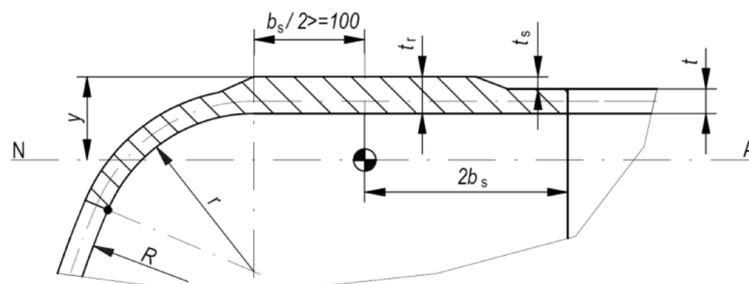


Bild 44 — Wirksames Maß der Versteifung am gewölbten Boden

Die axiale Last  $n_{x,d,R}$  im Ring wird bestimmt mit:

$$n_{xR,d,R} = \frac{0,53 \cdot W_1 \cdot A_5 \cdot \gamma_{F,w}}{t_R^{1,5} \cdot D^{0,5}} \quad \text{oder} \quad n_{xR,d,\varepsilon} = \frac{0,53 \cdot W_1}{t_R^{1,5} \cdot D^{0,5}} \quad (210)$$

Dabei ist  $t_R$  die Ringdicke, die  $t + t_s$  entspricht.

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

#### 10.10.4.3.4 Örtliche Druckbelastungen am Sattel oder Versteifungsring

In den Übergangsbereichen zwischen Versteifungsring und Zylinder treten die folgenden zusätzlichen axialen Schnittlasten aufgrund von Innendruck auf, die mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$\Delta n_{x,p,d,R} = 0,48 \cdot p_{d,R} \cdot D \quad \text{oder} \quad \Delta n_{x,p,d,\varepsilon} = 0,48 \cdot p_{d,\varepsilon} \cdot D \quad (211)$$

Dabei ist

$$p_{d,R} = PS_{op} \cdot A_5 \cdot \gamma_{F,p} + \rho \cdot g \cdot D \cdot A_5 \cdot \gamma_{F,w} \quad \text{oder} \quad p_{d,\varepsilon} = PS_{op} + \rho \cdot g \cdot D$$

und aufgrund der direkten Auflagerung des Behälters auf den Auflagern tritt eine zusätzliche axiale Schnittlast auf, die mit der folgenden Gleichung berechnet wird:

$$\Delta n_{x,1,d,R} = \frac{1,10 \cdot K_{12} \cdot Q_{d,R}}{t} \quad \text{oder} \quad \Delta n_{x,1,d,\varepsilon} = \frac{1,10 \cdot K_{12} \cdot Q_{d,\varepsilon}}{t} \quad (212)$$

Dabei ist

$Q_d$  die maximale Querkraft am Auflager;

$$K_{12} = \frac{(1 - \log K_{10})^3}{640} \quad (213)$$

und

$$K_{10} = 3,4 \cdot \frac{I_R}{t_R^3} \cdot \sqrt{\frac{t}{D_S^3}} \quad (214)$$

Dabei ist

- $I_R$  das Flächenträgheitsmoment des Versteifungsringes;
- $D_S$  der mittlere Durchmesser des Versteifungsringes;
- $t_R$  die Gesamtdicke (Schale + Verstärkung) am Auflager;
- $t$  die Dicke der Schale.

#### 10.10.5 Schnittlasten bei waagrecht auf den Behälter wirkender Last

Bei waagrecht auf einen liegenden Behälter wirkenden Lasten, wie z. B. Wind- oder Erdbebenlasten, gelten die entsprechenden Gleichungen für die Schnittlasten nach 10.10.3.2.  $w$  ist durch  $w_h$  zu ersetzen. Alle anderen Lasten sind den vorstehenden Gleichungen zu entnehmen.

$$w_h = \frac{W_{h,\text{totalload}}}{L + \frac{4 \cdot h}{3}} \quad (215)$$

Bei mehr als zwei Sätteln sollte für das Moment gelten:

$$w_h = \frac{W_{h,\text{totalload}}}{L + \frac{4 \cdot h}{3}} \quad (216)$$

Können die Lasten gleichzeitig einwirken, müssen die entsprechenden Schnittlasten in axialer Richtung wie folgt überlagert sein:

$$n_x = \sqrt{n_{x,v}^2 + n_{x,h}^2} \quad (217)$$

Bei Einwirkung waagerechter Lasten, z. B. Wind- oder Erdbebenlasten, sind Versteifungsringe erforderlich. Das maximale Biegemoment an der Versteifung tritt nahe am Sattelhorn auf.

Bei der Auslegung der Sattelbereiche ist der ungünstigste Lastfall am Tragsattel zu betrachten.

Bei Behältern auf zwei Sätteln wird die am Sattel einwirkende Last mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$W_h = \frac{W_t}{2} \quad (218)$$

und bei Behältern auf mehr als zwei Sätteln wird die Last mittels einer Durchlaufträgeranalyse ermittelt; für die Ausführung der Ringe wird dagegen ein konservativerer Wert der Sattellast verwendet, der wie folgt bestimmt wird:

$$W_h = \frac{W_t}{n - 1} \quad (219)$$

Dabei ist  $n$  die Anzahl der Sättel.

Das Moment im Versteifungsring ist EN 13445-3:2014, 16.9, Liegende Behälter mit Ringlagerung, zu entnehmen.

$$M_{h,d,R} = \frac{K_h \cdot W_{h,d,R} \cdot D}{2} \quad \text{oder} \quad M_{h,d,\varepsilon} = \frac{K_h \cdot W_{h,d,\varepsilon} \cdot D}{2} \quad (220)$$

Dabei ist  $K_h$  Tabelle 23 zu entnehmen und

$$W_{h,d,R} = W_h \cdot A_{5'} \cdot \gamma_{F,w} \quad \text{oder} \quad W_{h,d,\varepsilon} = W_h \quad (221)$$

**Tabelle 23 — Auslegungsfaktor  $K_h$  [17]**

$\theta$	120°	135°	150°	165°	180°
$K_h$	0,101 0	0,082 4	0,066 6	0,053 2	0,041 8

Können die Lasten gleichzeitig einwirken, müssen die entsprechenden Momente im Versteifungsring wie folgt überlagert sein:

$$M_{\text{ring}} = M_s + 0,5 \cdot M_h \quad (222)$$

## 10.11 Rohre mit großen Durchmessern und Formstücke

### 10.11.1 Allgemeines

Diese Norm behandelt Rohre mit großen Durchmessern ( $DN > 600$ ), die direkt an der Schale von Tanks und Behältern angebracht sind, bis zum Anschluss an Rohrleitungssysteme. Bei Druckrohrleitungen in den

Anlagen oder zwischen einzelnen Behältern sind, insbesondere bei Bögen und T-Stücken, einige besondere Betrachtungen erforderlich. Dies gilt sowohl für die Auslegung als auch für Ausführung der Laminat.

### 10.11.2 Rohrverbindungen

Die Rohrverbindungen sind als Stumpfstoßverbindungen mit Laminaten auf der Rohrrinnen- und Rohraussenseite oder mit geschäfteten Enden mit einem Laminat auf der Außenseite ausgelegt. Eine geschäftete Überlappungsverbindung ist einer Stoßverbindung mit verschiedenen Dicken Laminaten von Außen- zu Innenseite vorzuziehen, da hierbei die zusätzlichen Spannungen aufgrund der geringen Exzentrizität des Verbindungslaminats vernachlässigbar sind. Eine einseitige Stumpfstoßverbindung ohne Schäftung kann erhebliche zusätzliche Spannungen im Verbindungslaminat verursachen. Um diese zu minimieren, sollte das Laminat symmetrisch als inneres und äußeres Verbindungslaminat aufgebracht werden.

a) Innendruck:

$$\text{axiale Schnittlast: } n_{x,p,d,R} = \frac{p_{d,R} \cdot D}{4} \quad \text{oder} \quad n_{x,p,d,\varepsilon} = \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot D}{4} \quad (223)$$

$$\text{Dabei ist} \quad p_{d,R} = PS_{\text{op}} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p}$$

$$\text{bzw.} \quad p_{d,\varepsilon} = PS_{\text{op}}$$

b) Biegemoment aufgrund von Füll-, Wind-, Schnee oder Erdbebenlasten (nach örtlichen nationalen Normen ermittelt):

$$\text{axiale Schnittlast: } n_{x,M,d,R} = \frac{4 \cdot M_{d,R}}{\pi \cdot D^2} \quad \text{oder} \quad n_{x,M,d,\varepsilon} = \frac{4 \cdot M_{d,\varepsilon}}{\pi \cdot D^2} \quad \text{oder} \quad n_{x,M,d,cr} = \frac{4 \cdot M_{d,cr}}{\pi \cdot D^2} \quad (224)$$

$$\text{Dabei ist} \quad M_{d,R} = M_{\text{content}} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,w} + \sum (M_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i})$$

$$\text{bzw.} \quad M_{d,\varepsilon} = M_{\text{content}} + \sum M_{e,i}$$

$$\text{Für Fälle der axialen Stabilität gilt } M_{d,cr} = M_{\text{content}} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,f} + \sum (M_{e,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i})$$

Dabei ist  $M_{e,i}$  jedes andere Biegemoment sowie  $M_{\text{content}} =$  Moment durch Füllung.

Für das Verbindungslaminat:

$$\text{Zug: } n_{\text{joint},d,R} = n_{x,p,d,R} + n_{x,M,d,R} \quad (225)$$

$$\text{Dehnung: } n_{\text{joint},d,\varepsilon} = n_{x,p,d,\varepsilon} + n_{x,M,d,\varepsilon} \quad (226)$$

Für den Nachweis der axialen Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Die Schublast in der Verbindung wird mit Gleichung (227) berechnet:

$$\tau_{\text{over},d} = \frac{n_{\text{joint},d,R}}{l_{\text{over}}} \quad \text{und} \quad \tau_{\text{over},d} \leq \frac{\tau_k}{(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \quad (227)$$

$$l_{\text{over}} \leq 16 \cdot t_{\text{over}} \quad (228)$$

Dabei ist  $l_{\text{over}}$  die Länge mit geschäfteten Auslauf.

### 10.11.3 Bögen

Die Bögen können glatt oder segmentiert ausgeführt sein. In Abhängigkeit vom gewählten Auslegungs- oder Herstellungsverfahren treten verschiedene Spannungen auf, und die Schnittlasten in den Bögen sind mit einem Spannungsfaktor zu multiplizieren. Die Faktoren für den Innendruck sind nachstehend aufgeführt. Biegelasten sind EN ISO 14692-3:2002, Anhang D, zu entnehmen.

Die folgenden Faktoren sind anzuwenden bei einem Biegeradius von  $1,5 \cdot DN$ :

Bogenwinkel		Glatt	Segmentiert (30° einzelner Gehrungswinkel)	
			Umfang Rohr	Axial für Verbindungs laminat
$\leq 30^\circ$	$m_{psb}$	1,0	1,0	1,0
$\leq 90^\circ$	$m_{psb}$	1,0	1,3	1,15

Druck:

Schnittlast in Umfangsrichtung ausschließlich für das Rohr:

$$n_{\varphi,p,d,R} = m_{psb} \cdot \frac{p_{d,R} \cdot (D + t)}{2} \quad \text{oder} \quad n_{\varphi,p,d,\varepsilon} = m_{psb} \cdot \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot (D + t)}{2} \quad (229)$$

Dabei ist  $p_{d,R} = PS_{op} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p}$

bzw.  $p_{d,\varepsilon} = PS_{op}$

axiale Schnittlast für das Verbindungslaminat:

$$n_{joint,d,R} = m_{psb} \cdot \frac{p_{d,R} \cdot (D + t)}{4} \quad \text{oder} \quad n_{joint,p,d,\varepsilon} = m_{psb} \cdot \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot (D + t)}{4} \quad (230)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Die Lamine sind gleichmäßig zwischen Innen- und Außenfläche des Rohres zu verteilen. Die Mindestanzahl der Schichten muss mehr als  $3 \times 450 \text{ g/m}^2$  betragen.

Die Schubspannung in der Verbindung wird berechnet mit:

$$\tau_{over,d} = \frac{n_{joint,d,R}}{l_{over}} \quad \text{und} \quad \tau_{over,d} \leq \frac{\tau_k}{(\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \quad (231)$$

und

$$l_{over} \leq 16 \cdot t_{over} \quad (232)$$

### 10.11.4 Große Ausschnitte und T-Stücke

Die Analyse der Spannungen und ihrer Wirkrichtungen in einem T-Stück ist sehr komplex. Dafür werden EN ISO 14692-3:2002, Anhang D, und Versuchsdaten angewendet. Hier ist lediglich der Einfluss des Innendrucks angegeben. Bei Einwirkung zusätzlicher Lasten aufgrund von Momenten auf das T-Stück ist EN ISO 14692-3:2002, Anhang D, anzuwenden. Das nachstehende Berechnungsverfahren gilt ausschließlich, wenn  $D_b \geq 0,5 \cdot D_1$ . Für kleinere T-Stücke und Ausschnitte ist 10.8.3 anzuwenden.

Bei T-Stücken mit  $D_b \geq 0,5 \cdot D_i$  ist die Dicke des Hauptrohres mit  $m_{ps} \geq 1,5$  zu berechnen.

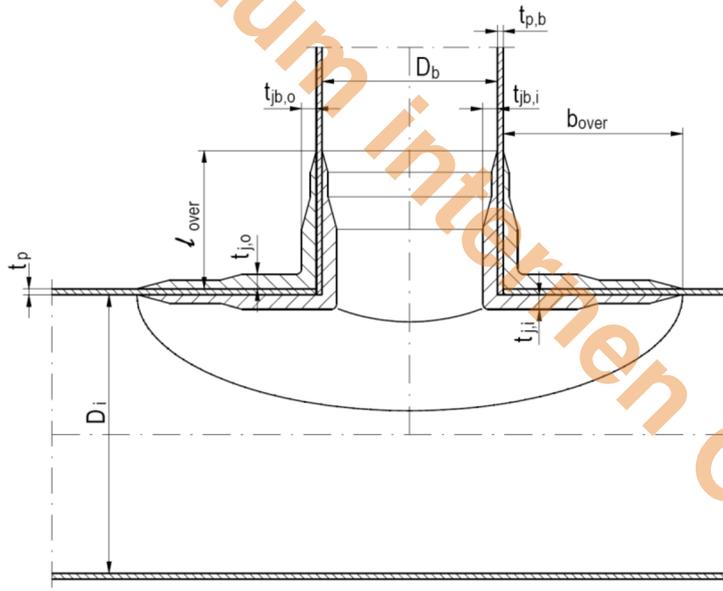


Bild 45 — T-Stück

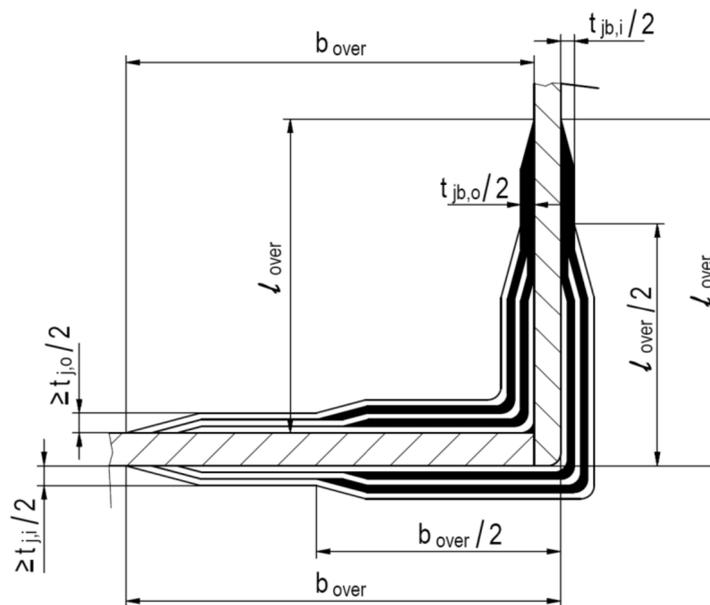


Bild 46 — Detailansicht des Verbindungslaminats am T-Stück

Schnittlast in Umfangsrichtung:

$$n_{\varphi,p,d,R} = m_{ps} \cdot \frac{p_{d,R} \cdot (D_i + t_p)}{2} \quad \text{oder} \quad n_{\varphi,p,d,\varepsilon} = m_{ps} \cdot \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot (D_i + t_p)}{2} \quad (233)$$

Dabei ist  $p_{d,R} = PS_{op} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p}$

bzw.  $p_{d,\varepsilon} = PS_{op}$

$$\text{axiale Schnittlast: } n_{x,p,d,R} = m_{ps} \cdot \frac{p_{d,R} \cdot (D_i + t_p)}{4} \quad \text{oder} \quad n_{x,p,d,\varepsilon} = m_{ps} \cdot \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot (D_i + t_p)}{4} \quad (234)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Der Spannungsfaktor für den Druck bei verstärkten Laminaten,  $m_{\text{pst}}$ , wird als Funktion des Rohrfaktors  $\lambda_t$  berechnet:

$$m_{\text{pst}} = \frac{1,4}{(\lambda_t)^{0,25}} \leq 3 \quad (235)$$

und

$$\lambda_t = \frac{\left(2 \cdot \frac{t_{\text{br}}}{D_b}\right)^2}{2 \cdot \frac{t_t}{D_i}} \quad (236)$$

Dabei ist

$D_i$  der Innendurchmesser des Hauptrohrs;

$t_t = (t_p \cdot E_{\text{pipe},\phi} + t_{\text{joint}} \cdot E_{\text{jointlam}}) / E_{\text{jointlam}}$ ; ( $t_{\text{joint}} = t_{j,i} + t_{j,o}$  am Hauptrohr);  
 $= (U_{\text{lam},\text{pipe},\phi} + U_{\text{lam},\text{jointlam}}) / E_{\text{jointlam}}$ ;

$D_b$  der Innendurchmesser des Abzweigs des T-Stücks;

$t_{\text{br}} = (t_{p,b} \cdot E_{\text{branch},\phi} + t_{\text{joint},b} \cdot E_{\text{jointlam}}) / E_{\text{jointlam}}$ ; ( $t_{\text{joint},b} = t_{j,b,i} + t_{j,b,o}$  am Abzweig);  
 $= (U_{\text{lam},\text{branch},\phi} + U_{\text{lam},\text{jointlam}}) / E_{\text{jointlam}}$ .

Mit Indizes

pipe, $\phi$  das Hauptrohr in Umfangsrichtung;

branch, $\phi$  das Abzweigrohr in Umfangsrichtung;

jointlam das Verbindungslaminat.

**ACHTUNG — Der nachstehende Nachweis gilt nur, wenn das Überlaminat auf der Innen- und der Außenseite gleich ist,  $t_{\text{joint,inside}} = t_{\text{joint,outside}}$ .**

Druck:

Schnittlast für das Verbindungslaminat am Hauptrohr bei  $t_{\text{joint}} = t_{j,i} + t_{j,o}$  am Hauptrohr

$$n_{p,d,R} = m_{\text{pst}} \cdot \frac{p_{d,R} \cdot (D_i + t_t)}{2} \quad \text{oder} \quad n_{p,d,\varepsilon} = m_{\text{pst}} \cdot \frac{p_{d,\varepsilon} \cdot (D_i + t_t)}{2} \quad (237)$$

Dabei ist  $p_{d,R} = PS_{\text{op}} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p}$

bzw.  $p_{d,\varepsilon} = PS_{\text{op}}$ .

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Verbindungslaminats,  $t_{\text{joint}}$ , ist 9.3.2 anzuwenden.

Die Breite des zusätzlichen Laminats am Hauptrohr schließt den geschäfteten Auslauf mit ein.

$$b_{\text{over}} \leq \sqrt{(D_i + t_t) \cdot t_t} \quad (238)$$

Schnittlast für das Verbindungslaminat am Abzweig des T-Stücks bei  $t_{\text{joint,b}} = t_{\text{jb,i}} + t_{\text{jb,o}}$  am Abzweig

$$n_{\text{p,d,R}} = \frac{p_{\text{d,R}} \cdot (D_b + t_{\text{br}})}{2} \quad \text{oder} \quad n_{\text{p,d,\varepsilon}} = \frac{p_{\text{d,\varepsilon}} \cdot (D_b + t_{\text{br}})}{2} \quad (239)$$

Dabei ist  $p_{\text{d,R}} = PS_{\text{op}} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{\text{F,p}}$

bzw.  $p_{\text{d,\varepsilon}} = PS_{\text{op}}$ .

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Verbindungslaminats,  $t_{\text{joint,b}}$  ist 9.3.2 anzuwenden.

Die Dehnungsgrenzen am Verstärkungslaminat sind Tabelle 9 zu entnehmen.

Die Länge des Verbindungslaminats am Abzweig des T-Stücks schließt das geschäftete Ende mit ein.

$$l_{\text{over}} \leq \sqrt{D_b \cdot t_{\text{jb,i}}} \quad \text{oder} \quad = \sqrt{D_b \cdot t_{\text{jb,o}}} \quad (240)$$

Die Lamine können über die Breite oder die Länge in zwei unterschiedlichen Dicken gestuft sein,  $l_{\text{over}}/2$  oder  $b_{\text{over}}/2$ . Alle Laminatenden müssen geschäftet sein.

Alle Lamine, die für die Anbindung des Abzweigrohrs notwendig sind, müssen ins Hauptrohr weitergeführt werden.

## 11 Geschraubte Flanschverbindungen

### 11.1 Allgemeines

Soweit möglich, sind genormte Flanschverbindungen zu verwenden, die grundsätzlich bezeichnet werden als:

Typ 1: vollflächige Flansche mit oder ohne Stützringe;

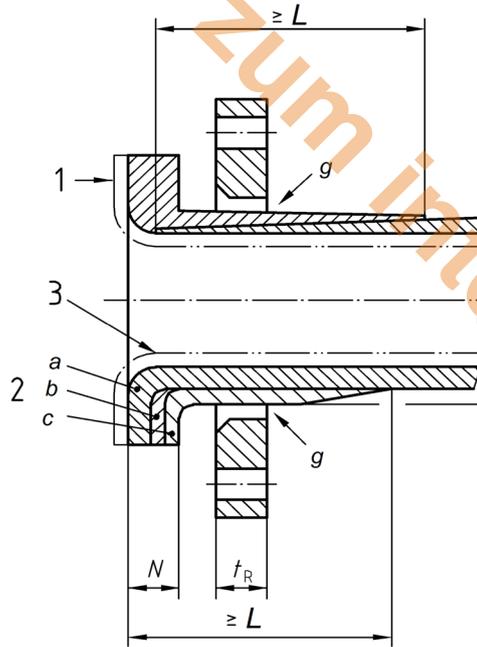
Typ 2: Bundflansche, vollständig mit Stützringen (Metall oder GFK).

Die grundlegenden Anforderungen an die Auslegung dieser Flansche sind in 11.2 und in den Bildern 48 und 49 für Typ-1-Flansche sowie in 11.3 und Bild 47 für Typ-2-Flansche angegeben. Die Anforderungen für die wesentliche Eigenschaft der Chemieschutzschicht der Flansche sind in den Bildern 49 und 50 angegeben.

Als Anforderung an die jeweilige Flansch- oder Bunddicke gelten in diesen Klassen die entsprechenden Werte für eine Auslegungsdehnung von  $\varepsilon_d = 0,25 \%$ .

Können keine genormten Flansche verwendet werden, sind die Flanschverbindungen entsprechend den Anforderungen nach 11.2 und 11.3 sowie gegebenenfalls 11.4 auszulegen.

Werden vorgeformte Flansche in den in Bild 52 dargestellten Ausführungen verwendet, sind diese entsprechend den Anforderungen an diese Konstruktion auszulegen und herzustellen.



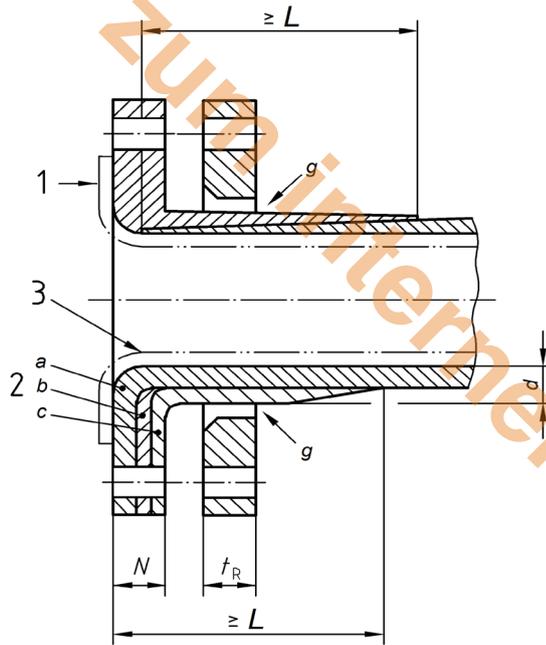
### Legende

- 1 vorgeformter Bundstutzen oder Festflansch
- 2 angeformter Bundstutzen oder Festflansch
- 3 Schweißnähte bei allen thermoplastischen Auskleidungen

Flanschanschlüsse ohne Stützringe:

- a Rohrwanddicke durchgehend bis zur Flanschstirnfläche
- b zusätzliche Laminatverstärkung, um die erforderliche Flanschdicke zu erreichen, geschäftet zum Rohr hin
- c abschließendes Laminat aus Faserschnittmatte ( $1,2 \text{ kg/m}^2$ ) über Flanschfläche, in den Ansatz übergehend;
- d Dicke des Ansatzes muss sich mindestens über eine Länge von  $(N + 6 \times t)$  auf den Abzweig bzw. die Schale erstrecken;
- e wenn ein Stützflansch aus Stahl verwendet wird, muss die Dicke mindestens 6 mm betragen;
- f alle Radien mindestens 3 mm;
- g der Spalt zwischen Innendurchmesser des Stützflansches und Außendurchmesser des Ansatzes sollte möglichst klein gehalten werden.

**Bild 47 — Integral ausgeformter Bundstutzen mit Losring**



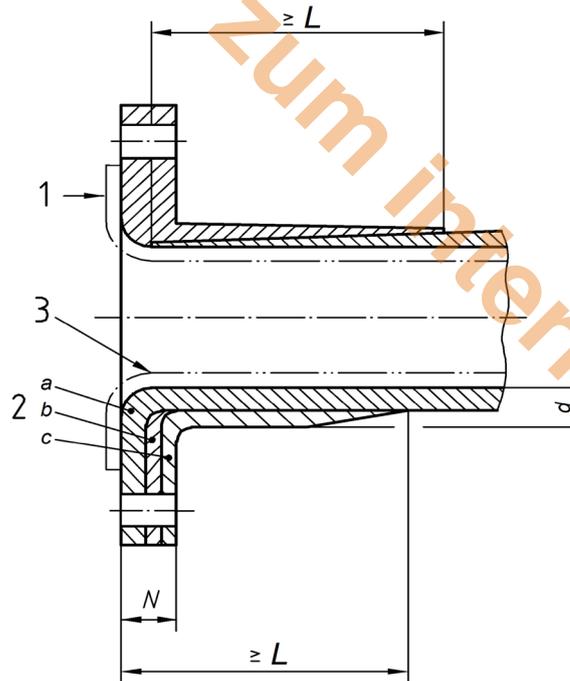
### Legende

- 1 vorgeformter Bundstutzen oder Festflansch
- 2 angeformter Bundstutzen oder Festflansch
- 3 Schweißnähte bei allen thermoplastischen Auskleidungen

Flanschanschlüsse ohne Stützringe:

- a Rohrwanddicke durchgehend bis zur Flanschstirnfläche
- b zusätzliche Laminatverstärkung, um die erforderliche Flanschdicke zu erreichen, geschäftet zum Rohr hin
- c abschließendes Laminat aus Faserschnittmatte ( $1,2 \text{ kg/m}^2$ ) über Flanschfläche, in den Ansatz übergehend;
- d Dicke des Ansatzes muss sich mindestens über eine Länge von  $(N + 6 \times t)$  auf den Abzweig bzw. die Schale erstrecken;
- e wenn ein Stützflansch aus Stahl verwendet wird, muss die Dicke mindestens 6 mm betragen;
- f alle Radien mindestens 3 mm;
- g der Spalt zwischen Innendurchmesser des Stützflansches und Außendurchmesser des Ansatzes sollte möglichst klein gehalten werden.

**Bild 48 — Festflansch mit Losring**



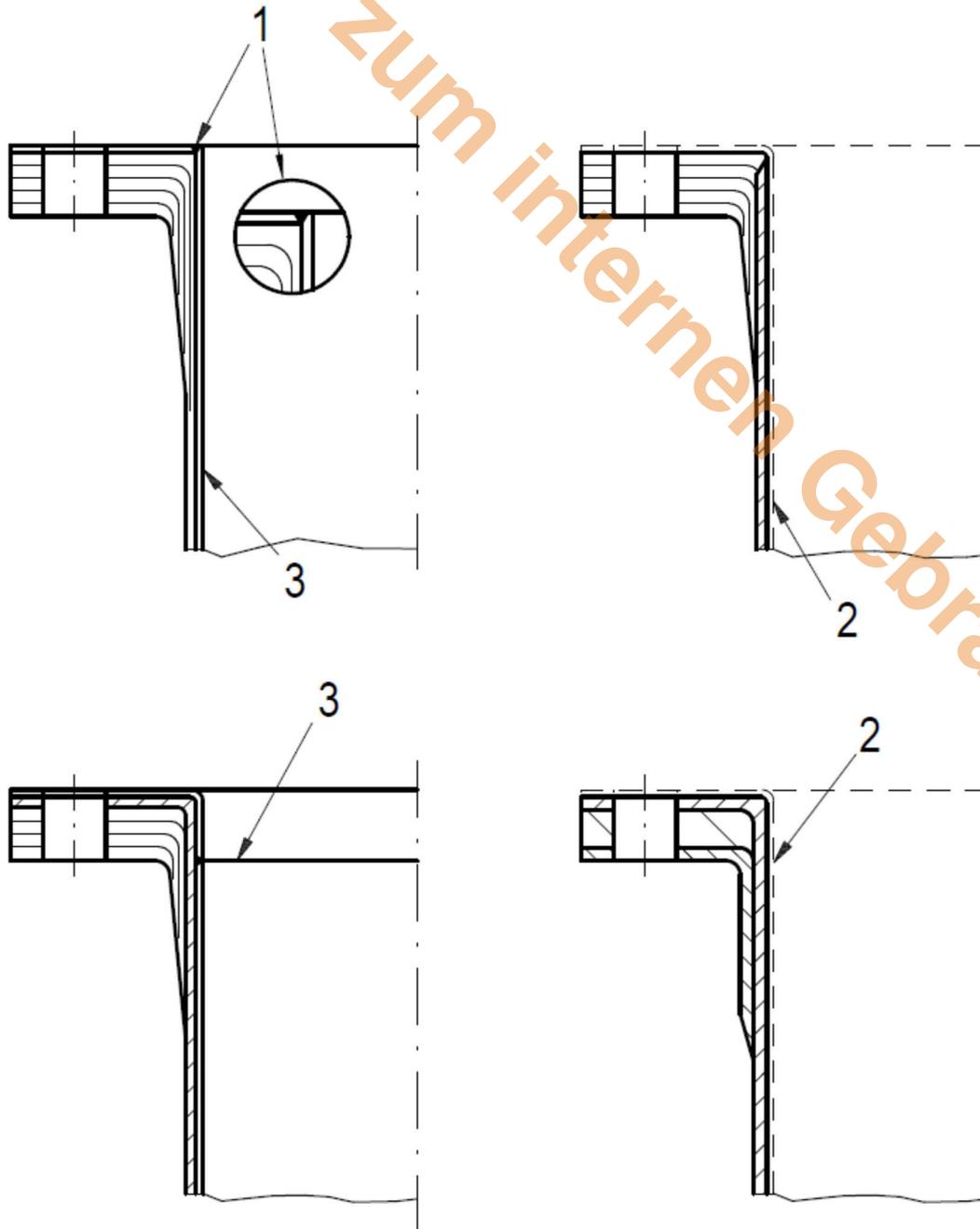
### Legende

- 1 vorgeformter Bundstutzen oder Festflansch
- 2 angeformter Bundstutzen oder Festflansch
- 3 Schweißnähte bei allen thermoplastischen Auskleidungen

Flanschanschlüsse ohne Stützringe:

- a Rohrwanddicke durchgehend bis zur Flanschstirnfläche
- b zusätzliche Laminatverstärkung, um die erforderliche Flanschdicke zu erreichen, geschäftet zum Rohr hin
- c abschließendes Laminat aus Wirrfasermatte ( $1,2 \text{ kg/m}^2$ ) über Flanschfläche, in den Ansatz übergehend;
- d Dicke des Ansatzes muss sich mindestens über eine Länge von  $(N + 6 \times t)$  auf den Abzweig bzw. die Schale erstrecken;
- e wenn ein Stützflansch aus Stahl verwendet wird, muss die Dicke mindestens 6 mm betragen;
- f alle Radien mindestens 3 mm;
- g der Spalt zwischen Innendurchmesser des Stützflansches und Außendurchmesser des Ansatzes sollte möglichst klein gehalten werden.

**Bild 49 — Festflansch ohne Losring**

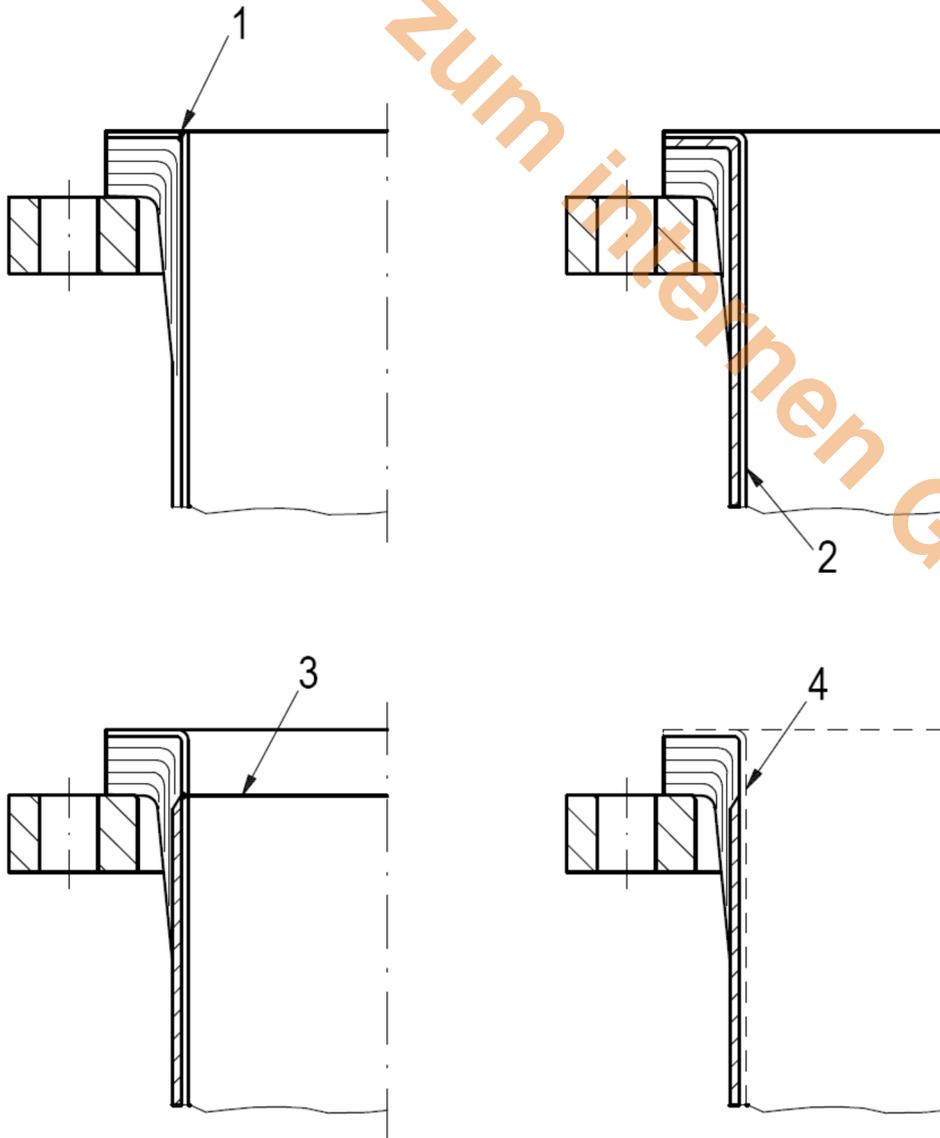


### Legende

- 1 normale Lage der Auskleidungs-Schweißnaht bei allen Werkstoffen
- 2 Korrosionsschutzschicht durchgehend bis über den Flansch
- 3 Schweißlinie für alle Werkstoffe, bei über den Flansch ausgeformter Auskleidung (aus einer Platte gezogen)

**Bild 50 — Anforderungen an thermoplastische Auskleidung oder Korrosionsschutzschicht bei vollflächigen Flanschen**

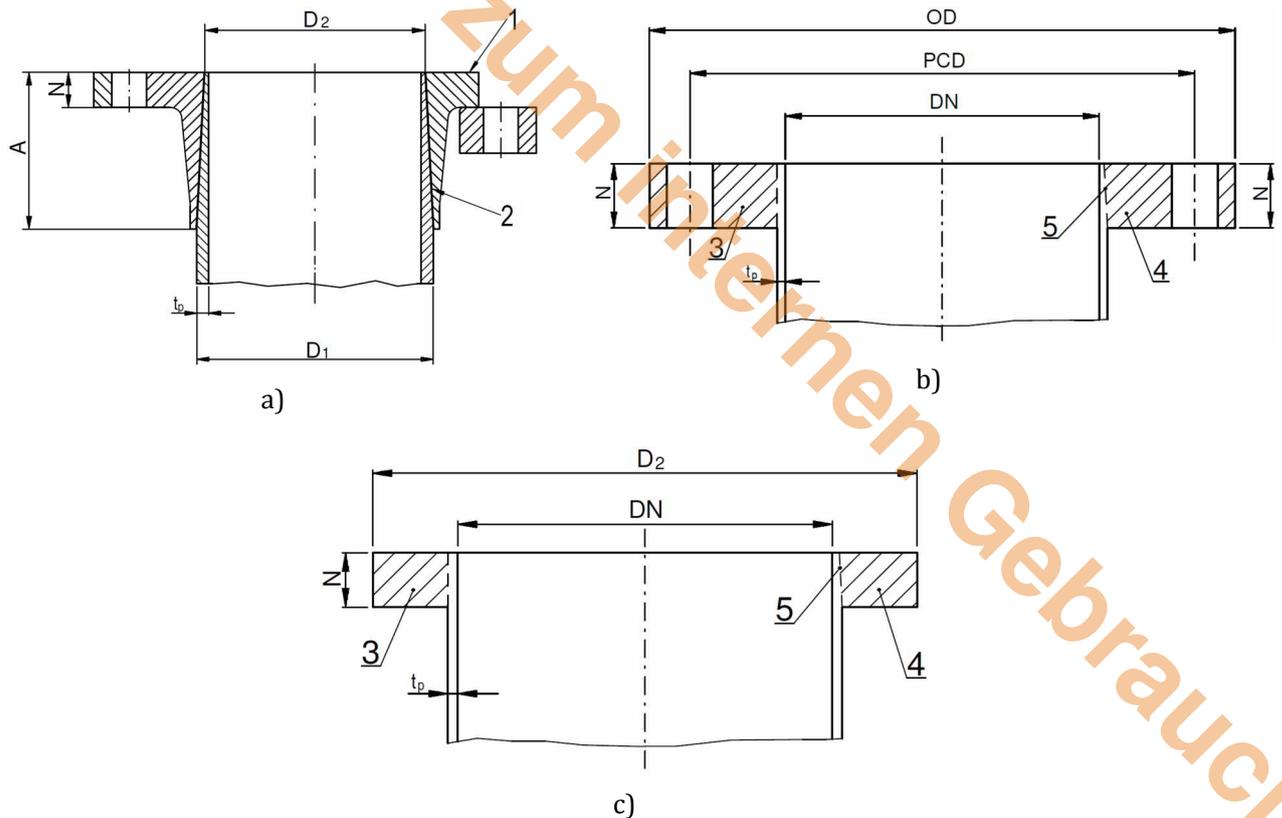
Nur zum internen Gebrauch



**Legende**

- 1 normale Lage der Auskleidungs-Schweißnaht bei allen Werkstoffen
- 2 Auskleidung über Bundflansch ausgeformt bei Flanschen mit einem Durchmesser  $< 300\text{ mm}$
- 3 Schweißlinie für alle Werkstoffe bei über den Bund ausgeformter Auskleidung (aus einer Platte gezogen)
- 4 Korrosionsschutzschicht durchgehend bis über den Bundflansch

**Bild 51 — Anforderungen an thermoplastische Auskleidung und Korrosionsschutzschicht bei Flanschen mit Bund**



### Legende

- 1 vorgeformter Flansch
- 2  $\frac{D_1}{D_2} \geq 1,05$  und  $A \geq L$  wobei  $L$  die Länge des Flanschansatzes ist
- 3 Flansch oder Bund direkt aufgewickelt auf das Stutzenrohr
- 4 gewickelter Flansch oder Bund verklebt mit dem Stutzenrohr
- 5 2° konische Klebnaht (Klebnahtdicke  $\geq 0,5$  mm aber  $\leq 2$  mm)

**Bild 52 — Vorgeformte und gewickelte Flansche**

## 11.2 Auslegung von Festflanschen

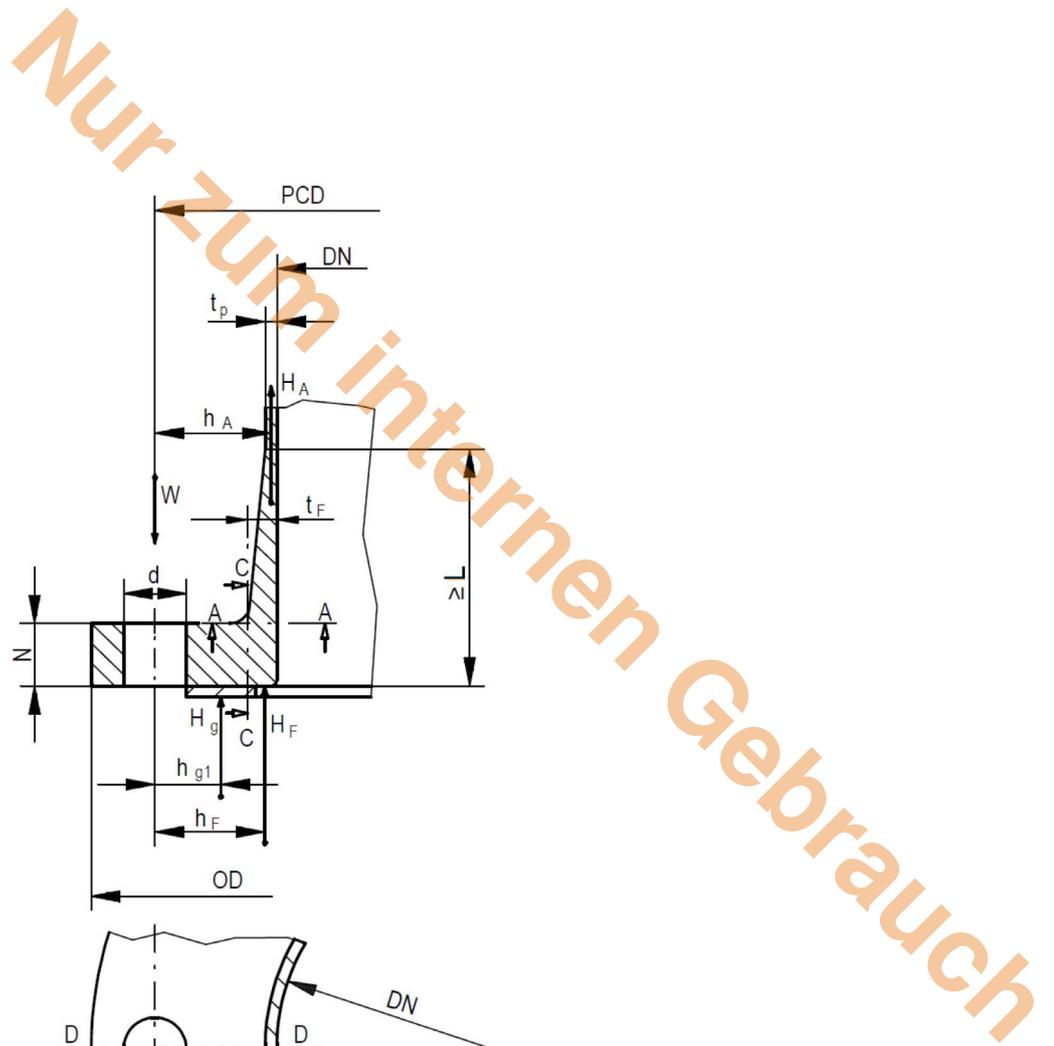
### 11.2.1 Allgemeines

Es sind zwei Zustände zu berücksichtigen:

- a) Einbauzustand;
- b) Betriebszustand.

In allen Fällen muss der Flanschwerkstoff eine ausreichende Druckfestigkeit aufweisen, um dem Anpressdruck von Schrauben und den an den Verbindungsflächen auftretenden Lasten zu widerstehen.

Es dürfen nur Gummidichtungen ohne Textileinlage oder Faserfüllstoffe verwendet werden, die bei Messung nach Prüfverfahren D.16 eine Härte von mindestens 50 IRHD bis 65 IRHD aufweisen. Dichtungen mit einer niedrigen Mindestflächenpressung sind zu bevorzugen, z. B. Flachdichtungen mit O-Ringen.



### Legende

Hebelarme:  $h_A = \frac{PCD - DN - t_p}{2}$   $h_F = \frac{2 \times PCD - DN - D_G}{4}$   
 $h_{g1} = \frac{PCD - D_G}{2}$

**Bild 53 — Festflansch**

### 11.2.2 Symbole

- $A_b$  tatsächliche Schraubenfläche
- $A_G$  wirksame Dichtungsfläche; nach EN 1591 zu bestimmen
- Schraubenlochdurchmesser für Berechnungszwecke;
- $d^*$   $d^* = \begin{cases} 2 \cdot d \cdot \left(1 - \frac{DN}{1000 \text{ mm}}\right), & DN < 500 \text{ mm} \\ d, & DN \geq 500 \text{ mm} \end{cases}$
- $d_{\text{bolt}}$  Schraubendurchmesser
- $d_C$  Durchmesser des Querschnittsschwerpunkts
- $D_1$  Innendurchmesser des Losrings
- $D_2$  Außendurchmesser des Bundflansches

$D_G$	mittlerer Durchmesser der Dichtung
$DN$	Innendurchmesser des Flansches
$E$	E-Modul unter Biegebeanspruchung
$f_{m,k}$	charakteristische Biegefestigkeit des entsprechenden Laminats
$f_{i,k}$	charakteristische Festigkeit eines Materiales
$f_{s,k}$	charakteristische Druckfestigkeit
$f_{v,k}$	charakteristische Schubfestigkeit des entsprechenden Laminats
$f_{v,i,k}$	charakteristische interlaminare Schubfestigkeit des entsprechenden Laminats
$H_{A,d}$	$(A_5 \cdot \gamma_F)$ - fache gesamt Axialkraft; $H_{A,d} = H_{P,d} + H_{R,d}$
$H_{g0,d}$	$(A_5 \cdot \gamma_F)$ - fache auf die Dichtung wirkende Last Einbauzustand
$H_{g1,d}$	$(A_5 \cdot \gamma_F)$ - fache auf die Dichtung wirkende Last im Betriebszustand
$H_{R,d}$	$(A_5 \cdot \gamma_F)$ - fache axiale Last aufgrund zusätzlicher Krafteinwirkung auf den Flansch (Wärmedehnung, Bodenverschiebung, Momente ...); $H_{R,d} = \sum(H_{R,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i})$
$H_{P,d}$	$(A_5 \cdot \gamma_F)$ - fache axiale Last aufgrund von Innendruck
$H_{F,d}$	$(A_5 \cdot \gamma_F)$ - fache Last aufgrund von Druckbeaufschlagung der Flanschstirnfläche
$h_A$	Radialabstand vom Schraubenlochkreis zum Wirkkreis von $H_A$
$h_B$	Hebel zwischen PCD und Flansch (nur bei Bundflanschen)
$h_C$	Hebel zwischen PCD und Querschnitt C-C
$h_F$	Radialabstand vom Schraubenlochkreis zum Wirkkreis von $H_F$
$h_{g1}$	Radialabstand vom Schraubenlochkreis zum Wirkkreis von $H_{g1}$
$I$	Flächenträgheitsmoment
$K$	Sicherheitsfaktor
$L$	Länge des Flanschansatzes; $L = N + \sqrt{DN \cdot (t_F - t_p)}$
$M$	Kreppelmoment
$M_{0,d}$	$(A_5 \cdot \gamma_F)$ - fache Gesamtbiegemoment im Einbauzustand
$M_{C,d}$	$(A_5 \cdot \gamma_F)$ - fache äußeres Biegemoment am Querschnitt C-C
$M_{1,d}$	$(A_5 \cdot \gamma_F)$ - fache Gesamtbiegemoment im Betriebszustand
$N$	Dicke des Flanschbunds (GFK)
$n$	Anzahl der Schrauben
$OD$	Außendurchmesser von Flansch/Stützring
$p$	Druck durch den Flansch [N/mm <sup>2</sup> ]
$PCD$	Schraubenlochdurchmesser
$Q_{min}$	erforderlicher Mindestdruck auf die Dichtungsoberfläche im Einbauzustand (siehe EN 13555)
$Q_{Smin(L)}$	erforderlicher Mindestdruck auf die Dichtungsoberfläche im Betriebszustand (siehe EN 13555)
$t^*$	erforderliche Dicke zum Ausgleich von $H_A$ ; $t^* = \frac{H_{A,d}}{\pi \cdot (DN + t_p) \cdot f_{m,k} / (\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)}$
$t_f$	Dicke des Ansatzes hinter dem Flansch

$t_p$	Dicke des Ansatzes am dünnen Ende
$t_R$	Dicke des Stahlstützrings, siehe Tabelle 27
$t_S$	Dicke des Stützflansches
$Z$	Widerstandsmoment
$\sigma_B$	Auflagerspannung
$\sigma_R$	auf den Stützring wirkende Spannung
$\sigma_S$	Sitzspannung zwischen Stützring und Bundflansch
$W_{m,d}$	Auslegungsschraubenlast der Flanschverbindung für die tatsächliche Schraubengröße zur Ermittlung des größeren der beiden Werte $W_{m1,d}$ und $W_{m2,d}$
$W_{m1,d}$	erforderliche Mindestschraubenlast im Betriebszustand
$W_{m0,d}$	erforderliche Mindestschraubenlast im Einbauzustand

### 11.2.3 Lasten aus Rohrleitungen auf den Flansch

Für die Auslegung ist Folgendes festgelegt:

$$\text{Druck auf den Flansch} \quad p_{d,R} = PS_{op} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p} + p_{hp} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,w}$$

$$\text{bzw.} \quad p_{d,\varepsilon} = PS_{op} + p_{hp}$$

Beanspruchungen durch Druck und zusätzliche Kräfte oder Momente:

$$H_{p,d,R} = p_{d,R} \times \frac{\pi}{4} \times DN^2 \quad \text{oder} \quad H_{p,d,\varepsilon} = p_{d,\varepsilon} \times \frac{\pi}{4} \times DN^2 \quad (241)$$

$$H_{R,d,R} = \sum H_{R,i} \cdot A_5 \cdot \gamma_F \quad \text{oder} \quad H_{R,d,\varepsilon} = \sum H_{R,i} \quad (242)$$

$H_{R,i}$  = Beanspruchung durch zusätzliche auf den Flansch wirkende axiale Lasten  $H$  oder Moment

$$H_M = \frac{4 \cdot M}{DN + t_p}$$

$$H_{A,d,R} = H_{p,d,R} + H_{R,d,R} \quad \text{oder} \quad H_{A,d,\varepsilon} = H_{p,d,\varepsilon} + H_{R,d,\varepsilon} \quad (243)$$

$$H_{F,d,R} = p_{d,R} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_G^2 - DN^2) \quad \text{oder} \quad H_{F,d,\varepsilon} = p_{d,\varepsilon} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_G^2 - DN^2) \quad (244)$$

### 11.2.4 Dichtkraft und Schraubenanzugsmoment

Die Berechnung der Anzugsmomente basieren auf einer freidrehenden und gut geschmierten Mutter.

Für den Betriebs- und Einbauzustand gilt Folgendes:

a) Betriebszustand

Die im Betriebszustand auf die Dichtung wirkende Last,  $H_{g1,d}$ , ist mit der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$H_{g1,d,R} = p_{g1} \cdot A_G \cdot A_5 \cdot \gamma_F \cdot D_G \cdot \pi \quad \text{oder} \quad H_{g1,d,\varepsilon} = p_{g1} \cdot A_G \cdot D_G \cdot \pi \quad (245)$$

$p_{g1} = Q_{Smin(L)}$  auf die Dichtung wirkender Druck im Betriebszustand

b) Einbauzustand

Die im Einbauzustand auf die Dichtung wirkende Last,  $H_{g0,d}$ , ist mit der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$H_{g0,d,R} = p_{g0} \cdot A_G \cdot A_5 \cdot \gamma_F \cdot D_G \cdot \pi \quad \text{oder} \quad H_{g0,d,\varepsilon} = p_{g0} \cdot A_G \cdot D_G \cdot \pi \quad (246)$$

$p_{g0} = Q_{\min}$  auf die Dichtung wirkender Druck im Einbauzustand

$$M_{\text{bolt}} = \frac{\mu \cdot H_{g0,d,\varepsilon} \cdot d_{\text{bolt}}}{n} \quad \text{wobei} \quad 0,15 \leq \mu \leq 0,20 \quad (247)$$

Das Schraubenanzugsmoment  $M_{\text{bolt}}$  ist auf der Montagezeichnung anzugeben.

### 11.2.5 Zusammenfassung der Lasten

Für den Betriebs- und Einbauzustand gilt Folgendes:

a) Betriebszustand

Die Mindest-Schraubenlast im Betriebszustand,  $W_{m1,d}$ , ist mit der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$W_{m1,d,R} = H_{A,d,R} + H_{F,d,R} + H_{g1,d,R} \quad \text{oder} \quad W_{m1,d,\varepsilon} = H_{A,d,\varepsilon} + H_{F,d,\varepsilon} + H_{g1,d,\varepsilon} \quad (248)$$

b) Einbauzustand

Der Mindestwert der Gesamt-Schraubenlast für den Dichtungssitz,  $W_{m0,d}$ , ist mit Gleichung (249) zu bestimmen:

$$W_{m0,d,R} \geq H_{R,d,R} + H_{g0,d,R} \quad \text{oder} \quad W_{m0,d,\varepsilon} \geq H_{R,d,\varepsilon} + H_{g0,d,\varepsilon} \quad (249)$$

### 11.2.6 Gesamt-Biegemoment

Für den Betriebs- und Einbauzustand gilt Folgendes:

a) Betriebszustand

Das Gesamt-Biegemoment im Betriebszustand,  $M_{1,d}$ , ist mit der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$M_{1,d,R} = H_{A,d,R} \cdot h_A + H_{F,d,R} \cdot h_F + H_{g1,d,R} \cdot h_{g1} \quad \text{oder} \quad (250)$$

$$M_{1,d,\varepsilon} = H_{A,d,\varepsilon} \cdot h_A + H_{F,d,\varepsilon} \cdot h_F + H_{g1,d,\varepsilon} \cdot h_{g1}$$

b) Einbauzustand

Das Gesamt-Biegemoment im Einbauzustand,  $M_{0,d}$ , ist mit der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$M_{0,d,R} = W_{m0,d,R} \cdot h_{g1} \quad \text{oder} \quad M_{0,d,\varepsilon} = W_{m0,d,\varepsilon} \cdot h_{g1} \quad (251)$$

### 11.2.7 Dimensionierung von Festflanschen

Der Nachweis muss für drei Querschnitte erfolgen: Querschnitte A-A, C-C und D-D nach Bild 53. Das Widerstandsmoment von Querschnitt A-A wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$Z_{A-A} = \frac{\pi}{6} \cdot [(OD - DN - d^*) \cdot N^2 + (DN + t_F) \cdot (t_F^2 - t^{*2})] \quad DN \leq 1\,000 \text{ mm}$$

$$Z_{A-A} = \frac{1,2 \cdot \pi}{6} \cdot [(OD - DN - d^*) \cdot N^2 + 0,8 \cdot (DN + t_F) \cdot (t_F^2 - t^{*2}) + 0,1 \cdot t_F \cdot (DN + t_F) \cdot N] \quad (252)$$

$$DN > 1\,000 \text{ mm}$$

Die folgende Gleichung muss im Betriebs- und im Einbauzustand erfüllt sein:

$$\sigma_{A,d,R} = \frac{M_{i,d,R}}{Z_{A-A}} \quad \text{oder} \quad \sigma_{A,d,\varepsilon} = \frac{M_{i,d,\varepsilon}}{Z_{A-A}} \quad (253)$$

Für die Tragfähigkeit bzw. die Dehnungsgrenze des gewählten Laminats ist die folgende Gleichung anzuwenden.

$$\frac{\sigma_{A,d,R}}{f_{i,k}} \leq 1 \quad \text{bzw.} \quad \frac{\sigma_{A,d,\varepsilon}}{E_{i,m}} \leq \varepsilon_{\text{lim}} \quad (254)$$

Das Widerstandsmoment von Querschnitt C-C wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$Z_{C-C} = \frac{\pi}{6} \cdot N^2 \cdot (OD - d^*) \quad (255)$$

Die Biegemomente für diesen Querschnitt sind identisch mit denen von Querschnitt A-A:

$$\sigma_{C,d,R} = \frac{M_{i,d,R}}{Z_{C-C}} \quad \text{oder} \quad \sigma_{C,d,\varepsilon} = \frac{M_{i,d,\varepsilon}}{Z_{C-C}} \quad (256)$$

Für die Tragfähigkeit bzw. die Dehnungsgrenze des gewählten Laminats ist die folgende Gleichung anzuwenden.

$$\frac{\sigma_{C,d,R}}{f_{i,k}} \leq 1 \quad \text{bzw.} \quad \frac{\sigma_{C,d,\varepsilon}}{E_{i,m}} \leq \varepsilon_{\text{lim}} \quad (257)$$

Das Widerstandsmoment von Querschnitt D-D wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$Z_{D-D} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{I_{xx}}{y_s} \quad (258)$$

wobei

$$I_{xx} = \frac{N^3(OD - DN)}{24} + \frac{N \cdot (OD - DN) \cdot \left(\frac{N}{2} - y_s\right)^2}{2} + \frac{l_F^3 \cdot (t_p + t_F)}{36} + \frac{l_F \cdot (t_p + t_F) \cdot \left(\frac{l_F}{2} + N - y_s\right)^2}{2}$$

$$y_s = \frac{N^2 \cdot (OD - DN) + l_F(t_p + t_F) \cdot (l_F + 2 \cdot N)}{2 \cdot [N \cdot (OD - DN) + l_F \cdot (t_p + t_F)]}$$

$$l_F = \sqrt{DN \cdot (t_p + t_F) / 4}$$

Die Biegemomente für diesen Querschnitt sind identisch mit denen von Querschnitt A-A:

$$\sigma_{D,d,R} = \frac{M_{i,d,R}}{Z_{D-D}} \quad \text{oder} \quad \sigma_{D,d,\varepsilon} = \frac{M_{i,d,\varepsilon}}{Z_{D-D}} \quad (259)$$

Für die Tragfähigkeit bzw. die Dehnungsgrenze des gewählten Laminats ist die folgende Gleichung anzuwenden.

$$\frac{\sigma_{D,d,R}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \leq 1 \quad \text{bzw.} \quad \frac{\sigma_{D,d,\varepsilon}}{E_{i,m}} \leq \varepsilon_{\text{lim}} \quad (260)$$

Für gewickelte oder geklebte Flansche oder Bundstutzen nach Bild 52 ist folgender Nachweis zu führen:

$$\tau_{d,R} = \frac{W_{i,d,R}}{\pi \times (DN + t_F) \times N}$$

Für die Klebfuge ist der nachfolgende Nachweis zu führen:

$$\frac{\tau_{R,d,R}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \leq 1$$

$\tau_{R,d,R}$  Schubspannung für  $(A_5 \cdot \gamma_{F,l})$  – fache Lasten

$\tau_{i,k}$  charakteristische Schubspannung beträgt 7,0 N/mm<sup>2</sup> für gewickelte Flansche und 5,0 N/mm<sup>2</sup> für geklebte Flansche/Bundstutzen

### 11.2.8 Flanschverdrehung

Die Flanschverdrehung/neigung ist mit der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$\phi = \frac{M \cdot d_c}{2 \cdot E \cdot I_{XX}} \leq 1,5^\circ \quad \text{bei Flanschen} \leq DN \ 1 \ 000 \quad (261)$$

Dabei ist

$$d_c = DN + 2 \cdot x_s \quad (262)$$

$$x_s = \frac{N \cdot (OD - DN)^2 + l_F \cdot (t_p + t_F)^2}{4 \cdot [N \cdot (OD - DN) + l_F \cdot (t_p + t_F)]}$$

$$M = \frac{H_{A,d,\varepsilon}}{\pi \cdot D} \cdot \frac{(PCD - DN - 2 \cdot x_s)}{2} \cdot \frac{d_c}{2} \quad (263)$$

Bei Flanschen > DN 1 000 sind größere Verformungen zulässig, wenn die Dichtheit sichergestellt ist.

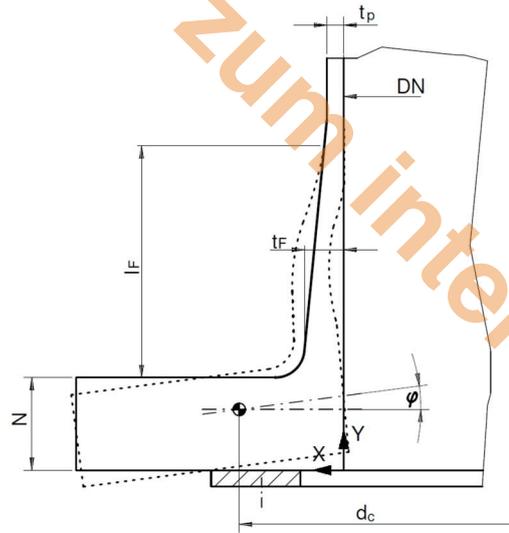
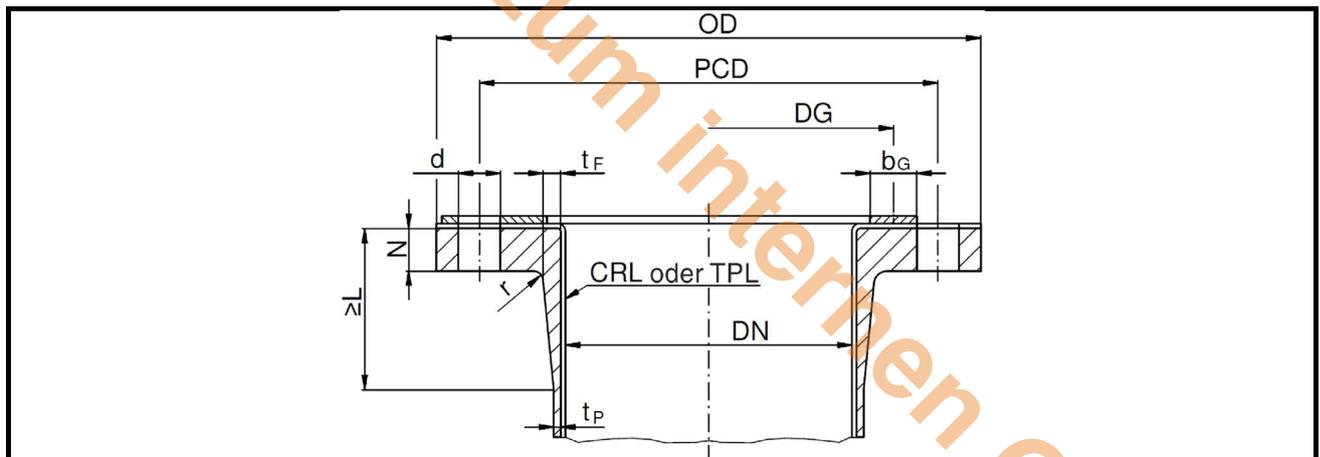


Bild 54 — Flanschverdrehung

Tabelle 24 — Einzelheiten zu Festflanschen mit Schrauben



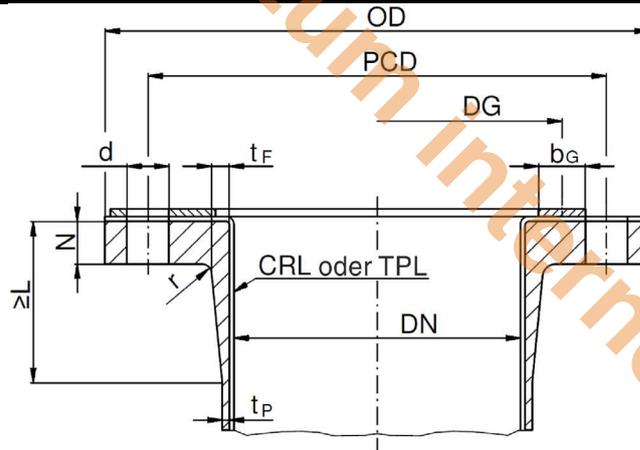
Nennweite des Abzweigs	Dicke N	$t_F$	$t_P$	Nennweite des Anschlusses										
				Klassifikation 150 (ASME B 16.5/16.47)					Klassifikation 10 (EN 1092-1, PN 10)					
				DN	OD	PCD	d	Schrauben	OD	PCD	d	Schrauben		
mm	mm	mm	mm	Anz.	Größe inch	mm	mm	mm	Anz.	Größe mm				
25	18	9	3	1	110	79,4	16	4	½	115	85	14	4	M12
32	18	11	3	1 ¼	115	88,9	16	4	½	140	100	18	4	M16
40	18	11	3	1 ½	125	98,4	16	4	½	150	110	18	4	M16
50	18	11	3	2	150	120,7	19	4	⅝	165	125	18	4	M16
65	20	11	3	2 ½	180	139,7	19	4	⅝	185	145	18	8	M16
80	20	12	3	3	190	152,4	19	4	⅝	200	160	18	8	M16
100	23	12	3	4	230	190,5	19	8	⅝	220	180	18	8	M16
125	26	12	3	5	255	215,9	23	8	¾	250	210	18	8	M16
150	31	12	3	6	280	241,3	23	8	¾	285	240	22	8	M20
200	36	15	4	8	345	298,5	23	8	¾	340	295	22	8	M20
250	44	15	5	10	405	362	26	12	⅞	395	350	22	12	M20
300	50	17	6	12	485	431,8	26	12	⅞	445	400	22	12	M20
350	55	21	7	14	535	476,3	29	12	1	505	460	22	16	M20
400	60	22	8	16	595	539,8	29	16	1	565	515	26	16	M24
450	65	23	9	18	635	577,9	32	16	1 ⅛	615	565	26	20	M24
500	70	25	10	20	700	635	32	20	1 ⅛	670	620	26	20	M24
600	85	25	12	24	815	749,3	35	20	1 ¼	780	725	30	20	M27
700	100	27	14	28	925	863,6	35	28	1 ¼	895	840	30	24	M27
800	110	32	16	32	1 060	977,9	42	28	1 ½	1 015	950	33	24	M30
900	120	33	18	36	1 170	1 085,8	42	32	1 ½	1 115	1 050	33	28	M30
1 000	135	35	20	40	1 290	1 200,2	42	36	1 ½	1 230	1 160	36	28	M33

## ANMERKUNG

Die Nenndruckstufen beruhen auf:

- 1 Auslegungsspannung des Flanschlaminate  $f_{m,k}/K = 30 \text{ N/mm}^2$  und des Rohrlaminate  $25 \text{ N/mm}^2$
- 2 Mindestflächenpressung der Dichtung  $Q_{\min} \leq 2,5 \text{ N/mm}^2$
- 3 Höchstwert der Flanschverformung  $\varphi = 1,2^\circ$
- 4  $r \geq 3 \text{ mm}$

Tabelle 25 — Einzelheiten zu Festflanschen mit Schrauben

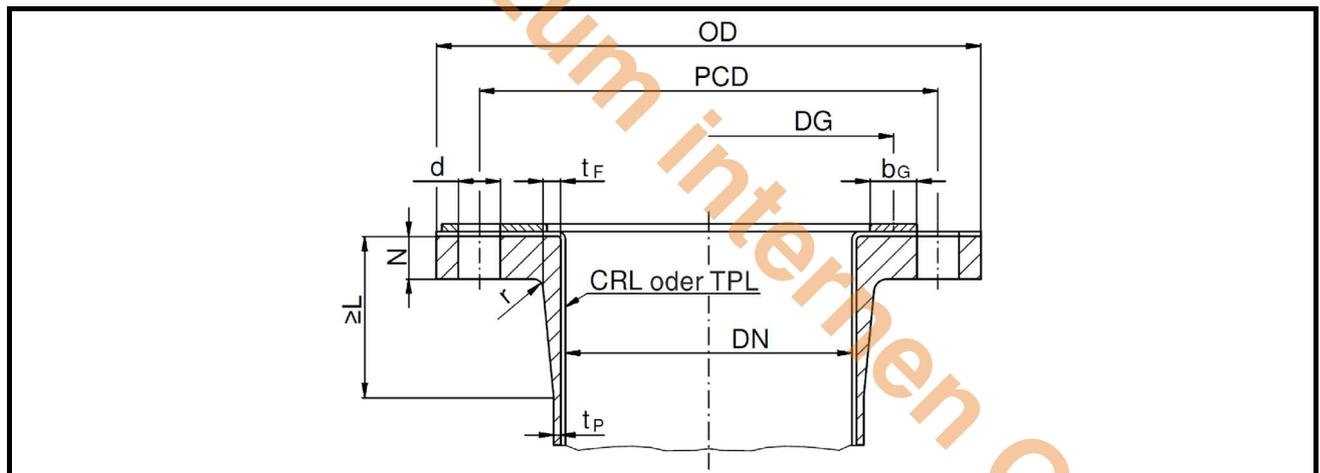


Nennweite des Abzweigs	Dicke N	6 bar Druck	t <sub>F</sub>	t <sub>P</sub>	Nennweite des Anschlusses									
					Klassifikation 150 (ASME B 16.5/16.47)					Klassifikation 10 (EN 1092-1, PN 10)				
					DN	OD	PCD	d	Schrauben	OD	PCD	d	Schrauben	
mm	mm	mm	mm	in	mm	mm	mm	Anz.	Größe inch	mm	mm	mm	Anz.	Größe mm
25	14	9	3	1	110	79,4	16	4	½	115	85	14	4	M12
32	14	11	3	1 ¼	115	88,9	16	4	½	140	100	18	4	M16
40	14	11	3	1 ½	125	98,4	16	4	½	150	110	18	4	M16
50	14	11	3	2	150	120,7	19	4	⅝	165	125	18	4	M16
65	18	11	3	2 ½	180	139,7	19	4	⅝	185	145	18	8	M16
80	18	12	3	3	190	152,4	19	4	⅝	200	160	18	8	M16
100	20	12	3	4	230	190,5	19	8	⅝	220	180	18	8	M16
125	20	12	3	5	255	215,9	23	8	¾	250	210	18	8	M16
150	23	12	3	6	280	241,3	23	8	¾	285	240	22	8	M20
200	26	15	3	8	345	298,5	23	8	¾	340	295	22	8	M20
250	31	15	3	10	405	362	26	12	⅞	395	350	22	12	M20
300	36	17	3,6	12	485	431,8	26	12	⅞	445	400	22	12	M20
350	41	21	4,2	14	535	476,3	29	12	1	505	460	22	16	M20
400	46	22	4,8	16	595	539,8	29	16	1	565	515	26	16	M24
450	51	23	5,4	18	635	577,9	32	16	1 ⅛	615	565	26	20	M24
500	56	25	6	20	700	635	32	20	1 ⅛	670	620	26	20	M24
600	65	25	7,2	24	815	749,3	35	20	1 ¼	780	725	30	20	M27
700	76	27	8,4	28	925	863,6	35	28	1 ¼	895	840	30	24	M27
800	85	32	9,6	32	1 060	977,9	42	28	1 ½	1 015	950	33	24	M30
900	94	33	11	36	1 170	1 085,8	42	32	1 ½	1 115	1 050	33	28	M30
1 000	105	35	12	40	1 290	1 200,2	42	36	1 ½	1 230	1 160	36	28	M33

ANMERKUNG Die Nenndruckstufen beruhen auf:

- 1 Auslegungsspannung des Flanschlaminate  $f_{m,k}/K = 30 \text{ N/mm}^2$  und des Rohrlaminate  $25 \text{ N/mm}^2$
- 2 Mindestflächenpressung der Dichtung  $Q_{\min} \leq 2,5 \text{ N/mm}^2$
- 3 Höchstwert der Flanschverformung  $\varphi = 1,2^\circ$
- 4  $r \geq 3 \text{ mm}$

Tabelle 26 — Einzelheiten zu Festflanschen mit Schrauben



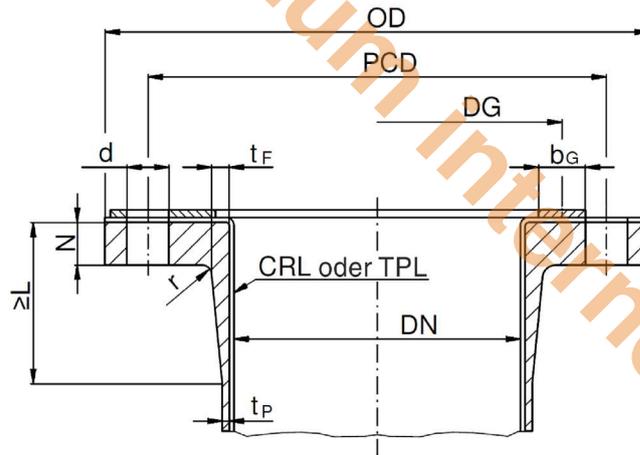
Nennweite des Abzweigs	Dicke N	t <sub>F</sub>	t <sub>P</sub>	Nennweite des Anschlusses										
				Klassifikation 150 (ASME B 16.5/16.47)						Klassifikation 10 (EN 1092-1, PN 10)				
DN	4 bar Druck			DN	OD	PCD	d	Schrauben		OD	PCD	d	Schrauben	
mm	mm	mm	mm	in	mm	mm	mm	Anz.	Größe inch	mm	mm	mm	Anz.	Größe mm
25	14	9	3	1	110	79,4	16	4	½	115	85	14	4	M12
32	14	11	3	1 ¼	115	88,9	16	4	½	140	100	18	4	M16
40	14	11	3	1 ½	125	98,4	16	4	½	150	110	18	4	M16
50	14	11	3	2	150	120,7	19	4	⅝	165	125	18	4	M16
65	16	11	3	2 ½	180	139,7	19	4	⅝	185	145	18	8	M16
80	16	12	3	3	190	152,4	19	4	⅝	200	160	18	8	M16
100	16	12	3	4	230	190,5	19	8	⅝	220	180	18	8	M16
125	18	12	3	5	255	215,9	23	8	¾	250	210	18	8	M16
150	18	12	3	6	280	241,3	23	8	¾	285	240	22	8	M20
200	21	15	3	8	345	298,5	23	8	¾	340	295	22	8	M20
250	26	15	3	10	405	362	26	12	⅞	395	350	22	12	M20
300	30	17	3	12	485	431,8	26	12	⅞	445	400	22	12	M20
350	35	21	3	14	535	476,3	29	12	1	505	460	22	16	M20
400	39	22	3,2	16	595	539,8	29	16	1	565	515	26	16	M24
450	43	23	3,6	18	635	577,9	32	16	1 ⅛	615	565	26	20	M24
500	47	25	4	20	700	635	32	20	1 ⅛	670	620	26	20	M24
600	53	25	4,8	24	815	749,3	35	20	1 ¼	780	725	30	20	M27
700	65	27	5,6	28	925	863,6	35	28	1 ¼	895	840	30	24	M27
800	73	32	6,4	32	1 060	977,9	42	28	1 ½	1 015	950	33	24	M30
900	80	33	7,2	36	1 170	1 085,8	42	32	1 ½	1 115	1 050	33	28	M30
1 000	90	35	8	40	1 290	1 200,2	42	36	1 ½	1 230	1 160	36	28	M33

## ANMERKUNG

Die Nenndruckstufen beruhen auf:

- 1 Auslegungsspannung des Flanschlaminats  $f_{m,k}/K = 30 \text{ N/mm}^2$  und des Rohrlaminats  $25 \text{ N/mm}^2$
- 2 Mindestflächenpressung der Dichtung  $Q_{\min} \leq 2,5 \text{ N/mm}^2$
- 3 Höchstwert der Flanschverformung  $\varphi = 1,2^\circ$
- 4  $r \geq 3 \text{ mm}$

Tabelle 27 — Einzelheiten zu Festflanschen mit Schrauben



Nennweite des Abzweigs	Dicke N	t <sub>F</sub>	t <sub>P</sub>	Nennweite des Anschlusses										
				Klassifikation 150 (ASME B 16.5/16.47)						Klassifikation 10 (EN 1092-1, PN 10)				
				DN	OD	PCD	d	Schrauben		OD	PCD	d	Schrauben	
mm	mm	mm	mm	in	mm	mm	mm	Anz.	Größe inch	mm	mm	mm	Anz.	Größe mm
25	14	9	3	1	110	79,4	16	4	½	115	85	14	4	M12
32	14	11	3	1 ¼	115	88,9	16	4	½	140	100	18	4	M16
40	14	11	3	1 ½	125	98,4	16	4	½	150	110	18	4	M16
50	14	11	3	2	150	120,7	19	4	⅝	165	125	18	4	M16
65	16	11	3	2 ½	180	139,7	19	4	⅝	185	145	18	8	M16
80	16	12	3	3	190	152,4	19	4	⅝	200	160	18	8	M16
100	16	12	3	4	230	190,5	19	8	⅝	220	180	18	8	M16
125	18	12	3	5	255	215,9	23	8	¾	250	210	18	8	M16
150	18	12	3	6	280	241,3	23	8	¾	285	240	22	8	M20
200	18	15	3	8	345	298,5	23	8	¾	340	295	22	8	M20
250	22	15	3	10	405	362	26	12	⅞	395	350	22	12	M20
300	26	17	3	12	485	431,8	26	12	⅞	445	400	22	12	M20
350	30	21	3	14	535	476,3	29	12	1	505	460	22	16	M20
400	33	22	3	16	595	539,8	29	16	1	565	515	26	16	M24
450	37	23	3	18	635	577,9	32	16	1 ⅛	615	565	26	20	M24
500	41	25	3	20	700	635	32	20	1 ⅛	670	620	26	20	M24
600	47	25	3	24	815	749,3	35	20	1 ¼	780	725	30	20	M27
700	55	27	3,5	28	925	863,6	35	28	1 ¼	895	840	30	24	M27
800	62	32	4	32	1 060	977,9	42	28	1 ½	1 015	950	33	24	M30
900	70	33	4,5	36	1 170	1 085,8	42	32	1 ½	1 115	1 050	33	28	M30
1 000	78	35	5	40	1 290	1 200,2	42	36	1 ½	1 230	1 160	36	28	M33

ANMERKUNG Die Nenndruckstufen beruhen auf:

- 1 Auslegungsspannung des Flanschlaminats  $f_{m,k}/K = 30 \text{ N/mm}^2$  und des Rohrlaminats  $25 \text{ N/mm}^2$
- 2 Mindestflächenpressung der Dichtung  $Q_{\min} \leq 2,5 \text{ N/mm}^2$
- 3 Höchstwert der Flanschverformung  $\varphi = 1,2^\circ$
- 4  $r \geq 3 \text{ mm}$

Tabelle 28 — Einzelheiten zu Festflanschen mit Schrauben

Nennweite des Abzweigs	Dicke $N$	$t_F$	$t_P$	Nennweite des Anschlusses										
				Klassifikation 150 (ASME B 16.5/16.47)						Klassifikation 10 (EN 1092-1, PN 10)				
DN	1 bar Druck			DN	OD	PCD	$d$	Schrauben		OD	PCD	$d$	Schrauben	
mm	mm	mm	mm	in	mm	mm	mm	Anz.	Größe inch	mm	mm	mm	Anz.	Größe mm
500	30	25	3	20	700	635	32	20	1 3/8	670	620	26	20	M24
600	35	25	3	24	815	749,3	35	20	1 1/4	780	725	30	20	M27
700	41	27	3,5	28	925	863,6	35	28	1 1/4	895	840	30	24	M27
800	46	32	4	32	1 060	977,9	42	28	1 1/2	1 015	950	33	24	M30
900	51	33	4,5	36	1 170	1 085,8	42	32	1 1/2	1 115	1 050	33	28	M30
1 000	56	35	5	40	1 290	1 200,2	42	36	1 1/2	1 230	1 160	36	28	M33

ANMERKUNG Die Nenndruckstufen beruhen auf

- 1 Auslegungsspannung des Flanschlaminats  $f_{m,k}/K = 30 \text{ N/mm}^2$  und des Rohrlaminats  $25 \text{ N/mm}^2$
- 2 Mindestflächenpressung der Dichtung  $Q_{\min} \leq 2,5 \text{ N/mm}^2$
- 3 Höchstwert der Flanschverformung  $\varphi = 1,2^\circ$
- 4  $r \geq 3 \text{ mm}$
- 5 Bei Flanschen für Einsteigöffnungen (mit Blindflanschen) verringerte(r) Schraubengröße und Schraubenlochdurchmesser bei gesonderter Berechnung möglich.

## 11.3 Bundstutzen mit Losring

### 11.3.1 Allgemeines

Dieses Auslegungsverfahren gilt für Bundstutzen mit Losringen aus Stahl oder GFK. Die Bundstutzen werden entweder an das Stutzenrohr angeformt oder als vorgeformtes Teil mit dem Stutzenrohr verbunden, siehe Bild 47 und Bild 55.

Der Metall-Stützring muss in jedem Fall wie ein Losflansch mittels der Auslegungsregeln nach EN 13445-3 oder einer anderen zutreffenden Druckbehälternorm berechnet werden. Die in den Berechnungen verwendeten Maße für die Bunddicke sind in Bild 55 angegeben.

### 11.3.2 Lasten, Biegemoment und Auslegung für Losring aus Stahl oder GFK

Für den Betriebs- und Einbauzustand gilt Folgendes:

$$H_{p,d,R} = p_{d,R} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot DN^2 \quad (264)$$

Dabei ist  $p_{d,R} = PS_{op} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,p} + p_{hp} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,w}$

$$H_{R,d,R} = \sum H_{R,i} \cdot \gamma_F \quad (265)$$

$H_{R,i}$  sind die Beanspruchungen durch zusätzliche auf den Flansch wirkende axiale Lasten  $H$  oder

$$\text{Moment } H_M = \frac{4 \cdot M}{DN + t_p}$$

$$H_{A,d,R} = H_{p,d,R} + H_{R,d,R} \quad (266)$$

$$H_{F,d,R} = p_{d,R} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_G^2 - DN^2) \quad (267)$$

$$H_{g0,d,R} = p_{g0,R} \cdot A_G \cdot \gamma_F \quad (268)$$

$p_{g0}$  = auf die Dichtung wirkender Druck im Einbauzustand

$$H_{g1,d,R} = p_{g1,R} \cdot A_G \cdot \gamma_F \quad (269)$$

$p_{g1}$  = auf die Dichtung wirkender Druck im Betriebszustand

Betriebszustand:

Das Mindestmoment im Betriebszustand,  $M_{1,d,R}$ , ist mit der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$M_{1,d,R} = (H_{A,d,R} + H_{F,d,R} + H_{g1,d,R}) \cdot h_B \quad (270)$$

Einbauzustand:

Das Mindestmoment für den Dichtungssitz,  $M_{0,d,R}$ , ist mit der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$M_{0,d,R} \geq (H_{R,d,R} + H_{g0,d,R}) \cdot h_B \quad (271)$$

Bei einteilig ausgeführten Losringen aus Stahl muss die Dicke des Rings  $t_R$  der zutreffenden Norm für Stahlflansche entsprechen.

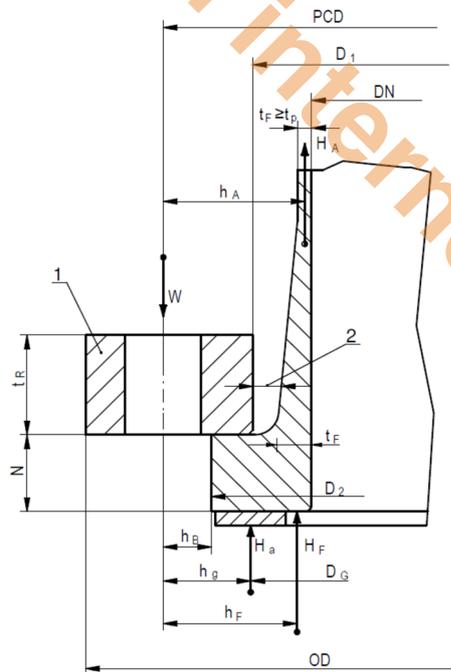
$$\sigma_{d,R} = \frac{M_{i,d,R}}{\frac{\pi}{6} \times (OD - D_1 - d^*) \times t_R^2} \quad (272)$$

Für die Tragfähigkeit ist Gleichung (273) anzuwenden:

$$\frac{\sigma_{d,R}}{f_{i,k}/\gamma_M} \leq 1 \quad (273)$$

Bei geteilten Ringen ergibt sich die Dicke des Stützflansches  $t_s$  aus der Gleichung (274):

$$t_s = t_R \cdot \sqrt{2} \quad (274)$$



### Legende

Hebel:  $h_B = \frac{PCD - D_2}{2}$

- 1 Metallring
- 2 der Spalt zwischen dem Innendurchmesser des Stützflansches und dem Außendurchmesser des Ansatzes muss möglichst klein gehalten werden

**Bild 55 — Bundstutzen, Detailansicht**

### 11.3.3 Beanspruchungen von Bundstutzen

Die Beanspruchungen von Bundstutzen sind identisch denen von Festflanschen nach 11.2.5.

### 11.3.4 Schubspannungen am Bundstutzen

Die Schubspannung im Bund ergibt sich aus:

$$\tau_{d,R} = \frac{W_{i,d,R}}{\pi \cdot (DN + t_F) \cdot N} \quad (275)$$

Für die Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist die folgende Gleichung anzuwenden.

$$\frac{\tau_{d,R}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \leq 1 \quad (276)$$

### 11.3.5 Dimensionierung des Bundstutzens

Für die Biegemomente für diesen Querschnitt gilt:

$$M_{A0,d} = W_{m,d} \cdot (h_A - h_B) \quad (277)$$

$$M_{A1,d} = W_{m1,d} \cdot (h_A - h_B) \quad (278)$$

Das Widerstandsmoment von Querschnitt A-A wird mit Gleichung (279) berechnet:

$$Z_{A-A} = \frac{\pi}{6} \cdot [(D_2 - DN) \cdot N^2 + (DN + t_F) \cdot t_F^2] \quad DN \leq 1000 \text{ mm} \quad (279)$$

$$Z_{A-A} = \frac{1,2 \cdot \pi}{6} \cdot [(D_2 - DN) \cdot N^2 + 0,8 \cdot (DN + t_F) \cdot (t_F^2 - t_p^2) + 0,1 \cdot t_F \cdot (DN + t_F) \cdot N] \\ DN > 1000 \text{ mm}$$

Die folgenden Spannungen ergeben sich für Betriebs- und Einbauzustand:

$$\sigma_{A,d,R} = \frac{M_{i,d,R}}{Z_{A-A}} \quad (280)$$

$$\sigma_{A,d,\varepsilon} = \frac{M_{i,d,\varepsilon}}{Z_{A-A}} \quad (281)$$

Für die Tragfähigkeit bzw. die Dehnungsgrenze des gewählten Laminats ist die folgende Gleichung anzuwenden.

$$\frac{\sigma_{A,d,R}}{\frac{f_{i,k}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4}} \leq 1 \quad \text{bzw.} \quad \frac{\sigma_{A,d,\varepsilon}}{E_{i,m}} \leq \varepsilon_{\text{lim}} \quad (282)$$

Das Widerstandsmoment von Querschnitt C-C wird mit Gleichung (283) berechnet:

$$Z_{C-C} = \frac{\pi}{6} \cdot N^2 \cdot (D_2 - d^*) \quad (283)$$

Die Biegemomente für diesen Querschnitt entsprechen den Gleichungen (284) und (285):

$$\sigma_{C,d,R} = \frac{M_{i,d,R}}{Z_{C-C}} \quad (284)$$

$$\sigma_{C,d,\varepsilon} = \frac{M_{i,d,\varepsilon}}{Z_{C-C}} \quad (285)$$

Für die Tragfähigkeit bzw. die Dehnungsgrenze des gewählten Laminats ist die folgende Gleichung anzuwenden.

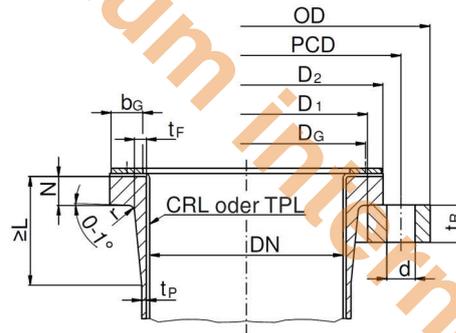
$$\frac{\sigma_{C,d,R}}{\frac{f_{i,k}}{\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4}} \leq 1 \quad \text{bzw.} \quad \frac{\sigma_{C,d,\varepsilon}}{E_{i,m}} \leq \varepsilon_{\text{lim}} \quad (286)$$

### 11.3.6 Druckspannung

Die Druckspannung zwischen dem Losring und Bundflansch wird mit Gleichung (287) berechnet:

$$\sigma_{S,d} = \frac{(W_{m1,d} \text{ oder } W_{m2,d})}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_2^2 - D_1^2)} \quad \text{dabei ist} \quad \frac{\sigma_{S,d}}{f_{S,k} / (\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \leq 1 \quad \text{mit } f_{S,k} = 150 \text{ N/mm}^2 \quad (287)$$

Tabelle 29 — Bundflansch



Nennweite des Abzweigs	Dicke		FRP	Stahl		Nennweite des Anschlusses							
						Klassifikation 150 (ASME B 16.5/16.47)				Klassifikation 10 (EN 1092-1, PN 10)			
DN	N	t <sub>F</sub>	t <sub>R</sub>	t <sub>R</sub>	t <sub>P</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	OD	PCD	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	OD	PCD
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	in	mm	mm	mm	in	mm
<b>10 bar</b>													
25	12	9	14	12	3	58	63	110	79,4	58	69	115	85
32	14	9	15	12	3	69	73	115	88,9	69	80	140	100
40	14	10	16	12	3	77	82	125	98,4	77	90	150	110
50	14	11	18	14	3	87	102	150	120,7	87	105	165	125
65	15	11	20	14	3	102	120	180	139,7	102	125	185	145
80	16	12	22	14	3	121	133	190	152,4	121	140	200	160
100	18	12	24	17	3	141	171	230	190,5	141	160	220	180
125	20	13	27	17	3	166	193	255	215,9	166	190	250	210
150	22	14	30	18	3	191	218	280	241,3	191	216	285	240
<b>6 bar</b>													
200	25	14	32	20	3	251	275	345	298,5	251	271	340	295
250	28	17	34	22	3	301	336	405	362	301	326	395	350
300	30	17	36	26	3,6	355	406	485	431,8	355	376	445	400
<b>4 bar</b>													
350	32	14	38	28	3	413	447	535	476,3	413	436	505	460
400	35	16	42	32	3,2	465	511	595	539,8	465	487	565	515
450	36	17	44	34	3,6	517	545	635	577,9	517	537	615	565
500	38	17,5	47	38	4	571	603	700	635	571	592	670	620
<b>2,5 bar</b>													
600	45	20	47	36	3	671	714	815	749,3	671	693	780	725
700	53	25,5	53	40	3,5	775	826	925	863,6	775	808	895	840
800	57	25	60	44	4	885	936	1 060	977,9	885	915	1 015	950
900	60	26	65	48	4,5	987	1 044	1 170	1 085,8	987	1 015	1 115	1 050
1 000	64	26	70	52	5	1 091	1 158	1 290	1 200,2	1 091	1 122	1 230	1 160
ANMERKUNG	Die Nenndruckstufen beruhen auf:												
	1	Auslegungsspannung des Flanschlaminate $f_{m,k}/K = 30 \text{ N/mm}^2$ und des Rohrlaminate $25 \text{ N/mm}^2$											
	2	Mindestflächenpressung der Dichtung $Q_{\min} \leq 2,5 \text{ N/mm}^2$											
	3	Höchstwert der Flanschverformung $\varphi = 1,2^\circ$											
	4	$r \geq 3 \text{ mm}$											
	5	der Innendurchmesser des Rings $D_1$ gilt nicht für Flansche mit DN-Angabe in Zoll und abgerundeten Kanten											
	6	Stahl S235JR nach EN 10025-2											

## 11.4 Anlaminieren von Flanschen an Behältern und Tanks

Werden vorgefertigte oder vorgeformte Flansche als Abzweigstutzen an die Behälterschale anlamiert, so muss das Überlaminat entsprechend den Anforderungen in der folgenden Gleichung sowie den jeweils zutreffenden Einzelheiten nach 10.8 ausgeführt werden.

Axiale Schnittlast für das Verbindungslaminat:

$$n_{\text{joint,d,R}} = \frac{p_{\text{d,R}} \cdot (d_{\text{b}} + t)}{4} \quad \text{oder} \quad n_{\text{joint,p,d,\varepsilon}} = \frac{p_{\text{d,\varepsilon}} \cdot (d_{\text{b}} + t)}{4} \quad (288)$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.

Die Lamine sollten gleichmäßig zwischen Innen- und Außenseite verteilt sein. Die Mindestanzahl der Schichten muss mehr als  $3 \times 450 \text{ g/m}^2$  betragen.

Die Schublast in der Verbindung ergibt sich aus:

$$\tau_{\text{over,d}} = \frac{n_{\text{joint,d,R}}}{l_{\text{over}}} \quad \text{und} \quad \tau_{\text{over,d}} \leq \frac{\tau_{\text{k}}}{(\gamma_{\text{M}} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4)} \quad (289)$$

und

$$l_{\text{over}} \leq 16 \cdot t_{\text{over}} \quad (290)$$

Dabei ist

- $L_{\text{j}}$  die Gesamtlänge des Überlaminats =  $2 \cdot l_{\text{over}}$ ;
- $d_{\text{b}}$  der Innendurchmesser des Abzweigs;
- $\tau_{\text{k}}$  die charakteristische interlaminare Schubfestigkeit des Laminats;
- $p_{\text{d,R}}$   $p_{\text{d,R}} = PS_{\text{op}} \cdot A_{5,\text{i}} \cdot \gamma_{\text{F,p}} + p_{\text{hp}} \cdot A_{5,\text{i}} \cdot \gamma_{\text{F,w}}$

Liegt ein Messwert für  $\tau_{\text{k}}$  vor, kann dieser statt des in Tabelle 4 angegebenen Wertes in der Gleichung eingesetzt werden.

Die Länge des Überlaminats muss bei Abzweigen mit einer Wanddicke (ohne Auskleidung)  $< 6 \text{ mm}$  mindestens  $100 \text{ mm}$  und bei Abzweigen mit einer Wanddicke (ohne Auskleidung)  $> 6 \text{ mm}$  mindestens  $150 \text{ mm}$  betragen.

Für diese Verbindungen gelten die gleichen Auslegungs- und Konstruktionsanforderungen wie in 10.7 für umlaufende Nahtverbindungen für Tanks und Behälter angegeben.

## 12 Auflagerkonstruktionen für Behälter und Tanks

### 12.1 Allgemeines

Bei der Auslegung von Auflagern für GFK-Behälter und GFK-Tanks ist darauf zu achten, dass übermäßige Lasten an den Stützstellen vermieden werden. Sämtliche Auflager müssen so beschaffen sein, dass sie Temperaturschwankungen aufnehmen können und weder Ausdehnung noch Schrumpfung behindern. Bei der Auslegung von Auflagern aus metallischen Werkstoffen sind – unabhängig von einer Befestigung direkt an der Schale oder nicht – insbesondere deren unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten zu beachten.

Bei der Auslegung von Behältern und Tanks mit einem Rührwerk ist mit einem Lastbeiwert von 1,25 zu rechnen.

Flachböden von Flachbodentanks sind mit Ausnahme der Stellen, wo Wannen oder Ablaufvorrichtungen vorgesehen sind, vollflächig zu lagern (siehe Bild 31).

Die für Abzweige in Flachböden vorgesehene Fundamentausparung ist so zu bemessen, dass ausreichend Raum für die Anbindungslamine, sowie gegebenenfalls erforderliche kegelförmige Verstärkung vorhanden ist, damit örtliche Lastspitzen nicht auf die Abzweigöffnungen wirken (siehe Bild 30).

Wenn die Gefahr besteht, dass der Tank oder Behälter vom Fundament abhebt, sind Verankerungen vorzusehen. Angaben zur Konstruktion und Berechnung von Verankerungen sind in Abschnitt 14 und in den Bildern 59 und 60 dargelegt. Anforderungen an das Fundament und Hinweise zur Montage der Verankerung sind in EN 13121-4 angegeben.

## 12.2 Auflager und Aufhängungen für Tanks und Behälter

### 12.2.1 Allgemeine Hinweise zu Auflagern

Dieser Unterabschnitt sowie 12.2.2 behandeln Auflager für Behälter und Anbauteile von Schalen und Böden nur im Hinblick auf deren Wirkung auf den Behälter. Dabei ist die konstruktive Auslegung der Auflager nicht berücksichtigt, da sie anhand der gebräuchlichen Konstruktionsverfahren erfolgen kann.

Die Auflager von Behältern und Anbauteilen der Schale erzeugen örtliche Momente und Membranspannungen in der Behälterwand, die mit den in Abschnitt 16 angegebenen Verfahren zu untersuchen sind.

Die Auflager von Behältern sind so auszulegen, dass sie zusätzlich zur Eigenlast des Behälters und seines Inhalts allen wahrscheinlich auftretenden äußeren Lasten standhalten können. Dies können sein:

- a) direkt überlagerte Lasten;
- b) Windlasten auf freistehenden Behältern;
- c) Druckkräfte oder Momente, die von angeschlossenen Rohrleitungen oder Anlagenteilen übertragen werden;
- d) Stoßlasten aufgrund von Wasserschlag oder Schwallwellen des Behälterinhalts;
- e) Kräfte aufgrund unterschiedlicher Ausdehnung von Behälter und Auflagern.

### 12.2.2 Auflager und Halterungen für stehende Behälter

#### 12.2.2.1 Stützfüße

Direkt am Tank oder Behälter angebrachte, einzelne Stützfüße sind nur zulässig bei Tanks bzw. Behältern mit einem Durchmesser bis 1 500 mm, einer Höhe bis 2 000 mm und einer Dichte der Flüssigkeit bis 1 200 kg/m<sup>3</sup>.

Bei Überschreitung dieser Abmessungen dürfen Behälter nur auf Stützfüßen gelagert sein, wenn diese an einem Ringträger oder Tragring befestigt sind, siehe Bilder 56 und 57.

Stützfüße dürfen nicht unmittelbar an gewölbten Böden befestigt sein, siehe Bild 57.

Wenn die Stützfüße direkt an der Schale anzuordnen sind, müssen diese möglichst zentrisch unterhalb der Zylinderschale positioniert werden. Die Zylinderschale ist auf die Wirkungen der Lasten und Momente zu untersuchen.

### 12.2.2.2 Integrierte Tragringe

Es ist häufig sinnvoll, stehende Behälter mittels eines an geeigneter Stelle fest mit dem Behälter verbundenen Tragrings/Lastschulter aufzulagern, wie in den Bildern 56 und 57 dargestellt.

Der Tragring lässt sich mit den nachstehenden Gleichungen und den Angaben in den zugehörigen Bildern berechnen.

Alle Tragringe müssen auf geeigneten Stütz- oder Stahltragwerkkonstruktion ruhen, wie in den Bildern 56 und 57 oder ähnlich dargestellt.

### 12.2.2.3 Ringträger

Die Stützfüße großer stehender Behälter sind häufig mit einem Ringträger verbunden, auf dem die Behälterschale ruht. Bei einigen Ausführungen ist der untere Teil einer Standzarge zu einem Ringträger verstärkt. Ein typischer Ringträger ist in Bild 56 dargestellt. Derartige Ringträger unterliegen sowohl Torsions- als auch Biegebeanspruchungen, die nachstehende spezielle Berechnungen erforderlich machen. Die Ringträger sollten möglichst als geschlossene Ringe ausgeführt werden. Wird kein geschlossener Ring verwendet, muss die Torsionsfestigkeit des Rings überprüft werden, um sicherzustellen, dass einwirkende Lasten nicht zu örtlichem Beulen der Schale führen können.

Wenn die maximal zulässige Durchbiegung des Rings zwischen zwei beliebigen Stützfüßen 1 mm beträgt, kann die Berechnung der von den Stützfüßen auf die Schale aufgetragenen konzentrierten Last vernachlässigt werden.

Bei gleichmäßigen Abständen zwischen den Stützfüßen lassen sich Biege- und Torsionsmomente im Ringträger mit den in Tabelle 30 (Biege- und Torsionsbeiwerte für Untersuchungen an Ringträgern) und den nachstehenden Gleichungen aufgeführten Beiwerten ermitteln.

**Tabelle 30 — Biege- und Torsionsbeiwerte für Untersuchungen an Ringträgern**

Anzahl der Stützfüße	4	6	8	12
Last je Stützfuß	$\frac{W}{4}$	$\frac{W}{6}$	$\frac{W}{8}$	$\frac{W}{12}$
Max. Schublast im Ringträger	$\frac{W}{8}$	$\frac{W}{12}$	$\frac{W}{16}$	$\frac{W}{24}$
$C_{m1}$	-0,034 2	-0,014 8	-0,008 27	-0,003 65
$C_{m2}$	+0,017 6	+0,007 51	+0,004 15	+0,001 90
$C_x$	0,335	0,222	0,166	0,111
$C_t$	0,005 3	0,001 5	0,000 63	0,000 185

Dabei ist

$W$  die Gesamtlast von Tank und Inhalt  $\times \gamma_{F,i}$ .

Das Biegemoment  $M_1$  an der Stützstelle wird wie folgt berechnet:

$$M_1 = C_{m1} \cdot W \cdot R_2 + 0,16 \cdot W \cdot e_p \quad (291)$$

Dabei ist

$R_2$  der Radius zur Nullachse des Rings (siehe Bild 56);

$e_p$  der Abstand zwischen Belastungspunkt und Nullachse des Rings.

$M_2$  ist das Biegemoment in der Mitte zwischen den Auflagern.

$$M_2 = C_{m2} \cdot W \cdot R_2 + 0,16 \cdot W \cdot e_p \quad (292)$$

Der Abstand auf beiden Seiten der Stützstelle zu dem Auflagepunkt, an dem das maximale Torsionsmoment angreift und das Biegemoment gleich null ist, wird mit Gleichung (293) berechnet, siehe Bild 56:

$$x = C_x \cdot R_2 \quad (293)$$

Der maximale Torsionswert wird mit Gleichung (294) berechnet:

$$T = C_t \cdot W \cdot R_2 \quad (294)$$

Liegt das Auflager nicht direkt auf der z-Achse des Profils, ist ein zusätzliches Torsionsmoment im Stützfußbereich gegeben.

$$T_{add} = 0,5 \cdot W \cdot e_e / \text{Anzahl der Stützfüße} \quad (295)$$

Ein in der unteren Hälfte des Ringträgers eine Zugspannung bewirkendes Biegemoment wird als positiv angenommen. Das Torsionsmoment im Ringträger ist an den Stützstellen und in der Mitte zwischen diesen gleich null.

Spannungen im Ringträger:

Die Biegespannungen im Ringträger müssen an jeder Position einer Stützstelle mit Gleichung (296) berechnet werden:

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_{yy}} \quad (296)$$

Dabei ist

$Z_{yy}$  das Widerstandsmoment um die Achse y-y.

Die Vergleichsscherspannung im Ringflansch aufgrund der Torsionslasten ist nach Gleichung (297) mit  $T_i = T + T_{add}$  zu berechnen:

$$\tau_t = \frac{\Sigma T_i}{Z_{xx}} \quad (297)$$

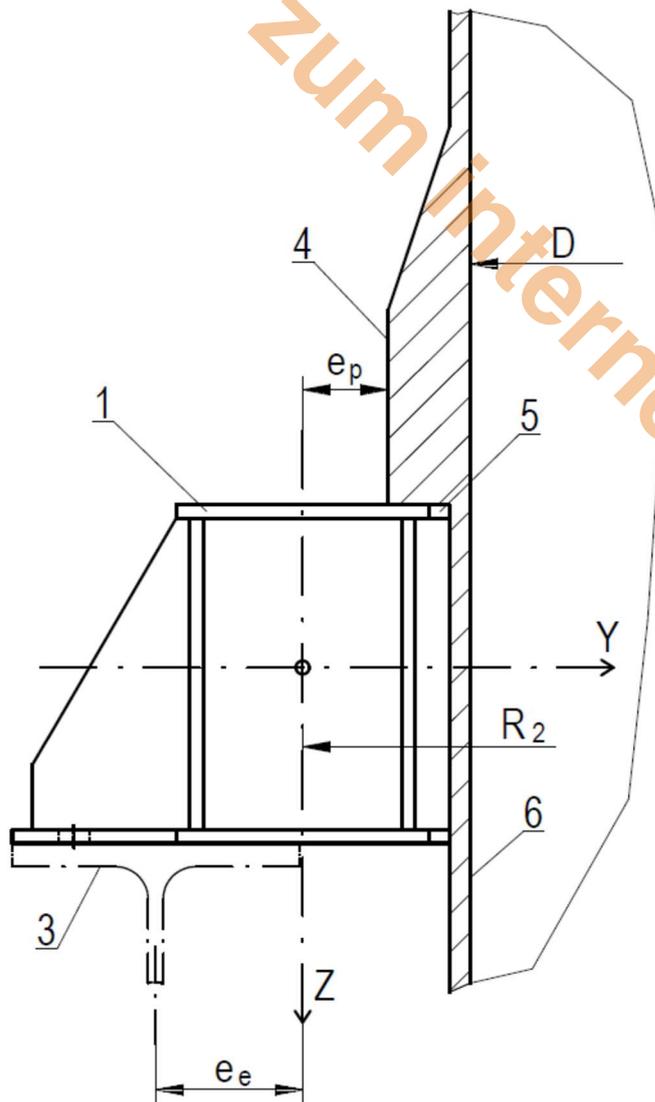
Dabei ist

$Z_{xx}$  das Widerstandsmoment um die Achse x-x.

#### 12.2.2.4 Standzargen

Die Auslegung von Behältern mit integrierter Standzarge ist in 10.6.4.3 angegeben.

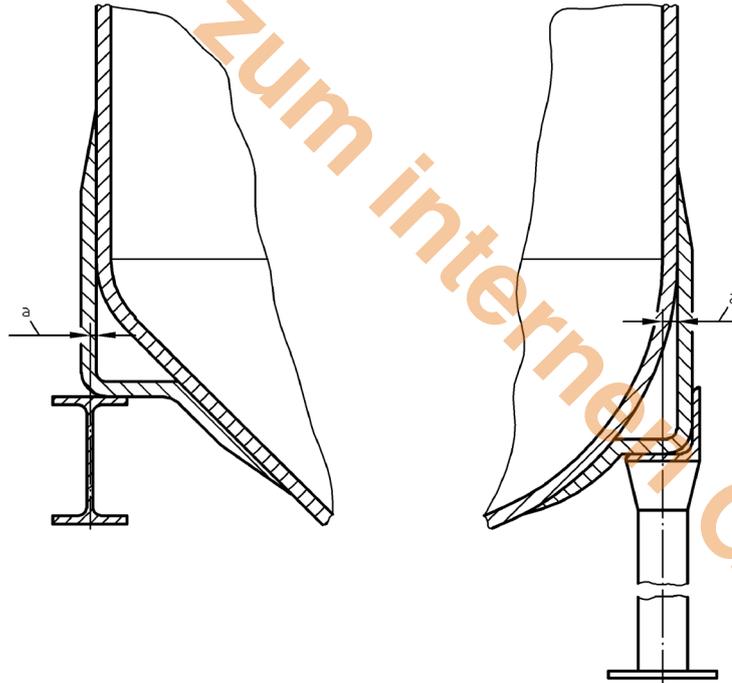
Nur zum internen Gebrauch



**Legende**

- |   |                             |   |                                |
|---|-----------------------------|---|--------------------------------|
| 1 | Ringträger                  | 4 | Lastschulter                   |
| 2 | Mittelachse des Ringträgers | 5 | hier: kleinstmöglicher Abstand |
| 3 | Stahltragwerk               | 6 | Behälter- oder Tankwand        |

**Bild 56 — Auflagerkonstruktion für hängende Behälter und Tanks**



Abmessung a) muss möglichst klein sein, um hohe örtliche Biegemomente an der Schale zu vermeiden.

**Bild 57 — Typische Ringträgerunterstützung bei kegelförmigen und gewölbten Böden**

### 12.2.2.5 Stahlaulagerkonstruktionen ohne Ringträger

Die Tanks und Behälter können auf der in Bild 58 dargestellten Stahlkonstruktion aufgelagert sein. Die Auslegung dieser Auflagerung muss der Normenreihe EN 1993 entsprechen. Der untere Teil des Tanks oder Behälters und die Zarge können wie folgt nachgewiesen werden ( $n$  = Anzahl der Stützfüße):

- a) Belastung der Stützfüße aufgrund von Wind-, Erdbeben- oder Schneelasten (nach örtlichen Vorgaben):

$$F_{x,M,d,cr} = \frac{4 \cdot M_{d,cr}}{n \cdot D} \text{ axiale Last } F_{x,M,d,R} = \frac{4 \cdot M_{d,R}}{n \cdot D}; \text{ oder } F_{x,M,d,\varepsilon} = \frac{4 \cdot M_{d,\varepsilon}}{n \cdot D} \quad (298)$$

Dabei ist

$$M_{d,R} = M_{wind} \cdot \gamma_{F,p} + \sum M_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i}$$

$$M_{d,\varepsilon} = M_{wind} + \sum M_{e,i}$$

$$M_{d,cr} = M_{wind} \cdot \gamma_{F,p} + \sum M_{e,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i} \text{ für den Lastfall axiale Stabilität und } M_e \text{ jedes andere Biegemoment.}$$

- b) Gewichtskraft von Behälter, Armaturen, Beschickungsgut, Anbauteilen und Personal:

$$\text{axiale Last } F_{x,W,d,R} = \frac{W_{d,R}}{n}, F_{x,W,d,\varepsilon} = \frac{W_{d,\varepsilon}}{n} \text{ oder } F_{x,W,d,cr} = \frac{W_{d,cr}}{n} \quad (299)$$

Dabei ist

$$W_{d,R} = W \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,W} + \sum W_{e,i} \cdot A_{5,i} \cdot \gamma_{F,i}$$

$$W_{d,\varepsilon} = W + \sum W_{e,i}$$

$$W_{d,cr} = W \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,W} + \sum W_{e,i} \cdot \sqrt{A_{5,i}} \cdot \gamma_{F,i} \text{ für den Lastfall axiale Stabilität}$$

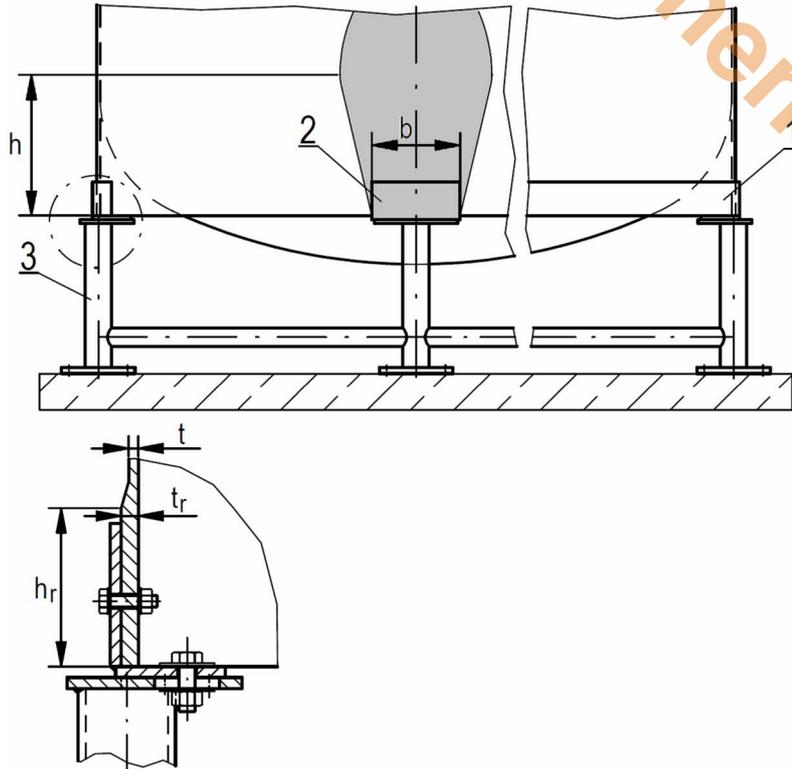
und  $W_e$  jede andere Gewichtsbelastung.

Für die Zarge gilt:

$$\text{Axialdruck: } n_{x,d,R} = (F_{x,M,d,R} + F_{x,W,d,R})/b \quad (300)$$

$$\text{Dehnung: } n_{x,d,\varepsilon} = (F_{x,M,d,\varepsilon} + F_{x,W,d,\varepsilon})/b \quad (301)$$

Für den Nachweis der axialen Tragfähigkeit des gewählten Laminats ist 9.3.2 anzuwenden.



### Legende

- 1 Ringträger aus Stahl
- 2 einzelne Stützfüße
- 3 Stahltragwerk

**Bild 58 — Typische Stahlaufleger für alle Bodenausführungen**

Die Last für die Schalenstabilität oberhalb der Zarge und des Bodenbereiches wird mit Gleichung (302) berechnet:

$$F_{x,d,cr} = F_{x,M,d,cr} + F_{x,W,d,cr} \quad (302)$$

$$n_{x,d,cr} = F_{x,d,cr} \cdot \left[ \left( \frac{0,0216}{h_R \cdot t_R \cdot D \cdot b} \right)^{0,25} \cdot \left( 1 - \frac{t_R}{150 \cdot t} \right) \right] \quad \text{Drucklast} \quad (303)$$

Dabei ist

$$h = h_R + 1,2 \cdot \sqrt{D \cdot t_R} \text{ an der Stelle, an der } n_{cr} \text{ nachzuweisen ist}$$

$t$  Schalendicke an der Stelle von Höhe  $h$

$h_R$  die Höhe des versteiften Bereiches

Zur Berechnung von  $n_{cr}$  siehe 10.3.2.

Wird ein umlaufender Stahlring zur Aufständigung verwendet, sollte das Nachfolgende berücksichtigt werden. Wenn die maximal Durchbiegung des umlaufenden Stahlrings zwischen zwei beliebigen Stützfüßen weniger als 1 mm beträgt, kann die Berechnung der von den Stützfüßen auf die Schale aufgebrachten konzentrierten Last vernachlässigt werden.

## 13 Erdbebenlasten

Tanks und Behälter, die der Gefahr von Erdbebenlasten ausgesetzt sind, müssen entsprechend den Anforderungen der jeweils geltenden nationalen Vorschriften für den Tank- oder Behälterstandort ausgelegt werden. Grundlegende Gleichungen sind 9.2.3 zu entnehmen.

## 14 Berechnungen von Verankerungen für Tanks und Behälter

### 14.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt gilt für Tanks oder Behälter, bei denen die Gefahr eines Abhebens von ihrer Auflagerung besteht.

### 14.2 Auslegung gegen Abheben

Bei der Auslegung im Hinblick auf ein mögliches Abheben des Behälters oder Tanks sind die folgenden Bedingungen zu berücksichtigen:

- a) hydrostatischer Druck und/oder Innendruck;
- b) Windkipplast;
- c) Erdbebenlast. Die Verankerung ist für die maximale Flüssigkeitslast auszulegen, sofern zutreffend. Die Einwirkungen sowohl senkrechter als auch waagerechter Beschleunigungen sind mit Ausnahme von Druck- und Windlasten sowohl für den Inhalt als auch das Gewicht des Tanks oder Behälters anzuwenden.
- d) Eigenlast von Zylinderschale, Dach und zugehörigen Tragelementen;
- e) Eigenlast der Schalen- und Dachisolierung, soweit vorhanden;
- f) Prüfdruck.

### 14.3 Auslegung der Ankerschrauben

Die durch den Wind verursachte Kippkraft ist nach EN 1991-1-4 zu berechnen.

Die Verankerung ist so auszulegen, dass sie dem maximalen Kippmoment aufgrund der Windlasten und anderer Ursachen standhält. Bei der Berechnung von Anzahl und Größe der Ankerschrauben ist das gesamte Rückstellmoment mit dem maximalen Kippmoment gleichzusetzen.

Es sind mindestens 4 Verankerungspunkte vorzusehen, die in gleichmäßigem Abstand entlang des Umfangs anzuordnen sind. Der Abstand der Verankerungspunkte voneinander darf höchstens 1 500 mm betragen.

Die Kraft, die der Behälterinhalt dem Kippmoment entgegengesetzt ist, außer für den Lastfall Erdbeben, zu ignorieren. Die Last, die jede Ankerschraube aufnehmen muss, wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$N_{E,d} = \left( \frac{4 \cdot M_{d,R}}{D_{pc}} - 0,9 \cdot W_k + \frac{p_d \cdot \pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot \frac{1}{N_b} \leq N_{R,d} \quad (304)$$

Dabei ist

- $N_{E,d}$  die einwirkende Ankerschraubenlast;
- $N_{R,d}$  die Nenn-Ankerschraubenlast;
- $M_{d,R}$  das Gesamtkippmoment, siehe 9.2;
- $D_{pc}$  der Lochkreisdurchmesser der Ankerschrauben;
- $W_k$  die charakteristische Eigenlast der leeren Behälterschale (Bei Standzargenbehältern und hängenden Behältern mit Erdbebenlasten kann das Füllgewicht ebenfalls als rückstellend angesetzt werden);
- $N_b$  die Anzahl der Ankerschrauben;
- $p_d$  der Auslegungsdruck.

Die Schraubenlasten für Flachbodentanks unter Erdbebenbedingungen werden mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$N_{E,d} = \left( \frac{4 \cdot M_{AE}}{D_{pc}} - 0,9 \cdot W_k + \frac{p_d \cdot \pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot \frac{1}{N_b} \leq N_{R,d} \quad (305)$$

$$V_{E,d} \leq 2 \cdot \frac{H_{AE}}{N_b} \quad (306)$$

Dabei ist

- $M_{AE}$  das gesamte Erdbebenmoment, das aus den geltenden nationalen Vorschriften für den Tank bzw. Behälter abgeleitet wird; das grundlegende Moment ist 9.2.3 zu entnehmen;
- $H_{AE}$  die waagerechte Gesamt-Erdbebenlast, die aus den geltenden nationalen Vorschriften für den Tank bzw. Behälter abgeleitet wird; das grundlegende Moment ist 9.2.3 zu entnehmen.

Um bei Standzargenbehältern ein Beulen der Zarge aufgrund eines möglichen radialen Lasteintrags durch die Verankerung zu verhindern, muss die Übertragung der Ankerquerkräfte in die Schale in tangentialer Richtung sichergestellt werden. Andernfalls ist die Zarge durch einen Ring oder in ähnlicher Weise zu versteifen.

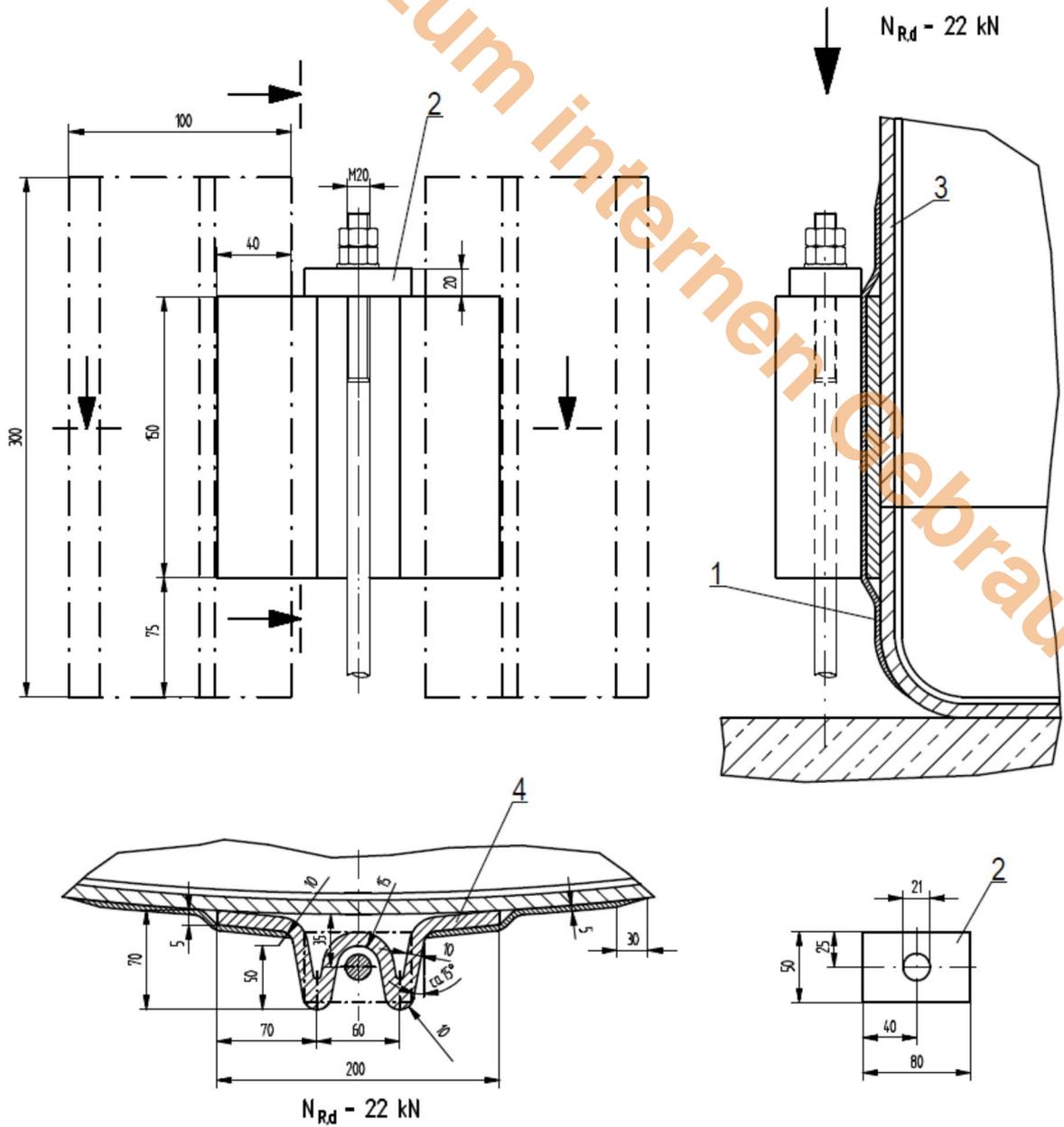
Die Verankerungen nach Bild 59 und Bild 60 können keine Horizontallasten aufnehmen, außer, es kann Reibung berücksichtigt werden.

Die Stahlqualität muss S235JR nach EN 10025-2 oder einer gleichwertigen Sorte entsprechen.

Zur Minimierung der auf die Verankerungspratzen wirkenden Lasten sollten die Schrauben nur von Hand angezogen werden, zuzüglich einer halben Drehung bei der Aufstellung des Tanks in leerem Zustand. Die Schrauben sind mit einer Kontermutter zu sichern.

Die Auslegungstemperatur der Verankerung und der zugehörigen Befestigungsmittel muss der Umgebungstemperatur am Aufstellungsort von Tank oder Behälter entsprechen.

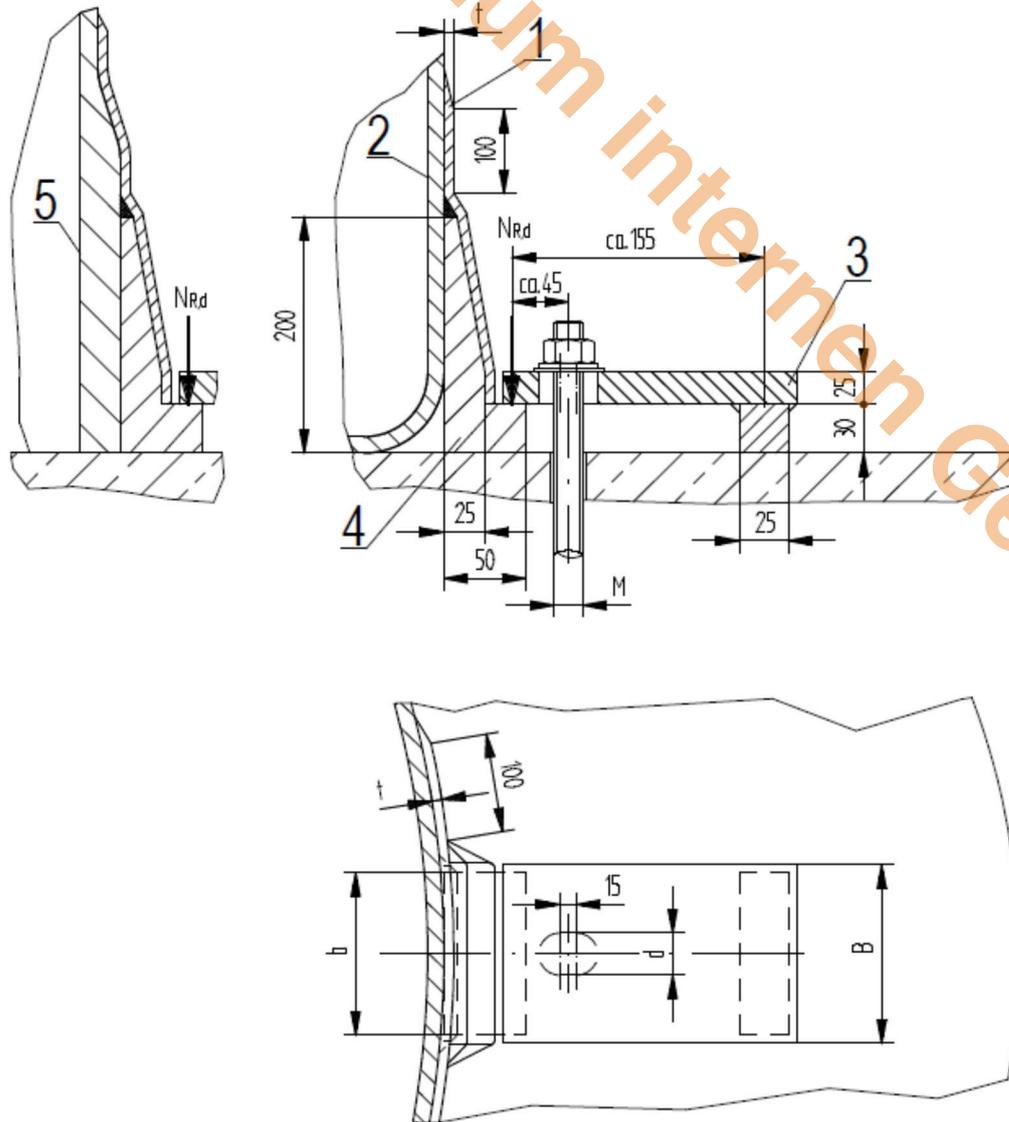
Maße in Millimeter



**Legende**

- |   |              |   |              |
|---|--------------|---|--------------|
| 1 | GFK-Tank     | 3 | Mischlaminat |
| 2 | GFK-Auflager | 4 | Mischlaminat |

**Bild 59 — Typische Anordnung von Verankerungen bei Flachbodentanks**



Typ	M	$N_{R,d}$ kN	b mm	B mm	d mm	t mm
1	M16	30	100	110	18	4
2	M20	45	150	160	22	5
3	M20	60	200	210	22	7

**Legende**

- |   |                |   |                |
|---|----------------|---|----------------|
| 1 | Mischlaminat   | 4 | GFK-Klammer    |
| 2 | Flachbodentank | 5 | Tank mit Zarge |
| 3 | Stahlplatte    |   |                |

**Bild 60 — Typische Anordnung von Verankerungen für Tanks oder Behälter mit Flachböden oder Zargen**

## 15 An- und Einbauteile

### 15.1 Allgemeines

Sämtliche An- und Einbauteile sind nach Möglichkeit so anzuordnen, dass sie keine örtlich konzentrierten Lasten auf die Behälter- oder Tankwände ausüben. Sie sind so auszulegen, dass die örtliche Dehnung die zulässige Dehnung nicht überschreitet.

### 15.2 Innenliegende An- und Einbauteile

Der für innenliegende Einbauteile verwendete Werkstoff muss für die Betriebsbedingungen geeignet sein.

Lasttragende Einbauteile, z. B. Einbaubodenabstützungen und sämtliche Einbauteile in Behältern und Tanks mit Rührwerk, sind auf ausreichende Festigkeit für die im Betrieb herrschenden Bedingungen auszulegen.

### 15.3 Außenliegende An- und Einbauteile

Behälter und Tanks sind mit Hebeösen oder anderen geeigneten Anbauteilen zu versehen, die eine sichere Handhabung beim Verladen und bei der Aufstellung am Betriebsort garantieren. Allgemeine Angaben hierzu sind EN 13121-4 zu entnehmen.

Sind ein Rührwerk mit Antrieb oder andere außen liegende Bauteile, z. B. Laufstege, vorhanden, sind diese wie folgt aufzulagern:

- a) vorzugsweise unabhängig von Tank oder Behälter (z. B. über eine Stahltraverse);
- b) auf integrierten Auflagern bei Behältern oder Tanks mit einer Auslegungstemperatur bis 60 °C.

Integrierte Auflager, die auch als Verstärkungselemente dienen, sind so auszulegen, dass sie ausreichende Festigkeit und Steifigkeit gleichzeitig für beide Zwecke aufweisen.

### 15.4 Hebevorrichtungen

Anzahl, Position, Ausrichtung und Art von Hebevorrichtungen sind so festzulegen, dass unter allen Umständen ein sicheres Heben des leeren Tanks oder Behälters sichergestellt ist.

Für jeden Anschlagpunkt ist unter Berücksichtigung der Lastrichtung die höchste Last zu berechnen. Werden mehr als zwei Anschlagpunkte verwendet, ist die Last unter der Annahme zu berechnen, dass die volle Last von nur zwei der Anschlagpunkte getragen wird; die Hebevorrichtungen sind für die berechnete Last auszulegen.

Jede Stahlplatte, die als Teil der Hebevorrichtung am Tank oder Behälter zu befestigen ist, muss frei von losem Zunder und scharfen Kanten sein.

Sämtliche Befestigungsplatten sind auf einer noch nicht ausgehärteten Laminat/Spachtelmasse am Tank oder Behälter anzubringen, sodass kein Spalt zwischen der Platte und Schalenwand entsteht.

Das Überlaminat muss so ausgelegt sein, dass es die nach 7.6 und 7.7 erforderliche Schub- und Schälfestigkeit aufweist.

Nachstehend sind unterschiedliche Arten von Einbauteilen mit ihren zugehörigen Grenzhebelasten dargestellt. Der hierbei zu verwendende Stahl ist S235JR nach EN 10025-2, oder eine gleichwertige Sorte.

Die Grenzlaster werden mit der folgenden Gleichung bestimmt. Bereits enthalten sind  $\gamma_M$ ,  $\gamma_F$  und der Beiwert für dynamische Stoßbelastung  $\beta$ .

$$N_{Ek} = \frac{N_{R,k}}{\gamma_M \times \gamma_F \times \beta} \quad (307)$$

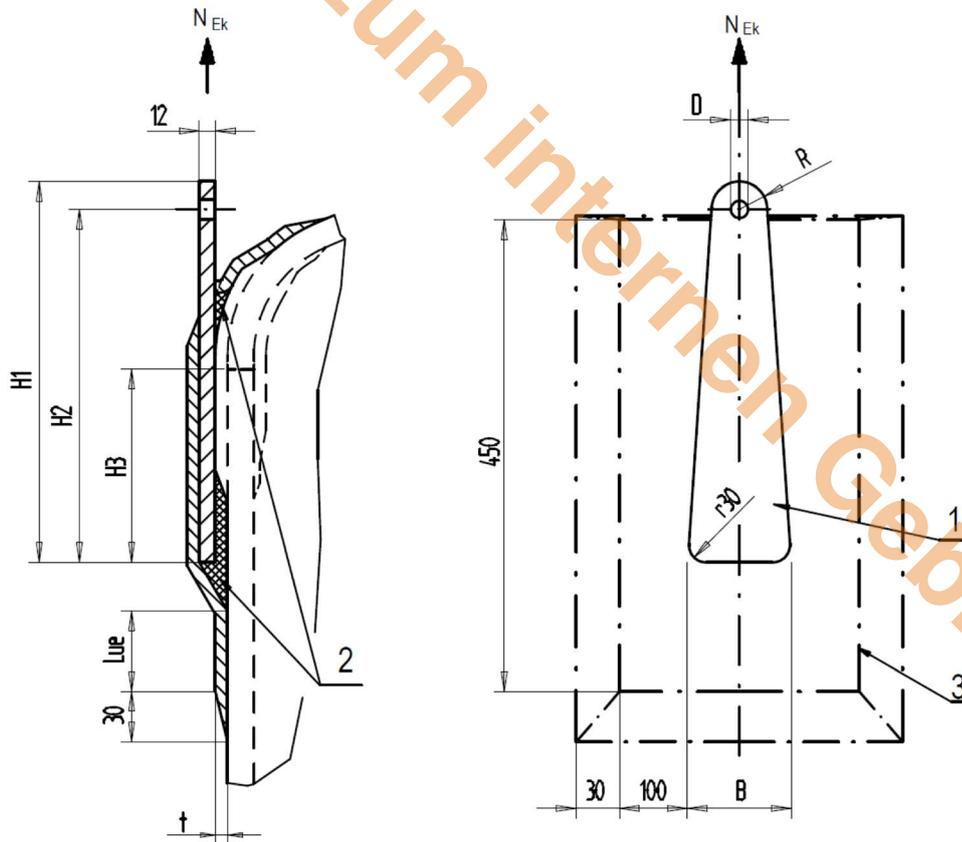
Dabei ist

- $\beta$  der Beiwert für dynamische Stoßbelastung = 1,5;
- $\gamma_F$  der Teilsicherheitsbeiwert für variable Einwirkungen = 1,5;
- $\gamma_M$  der Teilsicherheitsbeiwert für den Werkstoff (werkstoffabhängig);
- $N_{R,k}$  der charakteristische Wert für die Tragfähigkeit der Hebeöse;
- $N_{Ek}$  der charakteristische Wert für die auf die Hebeöse einwirkende Höchstlast.

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

$$\frac{\text{Hebelast}}{2} \leq N_{Ek}$$

Maße in Millimeter



**Legende**

- 1 Stahlöse
- 2 Spachtelmasse
- 3 Laminat

**Maße**

Typ	H1 mm	H2 mm	H3 mm	R mm	D mm	B mm	Laminattyp	Lue mm	t mm	N <sub>Ek</sub> kN
01	455	400	200	55	28	160	Mischlaminat	100	5,9	12
02	580	500	300	80	38	250	Mischlaminat	150	7,7	33

**Bild 61 — Hebeösen für stehende Tanks und Behälter**

Die Mindestwanddicke des Zylinders im Bereich der in den Bildern 62 und 63 dargestellten Auflager muss, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind, Folgendem entsprechen:

$$t_{ct} \geq \sqrt{\frac{M \cdot D}{f_{m,k} \cdot D_a^2}} \quad (308)$$

Dabei ist

$$M = N_{Ek} \times b$$

$$b_{ct} \geq D_a + 16 \times t_{ct}$$

$D$  der Durchmesser von Behälter oder Tank;

$D_a$  der Durchmesser der Stützplatte des Auflagers;

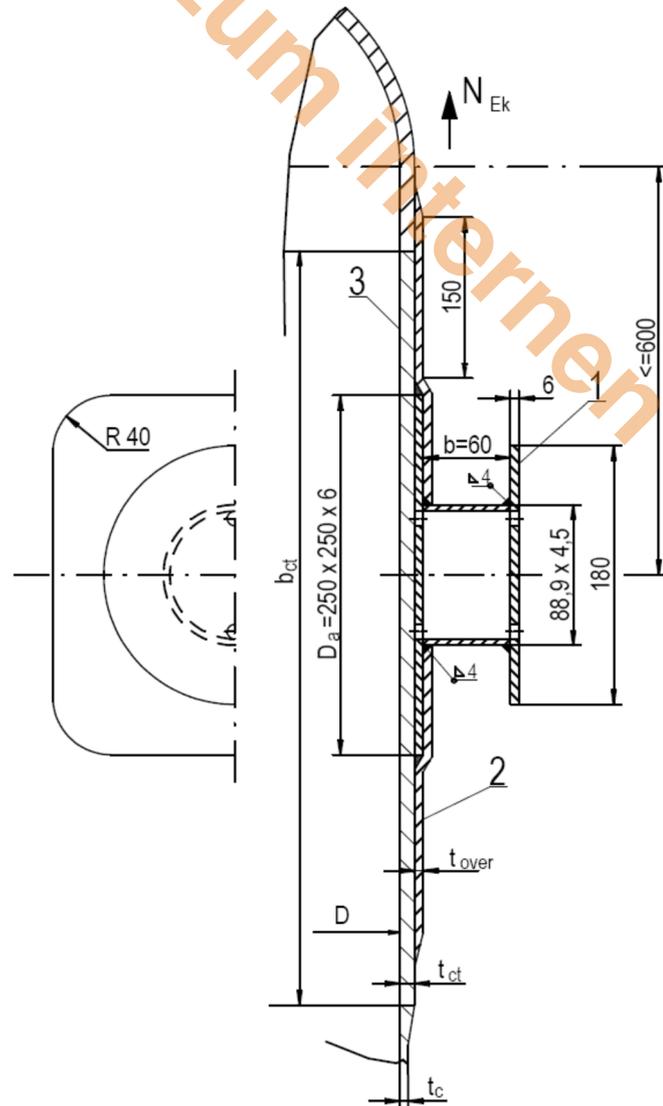
$t_{ct}$  die Wanddicke des Zylinders im Bereich des Auflagers;

$b_{ct}$  die Breite  $t_{ct}$  am Zylinder, voller Umfang;

$f_{m,k}$  die charakteristische Biegefestigkeit des Laminates in Umfangsrichtung;

$b$  die Tragbalkenlänge des Auflagers.

Maße in Millimeter



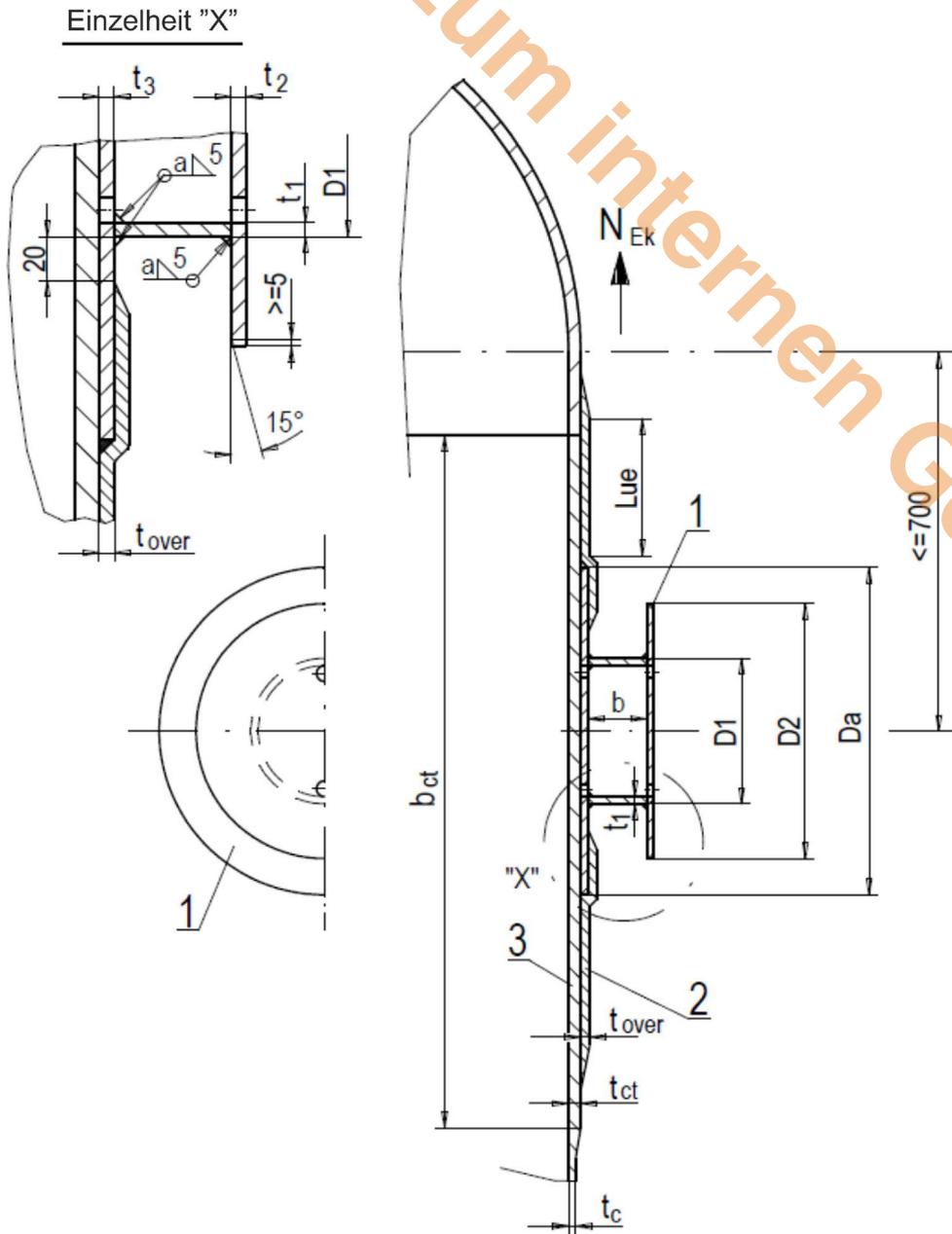
**Legende**

- 1 Stahlöse
- 2 Überlaminat (Mischlaminat)
- 3 Zylinder

**Maße**

Typ	Laminattyp	t mm	$N_{Ek}$ kN
01	Mischlaminat	5,9	20

**Bild 62 — Tragzapfen für stehende Tanks und Behälter bei  $N_{Ek} \leq 20$  kN**



**Legende**

- 1 Stahllöse
- 2 Überlaminat (Mischlaminat)
- 3 Zylinder

**Maße**

Typ	$D_1$ mm	$t_1$ mm	$D_2$ mm	$t_2$ mm	$t_3$ mm	$D_a$ mm	$b$ mm	$e$ mm	$f$ mm	$a$ mm	Laminattyp	$L_{ue}$ mm	$t_{over}$ mm	$N_{Ek}$ kN
01	219,1	8	300	8	8	380	$\leq 60$	80	60	5	Mischlaminat	180	7,7	30
02	219,1	8	300	8	8	380	$\leq 60$	80	60	5	Mischlaminat	180	9,4	60
03	219,1	8	350	8	8	480	$\leq 80$	100	80	5	Mischlaminat	200	9,4	80

**Bild 63 — Tragzapfen für stehende Tanks und Behälter bei  $N_{Ek} \leq 80$  kN**

## 16 Berücksichtigung von Punktlasten

Ein Auslegungsverfahren für den Nachweis von auf die Schalen wirkenden Punktlasten ist [7] und [8] zu entnehmen.

## 17 Qualitätskontrolle

### 17.1 Allgemeines

Um sicherzustellen, dass das Produkt der vorliegenden Norm entspricht, muss der Hersteller ein Qualitätssystem entwickeln und aufrechterhalten. Dabei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Erstellung bzw. Verfügbarkeit dokumentierter Verfahren und Anweisungen zu allen Aspekten der Auslegung, Werkstoffbeschaffung, Fertigung, Prüfung und Auslieferung des Produkts;
- Mittel, mit denen die dokumentierten Verfahren und Anweisungen tatsächlich umgesetzt werden.

Der Hersteller muss für das gesamte Personal, das qualitätsbezogene Tätigkeiten ausübt, Ausbildungsverfahren erarbeiten und anwenden. Personal mit speziell zugewiesenen Aufgaben muss durch entsprechende Ausbildung und/oder Erfahrung qualifiziert sein. Über die Ausbildung ist in geeigneter Form Nachweis zu führen.

### 17.2 Anforderungen an die Produktionsstätten

#### 17.2.1 Allgemeines

Die Produktionsstätte muss so gestaltet sein, dass sie sich in verschiedene, fest zugeordnete Bereiche für die Lagerung der Werkstoffe, das Vorbereiten der Harze und der Verstärkungsmaterialien, das Laminieren, das Schweißen, die Montage und die Endbearbeitung unterteilen lässt.

#### 17.2.2 Lagerung der Ausgangswerkstoffe

Sämtliche Ausgangswerkstoffe sind entsprechend den Anweisungen des Herstellers zu lagern.

Bei Nichtgebrauch sind Harze, Härter und Zusatzstoffe an einem kühlen Ort und gegen Erwärmung geschützt zu lagern.

Textilglaserzeugnisse und Oberflächenvliesstoffe sind stets trocken zu halten.

Thermoplastische Halbzeuge sind vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen.

Platten- und Rohrwerkstoffe sind auf geeigneten Unterlagen zu lagern, um ein Verziehen zu vermeiden.

Für die Lagerung unterschiedlicher Stoffe, insbesondere für Peroxide, sind getrennte Bereiche einzurichten.

Es sind Vorkehrungen zu treffen, damit sich eingelagerte Werkstoffe vor ihrer Verarbeitung den Umgebungsbedingungen anpassen können.

#### 17.2.3 Fertigungsbereich

Der Fertigungsbereich ist so zu unterteilen, dass die Vorbereitung der Verstärkungsmaterialien, das Abmessen und Mischen der Harze, das Laminieren und die Endbearbeitung voneinander getrennt sind.

#### 17.2.4 Umgebungsbedingungen für das Laminieren

Das Laminieren muss unter kontrollierten Umgebungsbedingungen erfolgen, d. h. mit entsprechender Regelung der Temperatur, Feuchtigkeit, Luftbewegung und Helligkeit, die eine Herstellung einwandfreier Tanks oder Behälter ermöglichen.

Beim Laminieren muss die Umgebungstemperatur im Arbeitsbereich bei mindestens 10 °C gehalten werden. Der maximale Anteil der Härter darf den in der Spezifikation des Harzherstellers angegebenen Wert keinesfalls überschreiten.

Für Arbeiten bei niedrigen Temperaturen sind entsprechende Vorkehrungen zu treffen, um Kondensation zu vermeiden. Bei Absinken der Temperatur unter 3 °C über dem Taupunkt ist das Laminieren so lange einzustellen, bis wieder Arbeitsbedingungen herrschen, bei denen die Gefahr von Kondensation auszuschließen ist.

Der Arbeitsbereich, in dem laminiert wird, muss ausreichend belüftet sein. Alle Lüftungsanlagen müssen so ausgelegt sein, dass ein Styrolverlust aus dem Laminat minimiert wird, der bei örtlicher Zwangsbelüftung entstehen kann. Lüftungsanlagen sind so anzuordnen, dass die Gefahr einer Verunreinigung durch Staub minimiert wird.

### 17.3 Vom Hersteller zu erstellende Dokumentation

#### 17.3.1 Technische Unterlagen

Die Anforderungen an die Unterlagen für Auslegung und Aufstellung sind wie nachstehend aufzuführen:

Auslegungsberechnungen oder Nachweis und Betriebsbedingungen
Übersichtszeichnung, Laminatspezifikation und mechanische Kennwerte zu den verwendeten Laminattypen
Teilzeichnungen und Werkstoff-/Bauteilliste (einschließlich Fertigungsverfahren)
Betriebsanleitungen
Anleitungen für Aufstellung und Instandhaltung
Für Druckbehälter nach der Richtlinie 2014/68/EU: Der Hersteller hat die Pflicht, die Gefährdungen zu analysieren, um jene zu ermitteln, die für seine Geräte bezüglich des Drucks zutreffen; die Ergebnisse muss er bei Auslegung und Konstruktion berücksichtigen, d. h. bei $PS > 0,5$ bar (siehe Anhang ZA)
Auflistung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen bei $PS > 0,5$ bar (siehe Anhang ZA)
Verifizierung der technischen Dokumentation bei $PS > 0,5$ bar (siehe Anhang ZA)

#### 17.3.2 Anforderungen an Aufzeichnungen und Dokumentation für Ausgangswerkstoffe

Die Anforderungen an die Unterlagen für die Ausgangswerkstoffe sind wie nachstehend aufzuführen:

Harzgruppe, Bezeichnung und Herkunftsbescheinigung
Textilglasarten und -massen, Bezeichnung und Herkunftsbescheinigung
Auslegung der Chemieschutzschicht nach EN 13121-1
Unterlagen zu den Ausgangswerkstoffen nach EN 13121-1

### 17.3.3 Erforderliche Unterlagen zur Fertigungsdokumentation

Die Anforderungen an die Unterlagen für die Fertigung sind wie nachstehend aufzuführen:

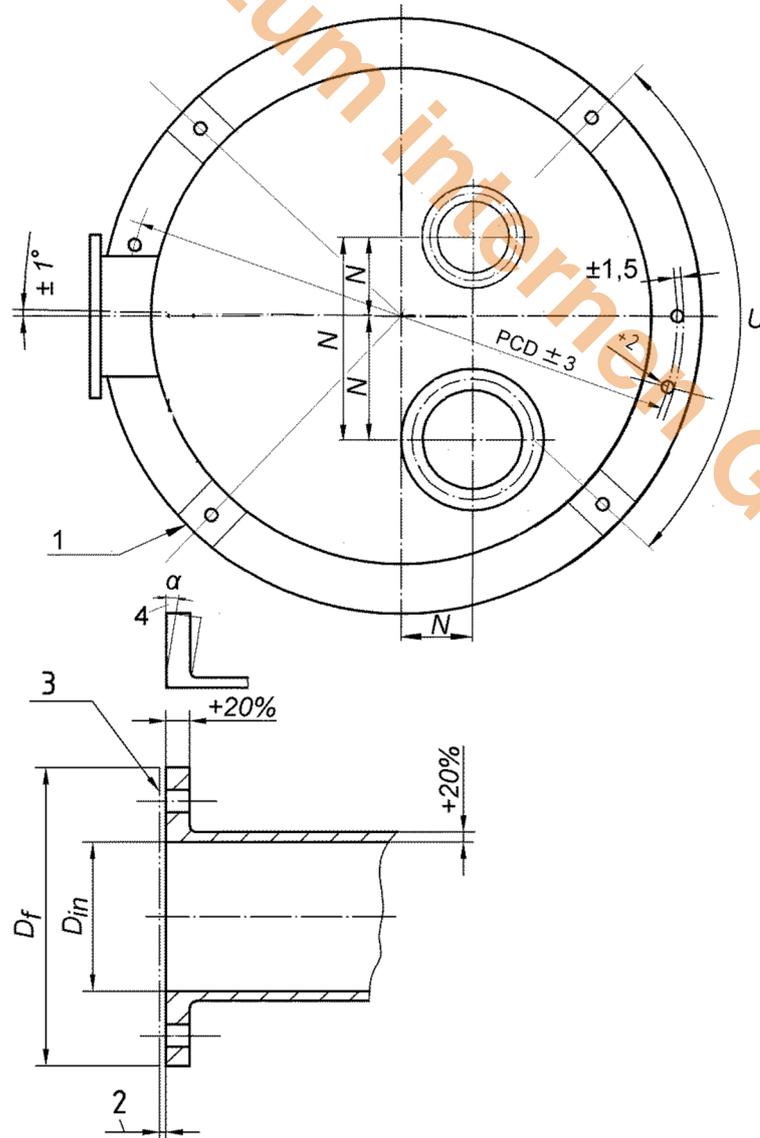
Arbeitsanweisungen zur Herstellung von Laminaten (einschließlich Härtingsbedingungen)
Qualifikationsnachweise der Laminierer
Fertigungsprotokolle der Laminierer
Schweißverfahren (für thermoplastische Auskleidungen)
Qualifikationsnachweise der Schweißer (für thermoplastische Auskleidungen)
Alle angewandten Arbeitsanweisungen zur Reparatur von Bauteilen
Benennung aller Proben zur Werkstoffprüfung z. B. von Stutzenausschnitten oder Ausschnitten an Schweißnähten, sofern ausgeführt

### 17.3.4 Anforderungen an die Dokumentation zur Qualitätskontrolle

Die Anforderungen an die Prüfunterlagen sind wie nachstehend aufzuführen:

Hochfrequenzfunkenprüfung an thermoplastischen Auskleidungen
Alle Prüfprotokolle zur Dokumentation der mechanischen Kennwerte der verwendeten Lamine
Proben aus der Fertigung, erforderlich bei Anwendung weiterentwickelter Auslegung (en: advanced design) (siehe 7.9.3)
Sichtprüfung von Stutzenausschnitten
Bestimmung des Glührückstandes an Stutzenausschnitten
Wanddickenmessungen (besonders in Bereichen von Übergängen)
Barcol-Härtemessung
Kurzzeit-Kriechprüfung
Festigkeit der Schweiß- und Klebeverbindungen (thermoplastische Auskleidungen) (ermittelt an Proben aus früheren Arbeitsprüfungen, sofern vergleichbare Arbeiten innerhalb von 12 Monaten nach der letzten Prüfung durchgeführt wurden)
Festigkeit der Schweiß- und Klebeverbindungen (thermoplastische Auskleidungen) (ermittelt an Proben aus Arbeitsprüfungen, wenn keine ausreichenden Aufzeichnungen vorhanden sind)
Bestimmung des elektrischen Oberflächenwiderstandes (sofern nach der Spezifikation erforderlich); Oberflächenwiderstand $< 10^6 \Omega$
Maßkontrolle nach den Fertigungstoleranzen (Bilder 64 bis 67, Tabelle 31, Verhältnis Dicke/Durchmesser bei Unrundheit ( $t/D$ ) und Tabelle 32, Zulässige Fehler bei Laminaten) und Dokumentation der Maßabweichungen in der Ausführungszeichnung („as build“)
Prüfprotokolle/Prüfzeugnisse
CE-Kennzeichnung und Kennnummer, bei $PS > 0,5$ bar
Konformitätserklärung, $PS > 0,5$ bar
Konformitätsbescheinigung, $PS > 0,5$ bar

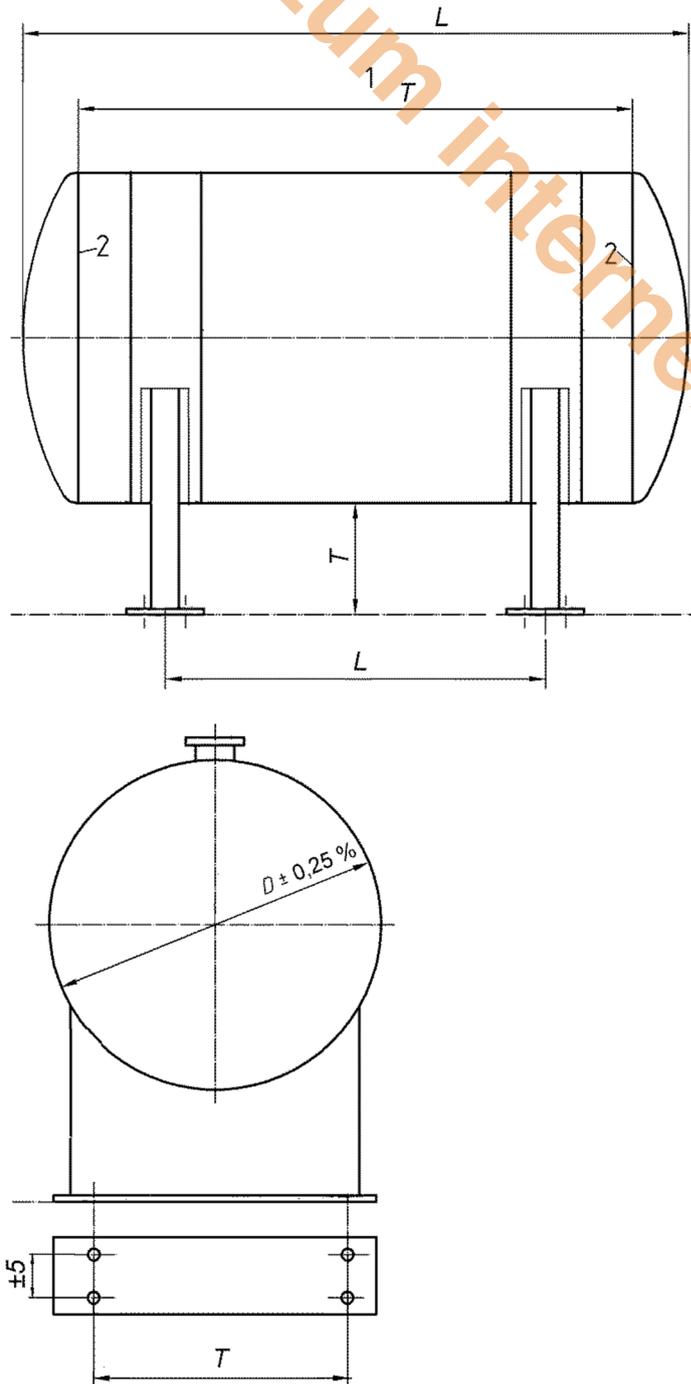




### Legende

- |  |  |
|--|--|
| <p>1 Verankerungen</p> <p>2 Ebenheit:<br/>1,0 mm bei <math>D_{in} \leq 450</math><br/>1,5 mm bei <math>450 &lt; D_{in} \leq 1\ 000</math><br/>3,0 mm bei <math>D_{in} &gt; 1\ 000</math></p> | <p>3 lokale Fehler auf Anschlußflächen <math>&lt; 0,8</math> mm<br/><math>D_{in} \pm 1,5</math> mm bei DN 25 bis DN 80<br/><math>D_{in} \pm 4</math> mm bei DN 100 bis DN 350<br/><math>D_{in} \pm 6</math> mm bei DN 400 bis DN 1 000</p> <p>4 Flanschneigung nach innen<br/><math>\alpha \leq 1^\circ</math> bei <math>D_{in} \leq 1\ 000</math>;<br/>bei DN <math>&gt; 1\ 000</math> entsprechend den spezifizierten Anforderungen<br/>Eine Flanschneigung nach außen ist unzulässig.</p> |
|--|--|

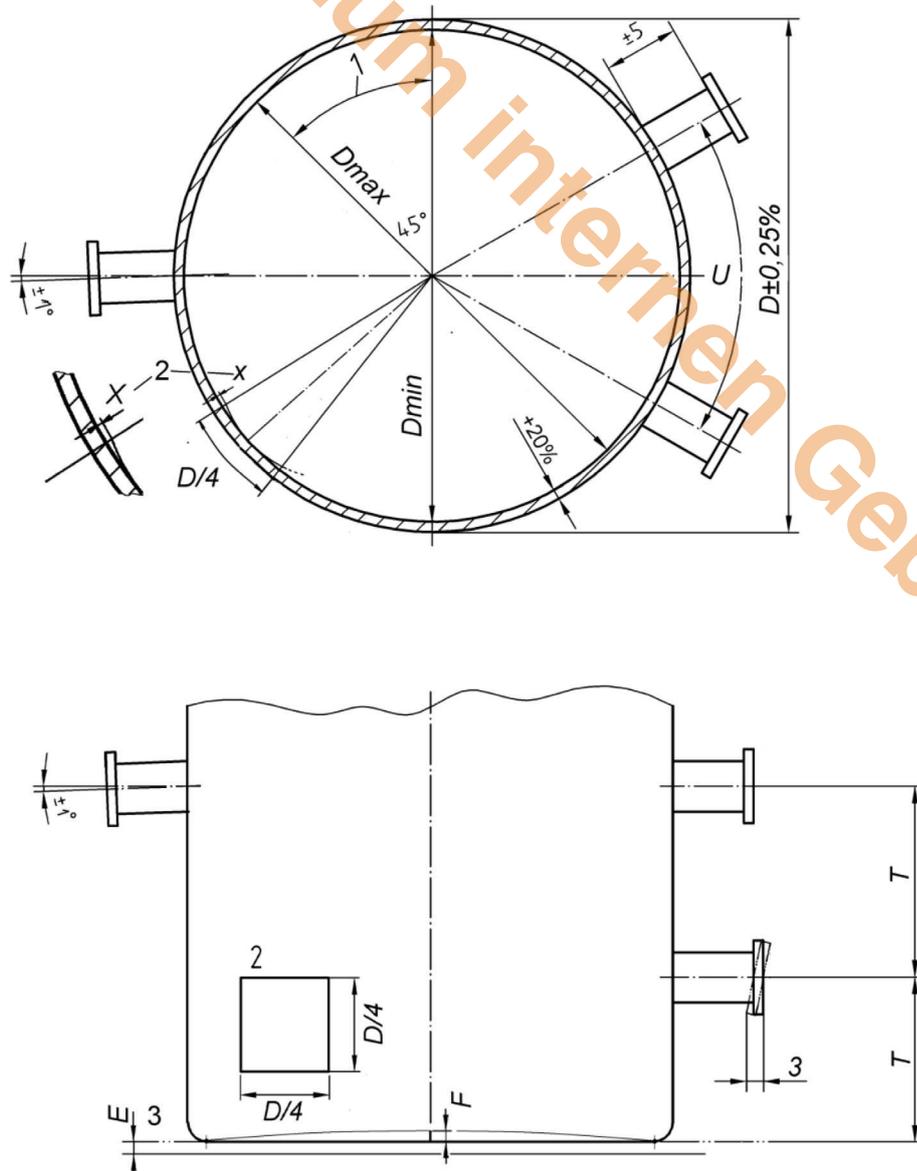
**Bild 65 — Maßtoleranzen**



**Legende**

- 1 Länge zwischen den Tangenten
- 2 Tangenten

**Bild 66 — Maßtoleranzen für liegende Tanks oder Behälter**



### Legende

- 1 Unrundheit, siehe Tabelle 31
- 2 Abflachung an einer Stelle des Zylinders mit einer maximalen Breite  $D/4$  und maximaler Abweichung ( $X$ ) von der runden Auslegungsform  
 $D \leq 2\,500$ ;  $X \leq 1,2\%D$   
 $D > 2\,500$ ;  $X \geq 8$  mm oder  $X \geq 0,2\%D$ , wobei der größere Wert gilt
- 3 Ebenheit von Flachböden im Krepfenbereich:  
Ebenheit im Vergleich zu einer planparallelen Ebene.  $E \pm 3$  mm örtliche Breite  $< 600$  mm in Umfangsrichtung  
Mittelpunkt des Flachbodens:  
zulässige Durchbiegung  $F$ :  
 $F \leq 2\%D$  bei flachen Membranböden;  $F \leq 1\%D$  bei allen andern Flachböden, wenn  $t_b < 10$  mm

**Bild 67 — Maßtoleranzen für Tanks oder Behälter**

Tabelle 31 — Verhältnis Dicke/Durchmesser bei Unrundheit ( $t/D$ )

$t/D$	Unrundheit	
	ID (Innendurchmesser)	OD (Außendurchmesser)
0,01 <	2,0 %	1,5 %
0,01 bis 0,1	1,5 %	1,5 %
Angegeben in % durch $= 2 \frac{(D_{\max} - D_{\min})}{(D_{\max} + D_{\min})} \times 100$		

Tabelle 32 — Zulässige Fehler bei Laminaten

A) Fehlerart	B) Beschreibung	C) Innenfläche (SPL) (CRL)	D) Traglaminat	E) Außenfläche
Blasen	Erhebung an der Oberfläche verschiedener Form und Maße, mit einem Hohlraum darunter	Keine	N.A.	Durchmesser max. 6 mm Höhe der Erhebung darf 3 mm nicht überschreiten
Absplitterung	Kleines Stück, das an einer Kante oder einer Fläche abgebrochen ist	Keine	N.A.	Max. 6 mm, sofern nicht in das Verstärkungslaminat eindringend
Oberflächenrisse	Feiner Riss, der sich nur an der Oberfläche des Laminats erstreckt	Keine	N.A.	Max. 6,5 mm lang Siehe Anmerkung
Trockene Stelle	Bereich, in dem die Verstärkung nicht mit Harz benetzt wurde	Keine	Durchmesser maximal 10 mm und weniger als 10/m <sup>2</sup>	Durchmesser max. 10 mm und weniger als 10/m <sup>2</sup>
Luftblase (Einschluss)	Lufteinschluss in und zwischen den Verstärkungslagen, meist kugelförmig	Durchmesser max. 3 mm Siehe Anmerkung	Durchmesser maximal 10 mm oder unter 6 mm breit	N.A.
Schaumbildung	Viele kleine Bläschen im Laminat, Durchmesser < 3 mm in Nestform (Handlaminat) oder streifenförmig (gewickelt Laminat)	Höchstens 10 % der Oberfläche Siehe Anmerkung	N.A.	N.A.
Fremdkörper-einschlüsse	Im Laminat eingeschlossene Fremdpartikel	Keine Siehe Anmerkung	Siehe Anmerkung	N.A.
Porennester/ Mikrorisse/ Poren	Kleiner oberflächlicher Krater in einem Laminat, der etwa ebenso breit wie tief ist. Der Krater kann mit einer Vlieschicht oder reinem Harz geschlossen werden	Durchmesser max. 3 mm, 0,5 mm tief. Anzahl max. 1 je 100 mm × 100 mm	N.A.	Durchmesser max. 3 mm und Tiefe max. 1,5 mm
Kratzer/Riefen	Oberflächliche Kerbe, Rille, Furche oder Rinne durch unsachgemäße Handhabung oder Lagerung	Max. 0,2 mm tief	N.A.	Max. 0,5 mm tief
Delaminierung	Ablösung der Werkstoffschichten	Keine	Siehe Anmerkung	N.A.
Falten	Ein Fehler in einem Laminat, der wellenförmig in eine oder mehrere Lagen des Gewebes oder des Verstärkungswerkstoffs eingeformt ist	Max. 20 % Abweichung von der Wanddicke, aber nicht mehr als 3 mm	Mindestwanddicke muss innerhalb der Toleranz liegen	Mindestwanddicke muss innerhalb der Toleranz liegen
Weißliche Flecken	Kleiner weißer Bereich, der durch Feuchtigkeit verursacht wird	Keine	Durchmesser unter 10 mm oder unter 1 % der Fläche	N.A.
ANMERKUNG    Derartige Fehlstellen können zulässig sein, sofern die chemischen oder mechanischen Einflüsse nicht beeinträchtigt sind.				

## **17.4 Fertigung**

### **17.4.1 Allgemeines**

In allen Fertigungsbereichen muss eine Qualitätsüberwachung stattfinden. Die Qualitätsüberwachung ist von entsprechend qualifiziertem Personal mit angemessener Ausbildung und geeigneten technischen Kenntnissen zur Herstellung von Laminaten durchzuführen (siehe Anhang E). Alle bei der Herstellung verwendeten Werkstoffe müssen vollständig rückverfolgbar sein (siehe 17.3).

### **17.4.2 Herstellung thermoplastischer Auskleidungen**

Die Einzelheiten des Herstellungsprozesses sind nach der Art der gewählten Auskleidung festzulegen.

Der Hersteller sollte die Verarbeitungsrichtlinien des Lieferanten der thermoplastischen Werkstoffe für die Ausführung und das Schweißen anwenden.

Alle Schweißer müssen nach EN 13067 qualifiziert sein.

Die Auskleidung sollte so ausgeführt werden, dass Schweißnähte in Ecken vermieden werden. Längsnähte sollten möglichst als versetzte Nähte ausgeführt werden. Alle Schweißnähte sollten nach Möglichkeit außerhalb von Bereichen mit hoher örtlicher Dehnung, z. B. Stützen, Kreppeausrundungen und Auflagern, angeordnet werden.

Alle Maßnahmen zur Umformung von Auskleidungsplatten, wie das Biegen zum rechten Winkel oder zu einem kleinen Radius, sind nach Erwärmung auf eine vom Plattenhersteller empfohlene Temperatur durchzuführen.

Vor dem Schweißen von Plattenwerkstoffen sind die Schweißnahtkanten und die Schweißstäbe zu säubern.

Bei Platten mit Gewebe- oder Vlieskaschierung ist diese an beiden Nahtkanten 3 mm bis 6 mm breit zu entfernen, um sicherzustellen, dass in der Schweißnaht keine Glasfasern eingeschlossen werden.

Das Verbinden der Auskleidungsplatten muss durch Warmgaszieh-, Heizelement-, Schmelz- oder Extrusions-schweißen erfolgen.

Überlappnähte sind unzulässig.

Zum Warmgasschweißen mit Schweißstab kann ein inertes Gas oder Luft (sofern frei von Feuchtigkeit, Schmutz und Öl) verwendet werden.

Der Schweißzusatz (Schweißstab) muss stets mit dem zu verschweißenden Plattenwerkstoff verträglich sein.

Bei Schweißungen, die mit Schweißzusatz hergestellt werden, ist die Wurzellage vor Fertigstellung der Schweißnaht auf Fehlstellen zu prüfen und gegebenenfalls auszubessern. Für die Prüfung ist ein provisorisches Erdungsband anzubringen.

Sämtliche Schweißnähte müssen vollständig durchgeschweißt und frei von Kerben und Poren sein, bei Prüfung nach D.3 muss ihre Festigkeit bei zweiseitigem Schweißen mindestens 85 % und bei einseitigem Schweißen mindestens 70 % der Festigkeit des Ausgangswerkstoffs betragen.

Die Schweißnaht darf auf der zu laminierenden Seite nicht mehr als 1,0 mm überstehen.

Nach Beendigung der Schweißarbeiten sind sämtliche Nähte auf Fehlstellen zu untersuchen.

Der Verbund zwischen thermoplastischer Auskleidung und Laminat muss den Angaben in 7.6.2 entsprechen. Der Verbund ist durch eines der nachstehenden Verfahren zu erreichen:

- a) chemisches Ätzen und Grundieren;
- b) Verwendung ausgewählter Harze;
- c) Verwendung von Platten mit Textilglas-, Polyester- oder ein anderen geeigneten Gewebekaschierung;
- d) Wärmebehandlung ohne Beeinträchtigung des Grundwerkstoffs.

Der Hersteller muss das anzuwendende Verfahren in der technischen Spezifikation angeben.

### 17.4.3 Laminatherstellung

Der Lagenaufbau der Faserverstärkung, d. h. Anzahl und Art (Gewebe, Matten etc.) der Schichten, muss den diesbezüglichen Festlegungen entsprechen.

Die Gesamtmasse ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) von Glas im Laminat muss den Festlegungen entsprechen und darf nicht mehr als 5 % unterhalb der geforderten Gesamtmasse betragen.

Die Laminierer müssen mit den vom Hersteller verwendeten Harzsystemen vertraut sein.

Die Laminierer müssen mit den Einzelheiten des Lagenaufbaus vertraut sein, wie er für verschiedene Gestaltungsmerkmale, z. B. Stutzen, bei der Fertigung von Tanks und Behältern erforderlich ist.

Alle Laminierer müssen von einer internen oder externen Prüfstelle nach Anhang E qualifiziert sein. Die Voraussetzungen für Laminierer bei PS > 0,5 bar sind dem Anhang ZA zu entnehmen.

Bei Verwendung von unidirektionalen Textilglasverstärkungen ist sicherzustellen, dass bei der Ablage des Textilglases die Hauptverstärkung in der vorgesehenen Richtung verläuft, damit die erforderliche Festigkeit erreicht wird.

Dem Laminierharz dürfen keine Füllstoffe oder Farbstoffe zugesetzt werden, die eine Sichtprüfung des Laminats behindern könnten. Lediglich leitfähige Laminatschichten sind von dieser Bestimmung ausgenommen.

Auf die Rückseite aller Thermoplastschweißnähte ist vor Auflegen des Traglaminats eine leitfähige Schicht aufzubringen.

Für die Außenseite des Tanks oder Behälters kann eine füllstoff- oder farbstoffhaltige Harzschicht erforderlich sein, die nach abgeschlossener Sichtprüfung aufzubringen ist.

Die erforderlichen Mengen an Harz und Härtern sowie anderen Zusätzen wie Beschleunigern oder zulässigen Füllstoffen sind genau abzumessen und gründlich zu mischen. Die für jedes Laminat verwendeten Mengen von Harzgemischen und Verstärkungslagen sowie Anzahl und Art der Schichten sind aufzuzeichnen; bei Bedarf müssen die Aufzeichnungen verfügbar sein.

Gründliches Ausrollen ist wichtig, darf jedoch nicht die Verteilung des Verstärkungsstoffs beeinträchtigen oder zur Beschädigung des Textilglases führen.

Es ist eine gute Haftung zwischen aufeinander folgenden Laminatschichten, sowie den Laminatverbindungen zwischen Schale und Anbauteilen sicherzustellen. Hierzu ist entweder der zeitliche Ablauf der einzelnen Fertigungsschritte entsprechend zu planen oder die Oberfläche der bereits gehärteten Schicht bis auf freiliegende Textilglasfasern anzuschleifen.

Bei den Laminaten der Chemieschutzschicht müssen sich benachbarte Bereiche der Verstärkung um mindestens 25 mm überlappen. Bei tragenden Laminaten müssen sich benachbarte Bereiche, einschließlich geschäfteter Verbindungen, um mindestens das 50fache der Einzelschichtdicke, mindestens jedoch 25 mm,

überlappen. Soweit möglich, müssen alle Verstärkungslagen über die Laminatdicke gegeneinander versetzt sein, und die Kanten aufeinander folgender Lagen dürfen keinesfalls übereinander liegen.

Bei Verwendung von Rovings im Faser/Harz-Spritzverfahren, muss die Schnittlänge der einzelnen Stränge mindestens 16 mm betragen. Bei Spritzlaminaten mit Faserlängen von 16 mm bis 32 mm, sind die mechanischen Eigenschaften Tabelle 3 zu entnehmen.

#### **17.4.4 Fehler in Laminaten**

Für zulässige Fehler in Laminaten gelten die Angaben in Tabelle 32 (Zulässige Fehler bei Laminaten). Fehler außerhalb der Grenzen nach Tabelle 32 dürfen anhand einer festgelegten und zugelassenen Verfahrensanweisung behoben werden. Die Ausbesserungsverfahren müssen technisch anerkannt, in den Fertigungsunterlagen aufgeführt und bei Bedarf einer Prüfung unterzogen werden können.

#### **17.4.5 Aushärtung**

Sämtliche Tanks und Behälter sind entsprechend den Anweisungen des Harzherstellers und dem Fertigungsplan im Werk des Herstellers auszuhärten. Ist dies aufgrund räumlicher Beschränkungen nicht möglich, muss das Aushärtungsverfahren entsprechend den Auslegungsbedingungen und dem verwendeten Harz festgelegt werden, wobei die Aushärtung vor Inbetriebnahme abgeschlossen sein muss. Eine Nachhärtung in einem Wärmeschrank ist nach Bedarf vorzunehmen.

### **17.5 Prüfungen nach Abschluss der Fertigung**

#### **17.5.1 Sichtprüfung und Maßprüfung**

Gesamtanordnung und Abmessungen müssen mit der technischen Spezifikation übereinstimmen.

Die Bauteildicken dürfen an keiner Stelle geringer sein als in der technischen Spezifikation oder der betreffenden Zeichnung festgelegt.

Maßabweichungen, Unrundheiten, Flachstellen, Geradheit, Sitz von Stützen, Rechtwinkligkeit von Flanschen und Ebenheit von Dichtflächen müssen innerhalb der in Tabelle 31 sowie den Bildern 64 bis 67 angegebenen Toleranzen liegen.

Sämtliche Konturübergänge müssen gleichmäßig sowie frei von Unebenheiten sein und eine Schäftung von mindestens 1 : 6 aufweisen.

Durch Sichtprüfung des Tanks oder Behälters ist sicherzustellen, dass bestehende Fehler den in Tabelle 31 und den Bildern 64 bis 67 angegebenen Einschränkungen sowie den Fehlergrenzen nach Tabelle 32 (Zulässige Fehler bei Laminaten) entsprechen.

#### **17.5.2 Durchzuführende physikalische Prüfungen**

An den Innen- und Außenflächen ist die Barcol-Härte zu messen, um sicherzustellen, dass der Harzformstoff ausreichend ausgehärtet ist.

Sämtliche Schweißnähte von Tanks und Behältern mit thermoplastischer Auskleidung sind vor und nach der Dichtheitsprüfung oder der Druckprüfung, einer Hochspannungsprüfung auf Fehler hin zu untersuchen. Sollten Fehler festgestellt werden, dürfen sie durch Abtragen der fehlerhaften Stelle und erneutes Verschweißen ausgebessert werden. Die Mindestlänge von Ausbesserungsnähten muss 50 mm betragen.

Behälter und Tanks sind einer Druckprüfung oder einer Dichtheitsprüfung bei Umgebungstemperatur nach Anhang C zu unterziehen.

### 17.5.3 Prüfung von Prüfstücken

Prüfstücke aus Ausschnitten von Stutzen, die für das betreffende Laminat kennzeichnend sind, müssen für die Sichtprüfung und andere vorgesehene Prüfungen bereitgestellt werden.

ANMERKUNG Meist werden diese Prüfstücke nicht eben sein, und damit ist es schwierig, alle mechanischen Prüfungen durchzuführen, die üblicherweise an Flachproben vorgenommen würden. Die Eigenschaften von Laminaten werden in erheblichem Maß von der Art der Textilglasverstärkung, der Art des Harzformstoffs und ihrem Mengenverhältnis nach Abschnitt 7 sowie dem nach 8.4 ermittelten Laminataufbau bestimmt.

Die Prüfungen an Prüfstücken aus der Fertigung sollen eindeutig bestätigen, dass die Eigenschaften der verwendeten Laminata denen bei der Auslegung zugrunde gelegten Eigenschaften entsprechen.

Alternativ oder ergänzend zur Verwendung von Ausschnittprüfstücken sind von den Laminierern Prüflaminata anzufertigen. Diese Prüflaminata sind im gleichen Fertigungszeitraum, aus den gleichen Werkstoffen und auf die gleiche Weise herzustellen sowie unter den gleichen Bedingungen auszuhärten wie das ursprüngliche Laminat des betreffenden Tanks oder Behälters.

Zur Überprüfung des Laminataufbaus und um sicherzustellen, dass die mechanischen Eigenschaften des Laminats den in den Auslegungsberechnungen verwendeten Mindestwerten entsprechen, sind nachstehende Prüfungen durchzuführen. Bei Entnahme von Laminatausschnitten aus einem Tank oder Behälter dürfen Prüfungen erst durchgeführt werden, wenn das Harz vollständig ausgehärtet ist.

- a) Sichtprüfung des Ausschnitts oder des Prüflaminats;
- b) Messung der Laminatdicke;
- c) Ermittlung der Schubfestigkeit zwischen Laminat thermoplastischer Auskleidung (siehe D.8);
- d) Bestimmung des Textilglasanteils (siehe D.2);
- e) Ermittlung von Anzahl, Art und Anordnung der Textilglaslagen;
- f) Bestimmung des Kurzzeit-Kriechverhaltens unter Verwendung von Kennwerten im weiterentwickelten Auslegungsverfahren (siehe D.10);
- g) Bestimmung der Barcol-Härte der Innen- und Außenflächen (siehe D.11);
- h) Einheitszugmodul (siehe D.6) oder Biegemodul (siehe D.10)
- i) Biegefestigkeit des Laminats nach D.19.

Bei Polyester- und Vinylesterharzen muss die Barcol-Härte des ausgehärteten Harzes mindestens 80 % des Wertes betragen, den der Harzhersteller für das jeweilige im Laminat verwendete Harz angibt.

Bestehen nach Bestimmung der Barcol-Härte Zweifel über den Aushärtungszustand des Harzes, ist eine Prüfung nach D.13 durchzuführen.

## 17.6 Experimentelles Verfahren zur Verifizierung der Auslegung von Druckbehältern

### 17.6.1 Allgemeines

Kann ein bestimmtes Auslegungsmerkmal rechnerisch nicht vollständig quantifiziert werden, ist ein experimentelles Prüfverfahren, wie nachstehend beschrieben, anwendbar.

Die Auslegung eines Bauteils kann ganz oder teilweise mit einem geeigneten Prüfprogramm freigegeben werden, das mit einem repräsentativen Prüfstück des Bauteils oder der Bauteilkategorie ausgeführt wird. Das Muster kann ein Behälterbaumuster sein oder die Form des jeweiligen Behälterabschnitts darstellen.

Dieses Verfahren ist anwendbar:

- a) wenn die Auslegungstemperatur  $TS$  nicht höher als ( $HDT - 20\text{ °C}$ ) ist;
- b) wenn Unterlagen vorliegen, die Erfahrungen mit ähnlichen Geometrien oder Betriebsparametern nachweisen;
- c) als Alternative zur Auslegung nach Formeln;
- d) als Ergänzung zur Auslegung nach Formeln;
- e) in Fällen und bei Formen, die mit den Formeln in dieser Norm nicht erfasst werden;
- f) wenn nachgewiesen werden kann, dass die maximale Dehnung unter Prüfbedingungen die in 8.2.3 angegebene Dehnung für den verwendeten Werkstoff nicht übersteigt; oder
- g) wenn der Behälter einem Prüfdruck von mindestens dem 5fachen Auslegungsdruck ohne wesentliche Konstruktionsschäden standhält;
- h) wenn dies der Verifizierung durch die Prüfbehörde unterliegt;
- i) für Behälter mit  $PS > 0,5$  bar, wenn das Produkt aus dem zulässigen Höchstdruck  $PS$  und dem Volumen  $V < 6\ 000$  bar · Liter ist.

Die Eigenschaften dauerhafter Nahtverbindungen müssen den festgelegten mechanischen Mindesteigenschaften der zu verbindenden Werkstoffe entsprechen. Bei allen Druckbehältern müssen dauerhafte Nahtverbindungen zwischen Bauteilen, die kritisch für die Druckfestigkeit des Behälters und seiner Anbauteile sind, nach den vom Hersteller festgelegten Arbeitsverfahren durch Laminierer ausgeführt werden, die nach Anhang E zugelassen sind oder entsprechend den vom Hersteller festgelegten Arbeitsanweisungen durchgeführt werden.

### **17.6.2 Herstellung des Prüfbehälters**

Als Prüfbehälter kann dienen:

- a) ein vollständiger Behälter, der in Auslegung und Fertigung dem/den geplanten Behälter(n) entspricht;
- b) ein eigens für diese Zwecke hergestellter Prüfbehälter, der so ausgelegt ist, dass er wiederholten Prüfbeanspruchungen standhält und in den für Prüfzwecke sämtliche neuen Merkmale integriert werden können; oder
- c) der erste Behälter aus der Serienproduktion.

Fertigt ein Hersteller Behälter unterschiedlicher Auslegung und Größe, muss der Prüfbehälter die Konstruktionsmerkmale aufweisen, die für die Produktreihe repräsentativ sind, insbesondere:

- d) Werkstoffe und Lamine;
- e) Abmessungen;
- f) Konstruktionsverfahren;
- g) Auslegung der Auskleidungen/Chemieschutzschichten.

### 17.6.3 An den Prüfbehältern durchzuführende Prüfungen

Die Prüfungen müssen die Widerstandsfähigkeit gegenüber festgelegten Versagensarten nachweisen, und umfassen eines oder mehrere der folgenden Verfahren:

- a) Bestimmung allgemeiner und örtlicher Dehnungen durch Messung mit Dehnungsmessstreifen oder anderen geeigneten Mitteln, unter dem für den Behälter erforderlichen Flüssigkeitsdruck;
- b) Bestimmung der Ermüdungsfestigkeit des Behälters oder Behälterteils durch Wechselbeanspruchung mit verschiedenen Drücken und/oder Temperaturen innerhalb der festgelegten Grenzwerte;
- c) Bestimmung des Sicherheitsfaktors gegenüber Versagen, der mindestens 5 betragen muss, sowie der Versagensart.

Bei hohen Prüfdrücken kann das Laminat durchlässig werden, und diese Schädigungsgrenze ist durch entsprechende Festlegung des Prüfverfahrens sowie die Bestimmung der Versagensart zu berücksichtigen.

Ist der Nachweis der Festigkeitseigenschaften des Laminats erforderlich, sind die folgenden Prüfungen durchzuführen:

- d) Einheitszugfestigkeit (siehe D.5);
- e) Einheitsmodul (siehe D.6);
- f) interlaminare Schubfestigkeit des Laminats (siehe D.7);
- g) Schub- und Schälfestigkeit der Verbindung zwischen thermoplastischer Auskleidung und Laminat, sofern verwendet (siehe D.8 und D.9).

Bei Prüfungen von Laminaten mit verschiedenen Verstärkungen erhält man unter Umständen aufgrund unterschiedlicher Bruchdehnungswerte in den einzelnen Verstärkungsschichten nicht die volle Tragfähigkeit  $u \times K$  (dabei ist  $K$  der Gesamtauslegungsfaktor und  $u$  die Grenz-Schnittlast).

## 18 Kennzeichnung

Jeder nach dieser Norm ausgelegte und hergestellte Behälter oder Tank ist mit Folgendem zu kennzeichnen:

- a) Name des Herstellers;
- b) Baujahr;
- c) Seriennummer und Prüfstempel des Herstellers;
- d) zulässiger Höchstdruck  $PS$ ;
- e) Prüfdruck  $PT$ ;
- f) zulässige Höchst-/Mindesttemperatur;
- g) Fassungsraum;
- h) Beschickungsgut (hauptsächlich);
- i) Leergewicht des Tanks oder Behälters;
- j) CE-Kennzeichnung, bei Bedarf ergänzt durch die Kennnummer der benannten Stelle;
- k) Konstruktionswerkstoffe;
- l) Stempel der Prüfbehörde, sofern zutreffend.

**Anhang A**  
(informativ)

**Produktprüfung für die Serien- oder Chargenproduktion**

**A.1 Erst-Typprüfung (ITT)**

Behälter, die das erste neue Produkt innerhalb einer Serien- oder Chargenproduktion darstellen, sollten einer Typprüfung unterzogen werden.

Zum Nachweis der Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck sollten Behälter den Prüfungen in Tabelle A.1 unterzogen werden. Bei jeder Änderung von Auslegung, Werkstoffen oder Fertigungsverfahren (ausgenommen routinemäßige prozessinterne Einstellungen) sollten die betreffenden Prüfungen erneut durchgeführt werden.

**Tabelle A.1 — Typische Merkmale, die eine Erst-Typprüfung erfordern**

<b>Merkmale</b>	<b>Prüfungen/Anforderungen</b>
Ausgangswerkstoffe/ chemische Widerstandsfähigkeit	Zertifikate/Prüfberichte, Einzelheiten sind EN 13121-1:2003, Abschnitt 9 zu entnehmen
Zusammensetzung	Spezifikationen/Aufzeichnungsblätter des Laminierers/Schweißerzertifikate
Laminat/Schutzauskleidung	Zerstörende Prüfungen an Probekörpern
Festigkeit von Armaturen	Prüfung an Probe mit entsprechender Geometrie
Oberflächenwiderstand	Spezifischer Widerstand $< 10^6 \Omega$ (EN ISO 3915)
Belastung des Hebesystems	Hebeversuch
Erscheinungsbild/Oberflächenbeschaffenheit	Bericht mit Annahmekriterien der Sichtprüfung
Nicht durch Sichtprüfungen festzustellende Merkmale	Berichte der Schallemissionsprüfung, Hochfrequenzfunkenprüfung, Ultraschallprüfung
Abmessungen	Bericht der Maßprüfung
Dichtheit	Bericht der Dichtheitsprüfung
Druckfestigkeit	Bericht der Flüssigkeitsdruckprüfung

**A.2 Stichprobenprüfung**

**A.2.1 Allgemeines**

Im Folgenden ist das Verfahren der Stichprobenprüfung für Prozesse der Serien- oder Chargenproduktion angegeben (siehe Tabelle A.2).

**A.2.2 Freigabeproofungen einer Charge (BRT)**

**A.2.2.1 Allgemeines**

Die Merkmale, die üblicherweise in Freigabeproofungen einer Charge geprüft werden, sind in Tabelle A.2 zusammen mit der jeweils maßgebenden Mindesthäufigkeit der Probenahme aufgeführt.

Eine Charge oder ein Los sollte nur dann für die Auslieferung frei gegeben werden, wenn alle maßgebenden Prüfungen bestanden wurden.

Falls ein oder mehrere Behälter eine oder mehrere der Prüfungen nicht besteht/-en, wird das Los oder die Charge zurückgewiesen, oder die unter A.2.3 angegebenen Wiederholungsprüfungen sollten durchgeführt werden, und erst bei erfolgreichem Durchlaufen dieser Prüfungen sollte die Charge oder das Los freigegeben werden. Bei Nichtbestehen sollte die Charge oder das Los zurückgewiesen werden, es sei denn, eine Nichtkonformität ist auf der Grundlage eines ordnungsgemäß dokumentierten Sonderfreigabeanspruchs mit Zustimmung des Käufers/Endnutzers/der zugelassenen Zertifizierungsstelle zulässig.

**Tabelle A.2 — Merkmale und Mindesthäufigkeit der Probenahme für Freigabeproofungen einer Charge (BRT)**

Merkmale	Prüfungen/Anforderungen	Häufigkeit der Probenahme
Ausgangswerkstoffe/chemische Widerstandsfähigkeit	Zertifikate/Prüfberichte	100 %
Zusammensetzung	Spezifikationen/Aufzeichnungsblätter des Laminierers/Schweißerzertifikat	Alle 12 Monate
Laminat/Schutzschicht	Zerstörende Prüfungen an Probekörpern	10 % der Charge
Festigkeit von Armaturen	Prüfung an Probe mit entsprechender Geometrie	10 % der Charge
Oberflächenwiderstand	Spezifischer elektrischer Widerstand $< 10^6 \Omega$ (EN ISO 3915)	100 %
Belastung des Hebesystems	Hebeversuch	10 % der Charge
Nicht durch Sichtprüfungen festzustellende Merkmale	Schallemissionsprüfung, Hochfrequenzfunkenprüfung	Entsprechend Spezifikation
Abmessungen, Toleranzen, Unrundheit	Toleranzen und Bericht der Maßprüfung	100 %
Dichtheit	Bericht der Dichtheitsprüfung	100 %
Druckfestigkeit	Bericht der Flüssigkeitsdruckprüfung	100 %
Sichtprüfung	Sichtprüfung der Außen- und Innenflächen mit detailliertem Bericht zu den Annahmekriterien	100 %

#### A.2.2.2 Wiederholungsprüfverfahren für Freigabeproofungen einer Charge

Anhand des Wiederholungsprüfverfahrens sollte das letzte Produkt ermittelt werden, das die Prüfanforderungen erfüllt. Alle im Anschluss daran gefertigten Produkte sollten zurückgewiesen werden, sofern nicht ausreichende Unterlagen für einen Sonderfreigabeanspruch zusammen mit einer Nichtkonformitätsbescheinigung vorgelegt werden können, die vom Hersteller ausgegeben und bestätigt und vom Käufer/Endnutzer bzw. von der zugelassenen Zertifizierungsstelle genehmigt worden ist.

Derartige Behälter dürfen weder für den freien Markt zugelassen noch als normgerecht entsprechend den Anforderungen dieser Norm bezeichnet oder gekennzeichnet werden.

#### A.2.3 Prozesskontrollprüfungen

Falls ein oder mehrere Behälter eine oder mehrere der Prozesskontrollprüfungen nicht besteht/-en, sollten die im Qualitätsplan des Herstellers aufgeführten Wiederholungsprüfungen nach A.2.2.2 durchgeführt werden. Werden die Wiederholungsprüfungen nicht bestanden, sollte der Prozess untersucht und korrigiert werden. Falls eine beliebige Probe eine oder mehrere der zweiten Wiederholungsprüfungen nicht besteht,

sollte der Hersteller das Produkt so lange nicht als normgerecht entsprechend den Anforderungen dieser Norm kennzeichnen, bis nach den erforderlichen Korrekturmaßnahmen sämtliche Proben die Prüfung erfolgreich durchlaufen; erst dann kann die Kennzeichnung erneut beginnen. Vollständige Behälter, die nach einem abweichenden Verfahren gefertigt wurden, können nur im Einzelfall vom Endnutzer in umfassender Kenntnis der Nichtkonformität angenommen werden, eine Freigabe für den freien Markt ist jedoch unzulässig (siehe auch A.2.1).

### **A.3 Prüfunterlagen**

#### **A.3.1 Allgemeines**

Sofern nicht anders festgelegt, sollten alle Prüfunterlagen mindestens 10 Jahre aufbewahrt werden.

#### **A.3.2 Kennzeichnung**

Siehe Abschnitt 17.

#### **A.3.3 Auslieferung, Aufstellung, Instandhaltung**

Leitlinien sind EN 13121-4 zu entnehmen.

## Anhang B (informativ)

### Ableitung der Laminatkennwerte von den Kennwerten der Laminatschichten

#### B.1 Allgemeines

In diesem Anhang wird für symmetrische Lamine beschrieben, wie grundlegende Kennwerte von Laminaten mathematisch aus den Kennwerten der Laminatschichten bestimmt werden können. Bei unsymmetrischen Laminaten sind die für Analysen verwendeten Kennwerte zu messen.

Es kann erforderlich sein, die Kennwerte in Längs- und in Umfangsrichtung des Tanks oder Behälters zu berechnen.

Bei Rovinggeweben ist eine Berechnung nur möglich, wenn die Kett- und Schussrichtungen entweder mit der Meridian- oder der Umfangsrichtung des Tanks oder Behälters übereinstimmen.

#### B.2 Schicht-/Laminatdicke

Die Dicke einer Laminatschicht wird mit der folgenden Gleichung berechnet und ist in Bild B.1 graphisch dargestellt:

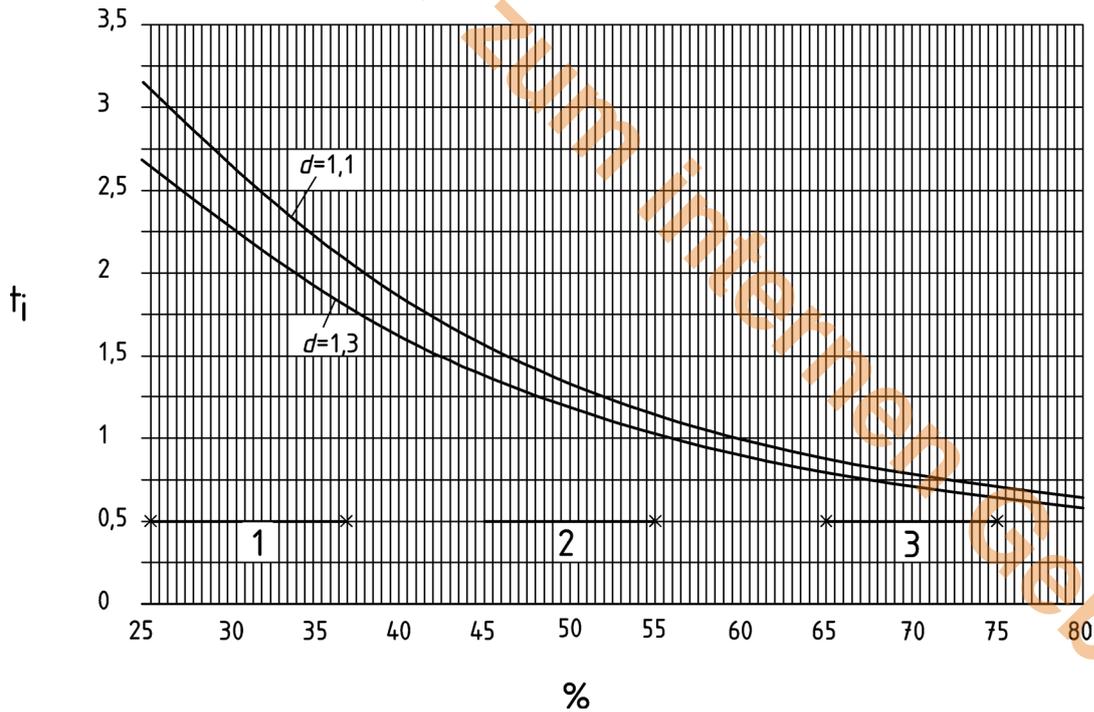
$$t_i = \left( \frac{1}{\rho_g} + \frac{(100 - m_g)}{m_g \cdot \rho_r} \right) \cdot 10^3 \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

- $t_i$  die Dicke der Laminatschicht des Typs  $i$ , in mm, Masse  $1 \text{ kg/m}^2$ ;
- $m_g$  der prozentuale Glasgehalt in der Schicht  $i$ , in  $\text{kg/m}^2$ ;
- $\rho_r$  die relative Dichte des gehärteten Harzes, in  $\text{kg/m}^3$ ;
- $\rho_g$  die Dichte des Glases, in  $\text{kg/m}^3$ .

Die Dicke  $t$  eines Laminats wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$t = \sum_{i=1}^n t_i \quad (\text{B.2})$$



**Legende**

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| 1 | Normalbereich für Wirrfasermatte          | Y | $t_i$ = Dicke (mm je kg/m <sup>2</sup> Glas) |
| 2 | Normalbereich für Rovinggewebe            | X | % = Glasgehalt                               |
| 3 | Normalbereich für fadengewickelte Rovings |   |  |

**Bild B.1 — Verhältnis zwischen Dicke und Glasgehalt**

**B.3 Laminatmoduln**

Die verschiedenen Moduln eines Laminats werden wie folgt berechnet, der Einfluss der Poissonzahl wird vernachlässigt:

$$E_T = \frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^n E_i \cdot t_i = \frac{1}{t} \cdot \sum X_i \tag{B.3}$$

$$E_c = \frac{1}{t^2} \cdot \sum_{i=1}^n E_i \cdot t_i \cdot h_i = \frac{1}{t} \cdot \sum X_i \cdot h_i \quad \text{bei symmetrischem Laminat: } E_c = 0 \tag{B.4}$$

$$E_B = \frac{1}{t^3} \cdot \sum_{i=1}^n X_i \cdot (12 \cdot h_i^2 + t_i^2) \tag{B.5}$$

Dabei ist

$E_t$	der Zugelastizitätsmodul des Laminats, in N/mm <sup>2</sup> ;
$E_c$	der Haftmodul des Laminats, in N/mm <sup>2</sup> ;
$E_b$	der Biegemodul des Laminats, in N/mm <sup>2</sup> ;
$E_i$	der Elastizitätsmodul der $i$ -ten Schicht, in N/mm <sup>2</sup> ;
$t_i$	die Dicke der $i$ -ten Schicht;
$n$	die Anzahl der Schichten eines Laminats;
$h_i$	der Abstand der $i$ -ten Schicht von der Mittelebene des Laminats; siehe Bild B.2;
Index $\Phi$	bezeichnet den Kennwert in Umfangsrichtung;
Index $x$	bezeichnet den Kennwert in Längsrichtung;
$X_i$	der Einheitszugdehnungsmodul des Laminats, in N/mm.

Die Werte für die Moduln der Einzelschichten  $E_i$  sind entweder von den Werten in Tabelle 3 abzuleiten oder als Messwerte nach 7.9 zu bestimmen.

#### B.4 Bestimmung der Biegesteifigkeit des Laminats

Die Biegesteifigkeit  $B$  wird mit der folgenden allgemeinen Gleichung berechnet:

$$B = \sum E_i \cdot t_i \left( \frac{t_i^2}{12} + h_i^2 \right) = \sum X_i \left( \frac{t_i^2}{12} + h_i^2 \right) \quad (\text{B.6})$$

Die Biegesteifigkeit in Umfangsrichtung  $B_\phi$  wird aus den Einzelwerten von  $E_i$  und  $t_i$  in Umfangsrichtung ermittelt. Die Biegesteifigkeit in Längsrichtung  $B_x$  wird aus den Einzelwerten in Längsrichtung ermittelt.

#### B.5 Bestimmung der Laminatdehnungen aus den Lastresultierenden

**B.5.1** Bei isotropen Laminaten werden die entsprechenden Dehnungen im Laminat mit den folgenden Gleichungen berechnet:

$$\varepsilon_\phi = \frac{q_\phi}{E_\phi \cdot t} \pm \frac{6 \cdot M_\phi}{E_\phi \cdot t^2} \quad (\text{B.7})$$

und

$$\varepsilon_x = \frac{q_x}{E_x \cdot t} \pm \frac{6 \cdot M_x}{E_x \cdot t^2} \quad (\text{B.8})$$

**B.5.2** Bei einem Laminat aus Laminatschichten mit anisotropen Eigenschaften werden die maximalen Dehnungen wie folgt berechnet:

$$\varepsilon_\phi = \frac{q_\phi}{E_\phi \cdot t} \pm \frac{6 \cdot M_\phi}{E_\phi \cdot t^2} \left( \frac{2 \cdot E_{c\phi}}{E_\phi} \pm 1 \right) \quad (\text{B.9})$$

und

$$\varepsilon_x = \frac{q_x}{E_x \cdot t} \pm \frac{6 \cdot M_x}{E_x \cdot t^2} \left( \frac{2 \cdot E_{cx}}{E_x} \pm 1 \right) \quad (\text{B.10})$$

Dabei ist

- $q_x$  die Kraft je Längeneinheit in Längsrichtung, in N/mm;
- $q_\phi$  die Kraft je Längeneinheit in Umfangsrichtung, in N/mm;
- $M_x$  das resultierende Moment je Längeneinheit in Längsrichtung, in Nmm/mm;
- $M_\phi$  das resultierende Moment je Längeneinheit in Umfangsrichtung, in Nmm/mm;
- $\varepsilon_x$  die Dehnung in Längsrichtung;
- $\varepsilon_\phi$  die Dehnung in Umfangsrichtung.

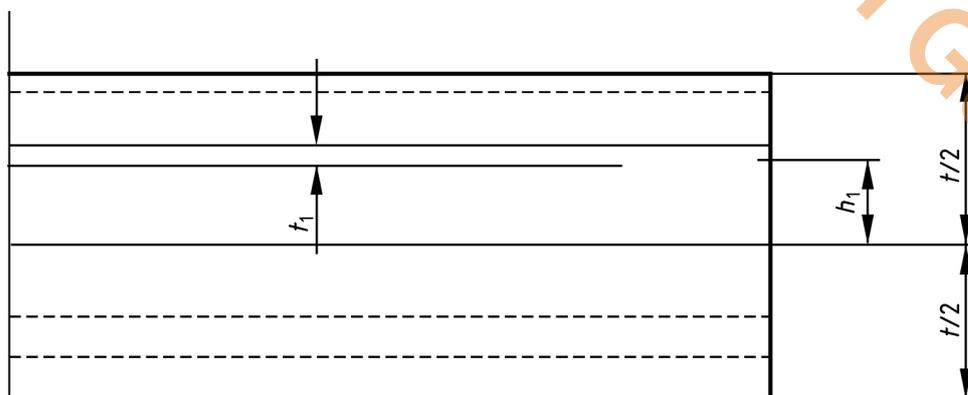


Bild B.2 — Maßangaben eines Laminatstabes mit  $n$  Lagen

## Anhang C (normativ)

### Druck- und Dichtheitsprüfung

#### C.1 Allgemeines

**C.1.1** Sämtliche in Einzelfertigung hergestellten Tanks und Behälter sind, erforderlichenfalls mit Genehmigung der Prüfbehörde, einer Prüfung bei maximaler statischer Druckhöhe (Dichtheitsprüfung) oder einer Druckprüfung entsprechend den Anforderungen der Auslegungsspezifikation zu unterziehen.

**C.1.2** Die fertig gestellten Tanks oder Behälter sind im Herstellungswerk zu prüfen. Unabhängig von einer Prüfung im Herstellungswerk sind die Prüfungen der Tanks oder Behälter jedoch grundsätzlich nach der Lieferung und Aufstellung durchzuführen.

**C.1.3** Die Beanspruchung darf während der Prüfung an keinem Tank oder Behälterteil die nach Abschnitt 8 festgelegten Dehnungsgrenzen überschreiten.

**C.1.4** Tanks und Behälter sind während der Prüfung angemessen abzustützen. Flachbodentanks und -behälter sind auf einer glatten, ebenen, waagerechten Fläche aufzustellen, welche die Gesamtlast von Tank bzw. Behälter und Beschickungsgut tragen kann. Erforderlichenfalls ist der Tank während der Prüfung durch geeignete Halterungen zu verankern.

**C.1.5** Alle Manometer müssen eine Fehlergrenze von  $\pm 2\%$  aufweisen.

**C.1.6** Sämtliche Behälter sind vor Beginn der Druckprüfung auf Dichtheit zu untersuchen.

**C.1.7** Sämtliche Druckprüfungen sind mit kontrolliertem, allmählich steigendem Prüfdruck durchzuführen.

**C.1.8** Die Mindest-Prüfdauer muss in allen Fällen 12 h für die Prüfung bei maximaler statischer Druckhöhe und eine Stunde für die Flüssigkeitsdruckprüfung betragen.

**C.1.9** Während der Prüfungen ist die Außenseite des Tanks oder Behälters auf Anzeichen von Undichtigkeit sowie ungewöhnliche Verformung der Schale zu überprüfen. Fehler sind mit ihrer genauen Lage aufzuzeichnen.

**C.1.10** Nach Abschluss der Dichtheits- oder Druckprüfung ist die Innenfläche auf Risse und Haarrisse im Harz zu untersuchen.

Thermoplastische Auskleidungen sind nach Abschluss der Dichtheits- oder Druckprüfung auf Beschädigungen zu untersuchen und einer Hochfrequenzfunkenprüfung zu unterziehen.

**C.1.11** Mit Zustimmung der Prüfbehörde dürfen während der Prüfung festgestellte Fehler ausgebessert werden. Anschließend ist der Tank oder Behälter erneut zu prüfen.

#### C.2 Offene Tanks

**C.2.1** Sämtliche Öffnungen, z. B. Stutzen, sind vor der Prüfung abzudichten.

**C.2.2** Je nach vorgesehenem Verwendungszweck ist der Tank bis zum maximalen Flüssigkeitsstand im Betrieb mit Wasser oder einer geeigneten Lösung mit höherer Dichte zu füllen. Ein handelsüblicher Farbstoff darf zugesetzt werden, um die Feststellung von Undichtigkeiten zu erleichtern.

### C.3 Geschlossene Tanks und Behälter

#### C.3.1 Beschickungsgut mit einer Dichte bis 1,0

Der Tank ist im Werk unter der Verantwortung des Tankherstellers bis zum höchsten Punkt, einschließlich aller Flanschverbindungen für eine Dauer von mindestens 12 h mit Wasser zu füllen. Der Tank muss dicht sein und bei innerer und äußerer Sichtprüfung dürfen keine Fehler festgestellt werden. Alternativ darf diese Prüfung mit Zustimmung des Tankbetreibers am Aufstellungsort unter der Verantwortung des Tankbetreibers oder der Aufstellungsfirma durchgeführt werden.

#### C.3.2 Beschickungsgut mit einer Dichte über 1,0

Mit Zustimmung des Tankbetreibers darf der Tank wie folgt geprüft werden:

##### Option A

Der Tank ist bis zum höchsten Punkt, einschließlich aller Flanschverbindungen mit Wasser zu füllen. Ein Standrohr wird an der Oberseite des Tanks angebracht und bis zu einer Höhe mit Wasser gefüllt, die der Dichte des Inhalts entspricht. Die Wasserfüllung bleibt für eine Dauer von mindestens 12 h bestehen. Der Tank muss dicht sein und bei innerer und äußerer Sichtprüfung dürfen keine Fehler festgestellt werden.

##### Option B

Diese Prüfung darf ohne das Standrohr in zwei Schritten wie folgt durchgeführt werden:

- a) Im Werk unter der Verantwortung des Tankherstellers oder am Aufstellungsort unter der Verantwortung des Tankbetreibers

Der Tank ist bis zum höchsten Punkt für eine Dauer von mindestens 12 h mit Wasser zu füllen. Der Tank muss dicht sein und bei innerer und äußerer Sichtprüfung dürfen keine Fehler festgestellt werden.

- b) Am Aufstellungsort unter der Verantwortung des Tankbetreibers

Der Tank ist für eine Dauer von mindestens 12 h mit der zu lagernden Chemikalie zu füllen. Der Tank muss dicht sein und bei innerer und äußerer Sichtprüfung dürfen keine Fehler festgestellt werden. Der Tankhersteller sollte die Notwendigkeit einer Prüfung am Aufstellungsort in der Auftragsbestätigung sowie in der Betriebsanleitung/Zeichnung des Tanks angeben.

Bei Flachbodentanks und -behältern muss die Haltevorrichtung für die Prüfung Abschnitt 14 entsprechen.

### C.4 Flüssigkeitsdruckprüfung

#### C.4.1 Prüfung in Betriebslage

Die Flüssigkeitsdruckprüfung von Behältern unter Druck muss mit dem 1,3fachen des Berechnungsdrucks sowie bei 20 °C oder Umgebungstemperatur durchgeführt werden.

ANMERKUNG Der Temperatureinfluss wird bei dieser Prüfung vernachlässigt, wegen des damit verbundenen, kurzzeitigen Anstiegs der zulässigen Längsverformung des Harzes bei Temperaturanstieg.

#### C.4.2 Prüfung in anderer als Betriebslage

Stehende Behälter müssen gegebenenfalls liegend der Druckprüfung unterzogen werden. Dabei sind die Auflagerung des Behälters während der Prüfung und die resultierenden statischen und Druckbelastungen der verschiedenen Behälterbauteile zu beachten.

Die Dehnungsbeanspruchung darf während der Prüfung in keinem Behälterteil die in 8.2.3 angegebene Dehnungsgrenze überschreiten.

### C.4.3 Gasdruckprüfung

Eine Gasdruckprüfung muss nur durchgeführt werden, wenn eine Flüssigkeitsdruckprüfung nicht möglich ist.

Gasdruckprüfungen sind nur bis zu einem Prüfdruck von  $PT \leq 0,7$  bar zulässig oder begrenzt auf  $PT \times V \leq 6\,000$  bar · dm<sup>3</sup>.

Für die Prüfung ist der Behälter mit einem Druckentlastungsventil zu versehen, um eine Drucküberschreitung zu verhindern.

Zum Schutz von Personal und Gerät im Falle eines Versagens des Behälters während einer derartigen Prüfung sind geeignete Vorkehrungen zu treffen.

### C.4.4 Unterdruckprüfung

Behälter für Unterdruckbetrieb sind möglichst unter Unterdruckbedingungen oder mit erhöhtem Außendruck zur Simulation eines Unterdrucks zu prüfen. In beiden Fällen muss der resultierende Außendruck des Behälters das 1,3fache des Auslegungsaußendrucks betragen, und die Dehnungsbeanspruchung darf die in 8.2.3 angegebenen Werte nicht überschreiten. Die Prüfung des maximalen Unterdrucks muss auf vollständiges Vakuum begrenzt sein.

**Anhang D**  
(normativ)

**Prüfverfahren**

**D.1 Allgemeines**

**D.1.1 Prüfungen**

Dieser Anhang beschreibt Verfahren zur Prüfung von Harzen, Laminaten und Thermoplasten für Behälter und Tanks aus verstärkten Kunststoffen.

Prüfung	Zu bestimmende Eigenschaft
D.2	Glühverlust
D.3	Zugfestigkeit von Schweißverbindungen bei thermoplastischen Kunststoffen
D.4	Biegeprüfung von Schweißverbindungen bei thermoplastischen Kunststoffen
D.5	Einheitszugfestigkeit bei Bruch von Laminaten
D.6	Einheitszugmodul von Laminaten
D.7	Interlaminare Schubfestigkeit von Laminaten
D.8	Schubfestigkeit der Verbindung zwischen thermoplastischer Auskleidung und Laminat oder zwischen Laminatschichten
D.9	Schälfestigkeit der Verbindung zwischen Laminatschichten
D.10	Prüfung des Kurzzeit-Kriechverhaltens
D.11	Barcol-Härte
D.12	Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstands
D.13	Glasübergangstemperatur ausgehärteter Harze
D.14	Hochfrequenzfunkenprüfung von Schweißverbindungen bei thermoplastischen Kunststoffen
D.15	Zeitstand-Kriechverhalten bei Biegebeanspruchung (oder Prüfung des Einheitsbiegemoduls $E_{1h}$ und $E_{24h}$ )
D.16	Gummihärte
D.17	Flammpunktprüfung
D.18	Prüfung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur
D.19	Einheitsbiegefestigkeit von Laminaten (Biegeprüfung)
D.20	Prüfung der Abreißfestigkeit (Haftfestigkeit)

Sind kontrollierte Bedingungen für die Prüfungen erforderlich, muss EN ISO 291 angewendet werden.

### **D.1.2 Genauigkeit des Prüfgeräts**

Prüfgeräte sind nach EN ISO 7500-1 zu kalibrieren.

Dehnungsmesser, einschließlich Zubehör und Aufzeichnungsgerät, sind nach EN ISO 9513 zu kalibrieren.

## **D.2 Glühverlust**

Form und Anzahl der Probekörper sowie das Prüfverfahren sind in EN ISO 1172 spezifiziert.

## **D.3 Zugfestigkeit von Schweißverbindungen bei thermoplastischen Kunststoffen**

Form und Anzahl der Probekörper sowie das Prüfverfahren sind in EN ISO 527-4 spezifiziert.

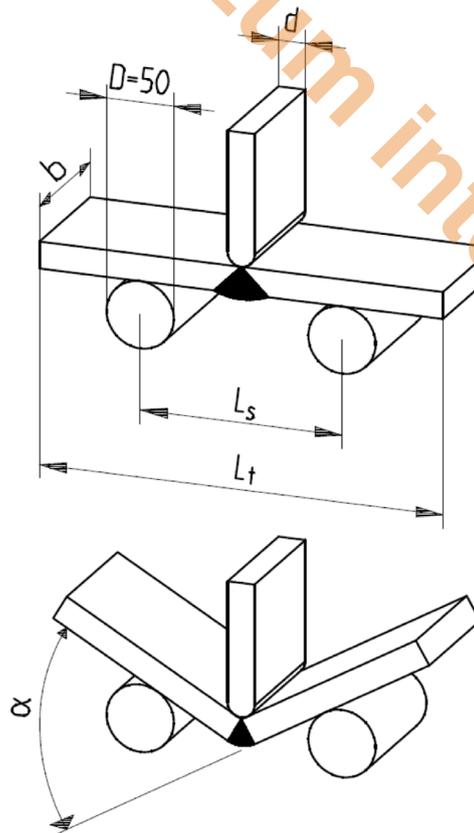
## **D.4 Biegeprüfung von Schweißverbindungen bei thermoplastischen Kunststoffen**

### **D.4.1 Einleitung**

Der Biegeversuch dient in Verbindung mit anderen Prüfungen zur Bewertung der Qualität von Schweißverbindungen bei Thermoplastplatten.

### **D.4.2 Versuchsanordnung**

In Bild D.1 ist die Versuchsanordnung schematisch dargestellt.



**Legende**

- $\alpha$  Biegewinkel
- $b$  Breite der Prüfplatte
- $d$  Dicke der Druckfinne mit halbrunder Kante, Radius =  $0,5d$
- $D$  Stangendurchmesser, 50 mm
- $t$  Dicke der Prüfplatte
- $L_s$  Abstand zwischen Auflagern
- $L_t$  Gesamtlänge des Probekörpers

**Bild D.1 — Schematische Darstellung der Biegefestigkeitsprüfung**

**D.4.3 Probekörper**

Jeder zu prüfenden Schweißnaht sind fünf Probekörper zu entnehmen. Die Maße der Probekörper müssen Tabelle D.1 entsprechen. Die Dicke der Druckfinne mit halbrunder Kante und einem Radius von  $0,5d$  für die Biegebeanspruchung ist ebenfalls festgelegt.

**Tabelle D.1 — Maße der Probekörper**

Probekörper mm			Abstand zwischen Auflagern mm	Dicke der Druckfinne mm
Dicke $t$	Breite $b$	Länge $L_t$	$L_s$	$d$
$3 < t \leq 5$	20	150	80	4

#### D.4.4 Prüfverfahren

Die Probekörper sind nach EN ISO 291 zu konditionieren.

Die Last ist in der Mitte der Schweißnahtwurzel aufzubringen. Die Belastungsgeschwindigkeit ist in Tabelle D.2 festgelegt.

**Tabelle D.2 — Prüfungsgeschwindigkeit für einige Thermoplaste**

Material	Prüfungsgeschwindigkeit mm/min
PE, PP-B, PP-R	50
PP-H, PVDF, ECTFE	20
PVC-U und PVC-C	10

#### D.4.5 Anforderungen an die Biegeprüfung

Die in Tabelle D.3 angegebenen Mindestbiegewinkel für die jeweiligen Werkstoffe müssen bei allen geprüften Probekörpern erreicht werden, ohne dass Risse in der Schweißnaht oder im Nahtbereich auftreten.

**Tabelle D.3 — Anforderungen an den Biegewinkel  $\alpha$**

Auskleidungswerkstoff	Dicke $t$ mm	Warmgasschweißen $\alpha$	Heizelementschweißen $\alpha$
PVC-U and PVC-C	3	$\geq 30^\circ$	$\geq 75^\circ$
PP-H, PP-B	3 bis 6	$\geq 50^\circ$	$\geq 85^\circ$
PP-R	3 bis 6	$\geq 85^\circ$	$\geq 160^\circ$
PVDF, ECTFE, FEP, PFA	2,3 bis 3	$\geq 80^\circ$	$\geq 80^\circ$

#### D.4.6 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss folgende Angaben enthalten:

- angewendete Norm
- Entnahmeort der Probekörper;
- Datum der Herstellung der Probekörper;
- Abmessungen der Probekörper;
- Bewertung der Schweißnähte durch Sichtprüfung;
- Konditionierung der Probekörper;
- Belastungsgeschwindigkeit;
- Biegewinkel;
- Bewertung der Probekörper durch Sichtprüfung nach der Prüfung, einschließlich ggf. vorhandener Bruchstellen;
- Datum der Prüfung.

## D.5 Bestimmung der Einheitszugfestigkeit bei Bruch von Laminaten

### D.5.1 Probekörper und Prüfverfahren

Form und Anzahl der Probekörper sowie das Prüfverfahren müssen EN ISO 527-4 entsprechen.

### D.5.2 Einfache Laminat

Ist ein Vergleich mit den in Tabelle 3 angegebenen Werten erforderlich, muss jede Verstärkungsart einzeln geprüft und mit der folgenden Gleichung berechnet werden.

$$U = \frac{F}{b \cdot m} \quad (\text{D.1})$$

Dabei ist

- $b$  die mittlere Anfangsmesslänge des Probekörpers, in mm;
- $F$  die maximale Zugkraft, in N;
- $m$  die Masse der einzelnen Verstärkungsart der Glasprobe, in kg/m<sup>2</sup>;
- $U$  die Einheitszugfestigkeit bei Bruch, in N/mm je kg/m<sup>2</sup> Glas.

### D.5.3 Kombinierte Laminat

Stehen nur Laminatkombinationen zur Verfügung (z. B. bei der Prüfung von Behälterausschnitten), erreicht der Probekörper möglicherweise nicht die volle Einheitszugfestigkeit, die die einzelnen Schichten vermuten lassen.

Die Mindesteigenschaften nach Tabelle 3 können dann durch Bestimmung der Mindestlast bewertet werden, der der Probekörper ohne Versagen widerstehen kann.

**ANMERKUNG** Unterschiedliche Dehnfähigkeiten der einzelnen Schichten führen zum Versagen in einer Schicht, bevor die volle Last in anderen Verstärkungsarten erreicht wird. Die resultierende Lastübertragung führt zu vorzeitigem Versagen des Probekörpers.

Die Dehnung  $\varepsilon_i$  einer Schicht des Typs  $i$  beim Mindestwert der Einheitszugfestigkeit ist für jede Schicht mit der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$\varepsilon_i = \frac{U}{X_i} \quad (\text{D.2})$$

Dabei ist

- $X_i$  der Einheitsmodul der Schicht des Typs  $i$ , in N/mm je kg/m<sup>2</sup>.

Die geringste Dehnung  $\varepsilon_{\min}$  muss für die Bestimmung der Einheitszugfestigkeiten der anderen Verstärkungsarten bei der Dehnung aus folgender Gleichung verwendet werden:

$$U = X_i \cdot \varepsilon_{\min} \quad (\text{D.3})$$

Die daraus resultierende Einheitszugfestigkeit jeder Schicht muss dann mit der Gesamtmasse jeder Verstärkungsart und der Probekörperbreite multipliziert werden, um die erforderliche Mindestlast zu erhalten.

## D.6 Einheitszugmodul von Laminaten

Form und Anzahl der Probekörper sind in EN ISO 527-4 festgelegt, und die Prüfgeschwindigkeit muss 2 mm/min betragen.

Der Probekörper ist durch Aufbringen einer geringen Anfangszugkraft (höchstens 10 % der erwarteten Kraft bei einer Dehnung von 0,25 %) vorzuspannen, und das Messgerät ist bei dieser Kraft auf null zu stellen.

Die Dehnung ist kontinuierlich zu erhöhen, bis eine Zugdehnung  $Z_x$  von 0,1 mm je 50 mm Messlänge (Dehnung 0,25 %) erreicht ist; der zugehörige Wert von  $P_x$  ist aufzuzeichnen.

Ist zu erwarten, dass bei einer Dehnung von 0,25 % die Gefahr eines Bruchs des Probekörpers besteht, ist es zulässig, die Prüfung mit einer Dehnung von 0,1 % (entsprechend einer Längsdehnung von 0,05 mm je 50 mm Messlänge) durchzuführen.

Dementsprechend ist auch die Anfangskraft zum Vorspannen des Probekörpers zu verringern.

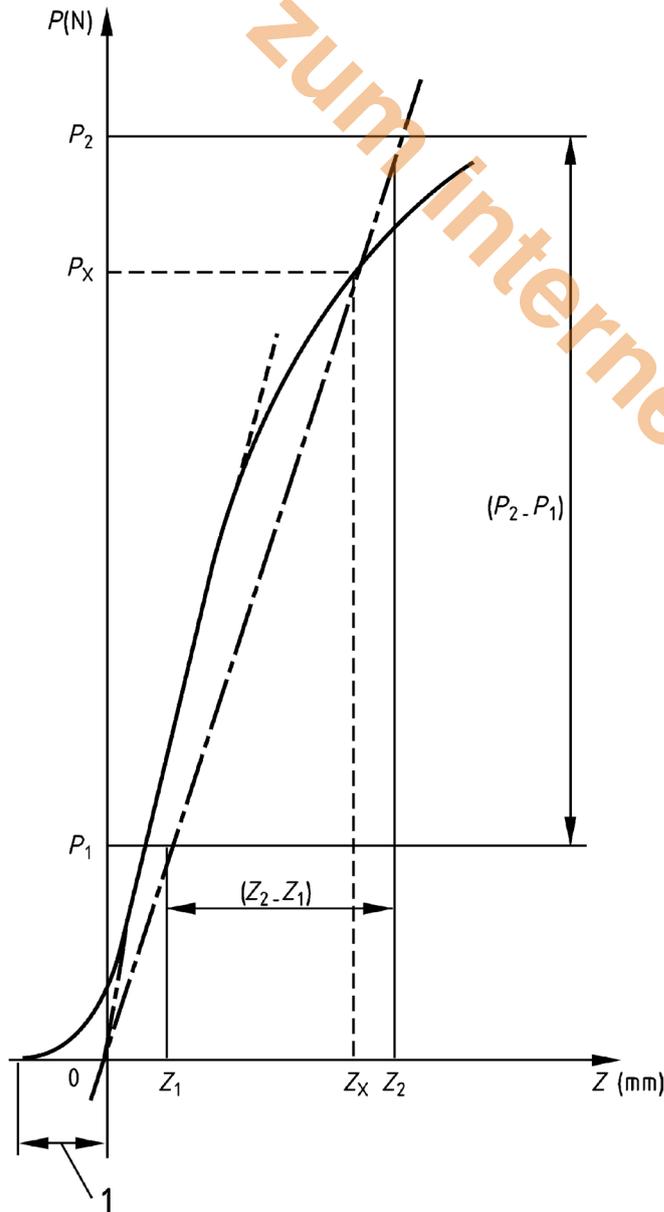
Der Einheitsmodul des Laminats  $X_{\text{lam}}$  ist mit Gleichung (D.4) zu berechnen:

$$X_{\text{lam}} = \frac{(P_2 - P_1) \cdot L}{(Z_2 - Z_1) \cdot b} \quad (\text{D.4})$$

Dabei ist

- $b$  die mittlere Breite des Probekörpers über die Messlänge, in mm;
- $L$  die Messlänge des Probekörpers, 50 mm;
- $(Z_2 - Z_1)$  die Änderung der gemessenen Dehnung entsprechend der Änderung der aufgetragenen Kraft  $(P_2 - P_1)$  (siehe Bild D.2), in Millimeter.

Nur zum internen Gebrauch



**Legende**

1 abschließende Einstellung der ursprünglichen Lage

**Bild D.2 — Darstellung der offensichtlichen Dehnung  $Z$  im Verhältnis zur Kraft  $P$**

Für ein Laminat mit einer einzigen Verstärkungsart wird der Wert von  $X_1$  (in N/mm je kg Glas je  $m^2$ ) mit folgender Gleichung (D.5) berechnet:

$$X_1 = \frac{X_{lam}}{m} \tag{D.5}$$

Dabei ist

$m$  die Masse der einzelnen Verstärkungsart der Glasprobe, in  $kg/m^2$ .

## D.7 Interlaminare Schubfestigkeit von Laminaten

### D.7.1 Form der Probekörper

Die Probekörper müssen in Form und Abmessungen der Darstellung in Bild D.3 entsprechen. Ihre erforderliche Mindestdicke muss 3 mm betragen, und die Länge der Probekörper kann je nach den Anforderungen des vorhandenen Prüfgeräts variieren. Die Ränder des Probekörpers müssen glatt, jedoch nicht abgerundet oder abgeschrägt sein. Auf beiden Seiten ist je ein Einschnitt über die gesamte Breite des Probekörpers zu sägen; die Einschnitte sollten einen Abstand von 5 bis 12 mm aufweisen und parallel verlaufen. Sie müssen möglichst schmal ausgeführt und mit einer Toleranz von 0,8 mm parallel sein. Ihre Tiefe muss der Hälfte (+0,1mm; –0 mm) der Laminatdicke zuzüglich der Dicke einer Schicht oder, wenn Anzahl oder Dicke der Einzellagen unbekannt sind, der Hälfte der Laminatdicke entsprechen.

### D.7.2 Anzahl der Probekörper

Bei Laminaten, die vollständig aus Wirrfasermatte oder Faserspritzlaminat hergestellt sind, müssen fünf Probekörper geprüft werden. Bei Laminaten, die Rovinggewebe oder andere gerichtete Verstärkungen enthalten, sind zehn Probekörper, je fünf in Richtung der Anisotropieachsen, zu prüfen.

### D.7.3 Durchführung

Die Probekörper sind nach EN ISO 291 zu konditionieren.

Die Probekörper sind in die Klemmen der Zugprüfmaschine einzuspannen und zu belasten, bis der Bruch des Probekörpers in Form von Schubversagen mit geringen Schälablösungen an der interlaminaren Verbindung eintritt.

Die Prüfgeschwindigkeit, d. h. die relative Bewegungsgeschwindigkeit der Klemmen oder Einspannvorrichtungen während der Prüfung, muss zwischen 5,0 mm/min und 6,5 mm/min betragen.

### D.7.4 Ergebnisse

Die interlaminare Schubfestigkeit  $\tau_s$  (in N/mm<sup>2</sup>) ist mit der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$\tau_s = \frac{W}{a \cdot b} \quad (\text{D.6})$$

Dabei ist

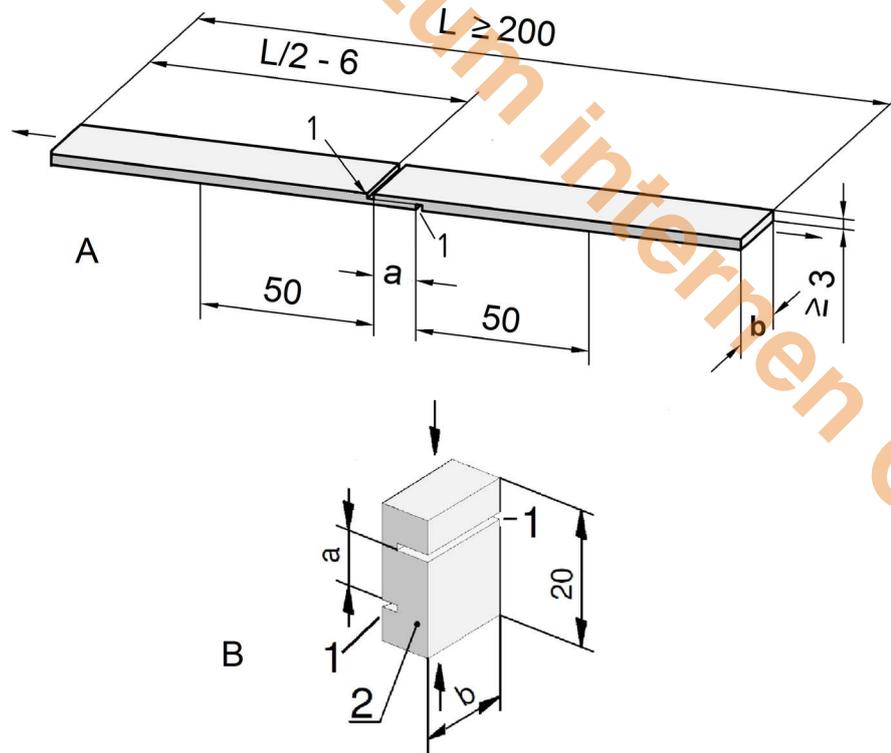
- $W$  die ermittelte Kraft, in N;
- $a$  der Abstand zwischen den Sägeschnitten, ( $5 \text{ mm} \leq a \leq 12 \text{ mm}$ );
- $b$  die Breite des Probekörpers, ( $10 \text{ mm} \leq b \leq 25 \text{ mm}$ ).

Die interlaminare Schubfestigkeit des zu prüfenden Laminats ist als arithmetisches Mittel der interlaminaren Schubfestigkeiten der einzelnen Probekörper nach 7.6 aufzuzeichnen.

### D.7.5 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss folgende Angaben enthalten:

- a) angewendete Norm;
- b) die interlaminare Schubfestigkeit des Laminats;
- c) die einzelnen Prüfergebnisse;
- d) die Konditionierung der Probekörper.



#### Legende

- 1 dünner Sägeschnitt
- 2 Laminat

**Bild D.3 — Probekörper zur Bestimmung der interlaminaren Schubfestigkeit eines Laminats**

### D.8 Schubfestigkeit der Verbindung zwischen thermoplastischer Auskleidung und Laminat oder zwischen Laminatschichten

#### D.8.1 Form der Probekörper

Der Probekörper muss aus der Gesamtdicke von Laminat und Auskleidung geschnitten werden; Form und Abmessungen müssen Bild D.4 entsprechen.

#### D.8.2 Anzahl der Probekörper

Mindestens fünf Probekörper sind zu verwenden.

#### D.8.3 Durchführung

Zwei dünne Sägeschnitte sind im rechten Winkel zur Längsachse in einem Abstand von 5 bis 12 mm und symmetrisch zur Querachse zu setzen. Ein Schnitt ist durch die volle Dicke der thermoplastischen Auskleidung, jedoch nicht in das Laminat, der andere Schnitt durch die volle Dicke des Laminats, jedoch nicht in die thermoplastische Auskleidung auszuführen.

Die Konditionierung der Probekörper und die Durchführung der Prüfungen müssen nach EN ISO 291 erfolgen.

Die Probekörper sind so in die Einspannklemmen einer geeigneten Zugprüfmaschine einzuspannen, dass die Längsachse mit der Zugrichtung fluchtet. Der Probekörper ist mit einer konstanten Prüfgeschwindigkeit von  $(25 \pm 6)$  mm/min zu spannen.

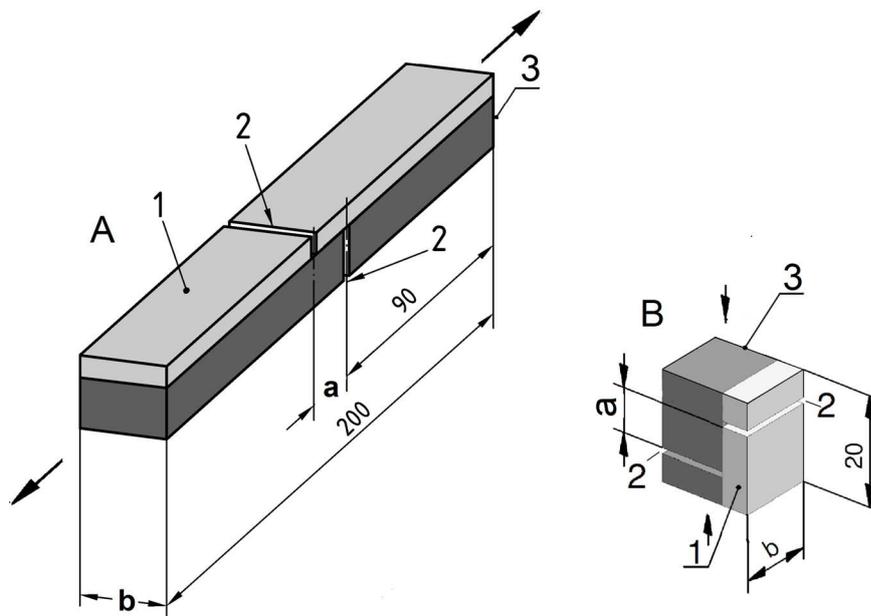
Die Schubfestigkeit der Verbindung ist anhand der Höchstlast und der schubbeanspruchten Fläche zu berechnen und wird in  $\text{N/mm}^2$  ausgedrückt. Die Schubfestigkeit der Verbindung des geprüften Werkstoffs ist als arithmetisches Mittel der Schubfestigkeiten der Verbindungen der einzelnen Probekörper nach 7.6 aufzuzeichnen.

#### D.8.4 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss folgende Angaben enthalten:

- angewendete Norm;
- die Schubfestigkeit der Verbindung zwischen thermoplastischer Auskleidung und Laminat;
- die einzelnen Prüfergebnisse.

Maße in Millimeter



#### Legende

- Auskleidungs- oder Laminatwerkstoff
- dünner Sägeschnitt
- Grundlaminat

**Bild D.4 — Probekörper zur Bestimmung der Festigkeit der Verbindung zwischen thermoplastischer Auskleidung und Laminat oder zwischen Laminatschichten**

## D.9 Schälfestigkeit der Verbindung zwischen Laminatschichten

### D.9.1 Form der Probekörper

Der Probekörper muss aus der Gesamtdicke des Laminats geschnitten werden, Form und Abmessungen müssen den Bildern entsprechen. Der Sägeschnitt muss so fein wie möglich an der Verbindung zwischen den beiden Laminatschichten ausgeführt werden, deren Schälfestigkeit ermittelt werden soll (z. B. zwischen einem Trag- und einem Überlaminat).

### D.9.2 Anzahl der Probekörper

Die Anzahl der verwendeten Probekörper muss den Anforderungen nach 7.6 oder 7.7 entsprechen.

### D.9.3 Durchführung

Die Konditionierung der Probekörper und die Durchführung der Prüfungen müssen nach EN ISO 291 erfolgen.

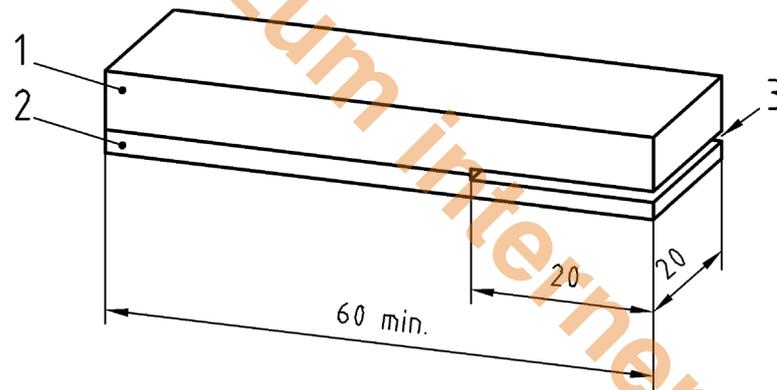
Das Traglaminat ist waagrecht in einen Schraubstock oder eine Klemmvorrichtung einzuspannen, und die untere Laminatschicht ist mit Gewichten oder einer geeigneten Prüfmaschine zu belasten, bis die Last gerade für das Abschälen von der oberen Schicht ausreicht. Während des gesamten Vorgangs muss die Last senkrecht zur Verbindung zwischen den Laminatschichten wirken, siehe Bild D.5. Die Schälfestigkeit ist aus der Gesamtlast bei Eintreten der Schälablösung und der gemessenen Breite des Probekörpers zu berechnen und in Newton je Millimeter Breite anzugeben. Die Schälfestigkeit der Verbindung ist als das arithmetische Mittel der Schälfestigkeitswerte der Probekörper entsprechend den Anforderungen nach 7.6 oder 7.7 aufzuzeichnen.

### D.9.4 Prüfbericht

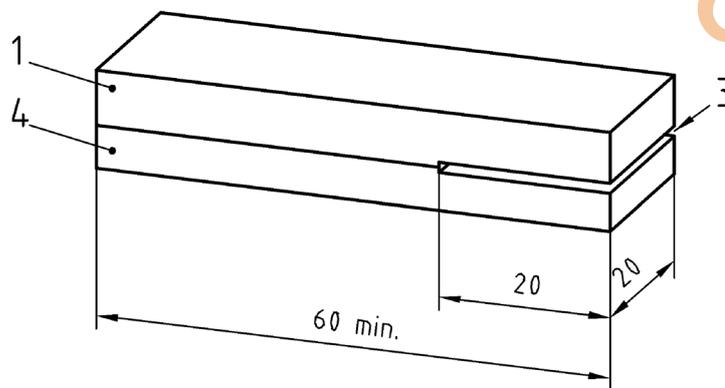
Der Prüfbericht muss folgende Angaben enthalten:

- a) angewendete Norm;
- b) die Schälfestigkeit des Laminates;
- c) den Aufbau der in den Probekörpern enthaltenen Laminatschichten;
- d) die einzelnen Prüfergebnisse.

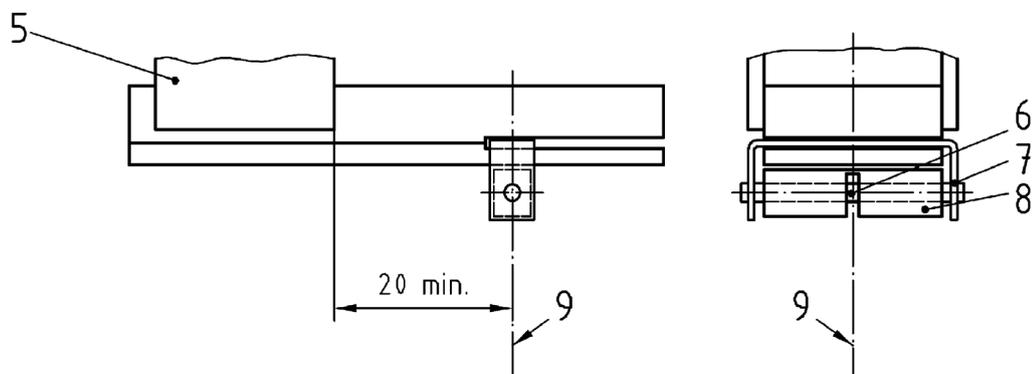
Maße in Millimeter



a) Laminatprobekörper mit thermoplastischer Auskleidung



b) Laminat/Laminat-Probekörper



c) Prüfaufbau

**Legende**

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| 1 Laminat                            | 6 Bügel  |
| 2 thermoplastische Auskleidung       | 7 Stift  |
| 3 schmaler Sägeschnitt               | 8 Joch   |
| 4 zweite Laminatschicht              | 9 Last (Waagschale und Gewichte oder Prüfmaschine) |
| 5 Schraubstock oder Klemmvorrichtung |  |

**Bild D.5 — Prüfung zur Bestimmung der Schälfestigkeit von Verbindungen**

## D.10 Prüfung des Kurzzeit-Kriechverhaltens bei Biegebeanspruchung (Prüfung des Biegemoduls $E_{1h}$ und $E_{24h}$ )

### D.10.1 Allgemeines

Der Kurzzeit-Kriechversuch bei Biegebeanspruchung ist bei der Produktionskontrolle zur schnellen Überprüfung der in Tabelle 7 angegebenen bzw. der im Zeitstand-Kriechversuch nach D.15 ermittelten Werte für den Einflussfaktor  $A_5$  anzuwenden. Er ersetzt nicht den Zeitstand-Kriechversuch nach D.15 zur Bestimmung des Einflussfaktors  $A_5$  für die weiterentwickelte Auslegung (siehe 7.9.5.6). Grundlage für den Kurzzeit-Kriechversuch sind EN ISO 899-1 und EN ISO 899-2 sowie EN ISO 14125, in denen Verfahren zur Bestimmung der Biegeeigenschaften eines Laminats bei Dreipunkt-Belastung beschrieben sind. Die Bewertung des Kurzzeit-Kriechverhaltens durch Belastung frei aufliegender Stäbe in der Mitte der Stützweite über eine Zeitspanne von 24 h dient dem Nachweis des angenommenen Zeitstandverhaltens von Laminaten unter statischer Belastung.

### D.10.2 Definitionen

**Durchbiegung:** Die Strecke  $d$ , um die sich die Ober- oder Unterseite des Probekörpers in der Mitte der Stützweite durch statische Biegebeanspruchung aus ihrer ursprünglichen Lage verschiebt.

**Kriechdehnungsrate:** Die Kriechdehnungsrate  $f_{c,24h}$  definiert einen repräsentativen Abschnitt der Kriechkurve zwischen 1 h und 24 h, der als charakteristisch für das Zeitstand-Kriechverhalten des Laminats anzunehmen und mit der Gleichung in D.10.6 zu berechnen ist.

### D.10.3 Prüfgerät

Das in Bild D.6 schematisch dargestellte Standardprüfgerät, das das Aufbringen einer konstanten Kraft auf den Probekörper ermöglicht. Auflager und Druckfinne müssen parallel sein.

Der Radius  $r_1$  der Druckfinne und der Radius  $r_2$  der Auflager müssen Folgendem entsprechen:

$$r_1 = (5 \pm 0,1) \text{ mm};$$

$$r_2 = (2 \pm 0,2) \text{ mm}.$$

Der Abstand  $L$  zwischen den Auflagern muss je nach Bedarf einstellbar sein.

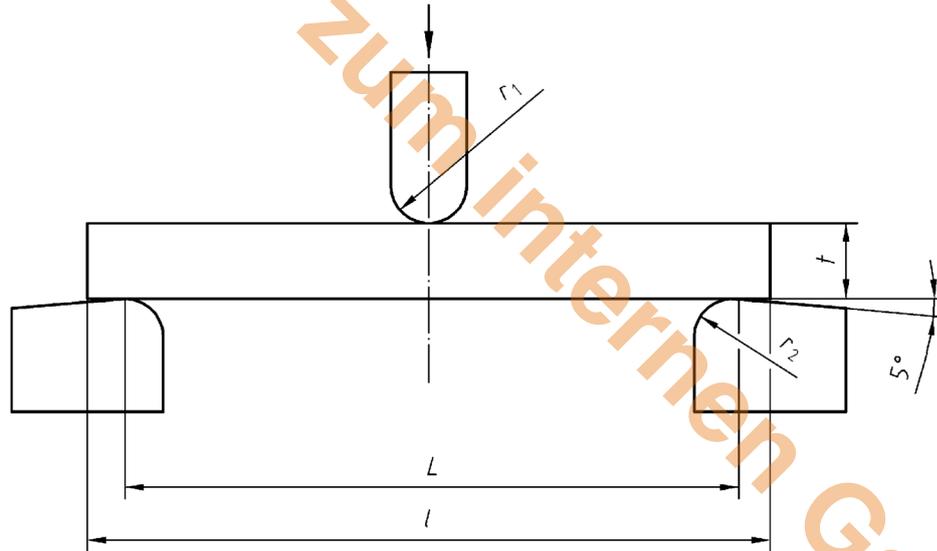


Bild D.6 — Detaildarstellung des Prüfgeräts

#### D.10.4 Probekörper

Die Probekörper sind aus Prüfstücken von Ausschnitten des fertiggestellten Laminats oder aus vorbereiteten Probekörpern (siehe 17.6.3) herzustellen. Die Probekörper können eine Chemieschutzschicht aufweisen.

Die Dicke  $t$  des Probekörpers muss der Dicke des Traglaminats entsprechen, wobei eine gegebenenfalls vorhandene Chemieschutzschicht oder Auskleidung entfernt worden ist.

Die Breite  $b$  des Probekörpers muss  $(2,5 \pm 0,5) \cdot t$  sein. Die Länge des Probekörpers muss  $L + 4 \cdot t$  sein. Der Abstand  $L$  zwischen den Auflagern muss gleich  $(18 \pm 2) \cdot t$  sein.

Für die Typprüfung des Laminats sind mindestens fünf Probekörper herzustellen.

Für die Produktionskontrollprüfungen sind mindestens drei Probekörper herzustellen.

Weist das Laminat signifikante Abweichungen im Biegeverhalten in zwei Hauptrichtungen auf, sind für die Prüfung in beiden Richtungen Probekörper herzustellen.

Alle Probekörper müssen denselben Härtezustand aufweisen wie der fertiggestellte Tank oder Behälter und nach EN ISO 291 konditioniert werden.

#### D.10.5 Durchführung

Die Probekörper sind symmetrisch auf die parallel angeordneten Auflagern zu legen (siehe Bild D.6), wobei die Längsachse im rechten Winkel zu den Auflagern verlaufen muss. Der Abstand  $L$  zwischen den Auflagern ist nach D.10.4 einzustellen.

Die Biegespannung aufgrund der aufgebrachten Last  $N$  muss  $(20 \pm 2) \%$  der in Prüfung D.19 ermittelten Biegefestigkeit bei Bruch des Laminats betragen. Stehen Daten aus früheren Prüfungen der Biegefestigkeit des Laminats zur Verfügung, dürfen diese Werte verwendet werden, statt einen speziellen Biegeversuch durchzuführen.

Die Messung der Durchbiegung der Probekörper muss innerhalb von 0,1 h, dann 1 h und 24 h nach Belastung des Probekörpers erfolgen und ist auf drei Dezimalstellen aufzuzeichnen.

Nur zum internen Gebrauch

### D.10.6 Berechnung

Die Kriechdehnungsrate in % ist mit der folgenden Gleichung zu berechnen. Das Ergebnis kann wie in Bild D.7 schematisch dargestellt werden.

$$f_{c,24h} = 100 \frac{(d_{24} - d_1)}{d_1} \quad (D.7)$$

Dabei ist

- $d_0$  die Anfangsdurchbiegung unter statischer Belastung;
- $d_1$  die Durchbiegung nach 1 h unter statischer Belastung;
- $d_{24}$  die Durchbiegung nach 24 h unter statischer Belastung.

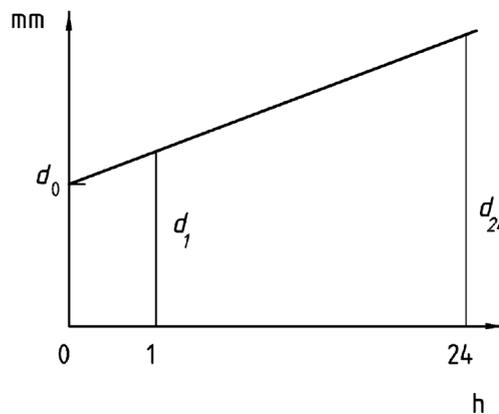


Bild D.7 — Diagramm des Kurzzeit-Kriechversuchs

Die Entsprechungswerte für Kriechdehnung und Einflussfaktor  $A_5$  sind in Tabelle D.4 angegeben.

Tabelle D.4 — Entsprechungswerte von Kriechdehnung und Einflussfaktor  $A_5$

$A_5$	1,25	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,20	2,40
$f_{c,24, 6min} (%)$	5,00	5,92	7,65	9,29	10,84	12,33	13,74	15,10	16,40	18,85	21,14

Vorstehende Tabelle enthält folgendes Verhältnis:  $A_5 = (1 + f_{c,24 h}/100)^{4,565}$  beruhend auf dem 6-min-Wert = 0,10 h

$$E_{24h} = \frac{N \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot t^3 \cdot d_{24}} \quad ; \quad E_{1h} = \frac{N \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot t^3 \cdot d_1} \quad (D.8)$$

### D.11 Barcol-Härte

Das Prüfverfahren ist nach EN 59 durchzuführen.

### D.12 Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstands

Das Prüfverfahren ist nach EN ISO 3915 durchzuführen.

### D.13 Glasübergangstemperatur ausgehärteter Harze mittels DSC

Das Prüfverfahren ist nach EN ISO 11357-2 durchzuführen.

### D.14 Hochfrequenzfunkenprüfung thermoplastischer Schweißnähte

#### D.14.1 Allgemeines

Zweck dieser Prüfung ist der Nachweis, dass Schweißnähte in thermoplastischen Auskleidungen nach der Fertigung frei von Nahtfehlern sind.

Dazu wird eine Stromdurchgangsprüfung durchgeführt. Die thermoplastische Auskleidung wird dabei als elektrische Isolierung betrachtet und auf Löcher und Risse untersucht, indem versucht wird, über die Auskleidung einen Kontakt an Masse herzustellen.

Die dielektrischen Eigenschaften von thermoplastischen Auskleidungen können sich während der Betriebsdauer des Tanks oder Behälters verändern.

**ACHTUNG — Aus diesem Grund ist das Hochfrequenzprüfverfahren nicht mehr zuverlässig, sobald der Tank einmal in Betrieb genommen wurde.**

#### D.14.2 Prüfgerät

Als Prüfgerät muss ein Hochfrequenzprüfgerät mit Wechselspannungsquelle für die Prüfung von PVC-U und PVC-C, PVDF- und PP-Werkstoffen bzw. mit Gleich- oder Wechselspannungsquelle für die Prüfung von FEP-, PFA- und E-CTFE-Werkstoffen verwendet werden. Gleichspannung ist bei diesen Werkstoffen, bei denen eine geringere Spannung erforderlich ist, mit größerer Genauigkeit regelbar, siehe D.14.3.

#### D.14.3 Durchführung

Als Masseanschluss auf der Rückseite der Schweißnaht darf ein vorübergehend angebrachter Metallstreifen verwendet werden, der nach der Prüfung entfernt werden muss, bevor auf die Auskleidung eine Verstärkung oder eine leitfähige Harzschicht aufgebracht wird, die kohlenstoffhaltig sein kann.

Hochfrequenzprüfgeräte haben eine Prüfspitze, von der eine Corona-Entladung ausgeht. Gleichspannungsgeräte haben ebenfalls eine Prüfspitze, erfordern jedoch darüber hinaus eine Masserrückleitung. Bei Erkennen eines Fehlers wird der Stromkreis geschlossen und ein Alarmsignal ausgelöst.

Die Prüfspannung für die verschiedenen Werkstoffe muss sein:

- Bei PVC-U und PVC-C: 5 kV/mm Dicke bei allen Auskleidungsdicken;
- Bei PP, PVDF, FEP, PFA und ECTFE: 4 kV/mm Dicke bei Auskleidungsdicken > 3 mm.
- Bei PP, PVDF, FEP, PFA und ECTFE: 3,5 kV/mm Dicke bei Auskleidungsdicken ≤ 3 mm.

Eine Wiederholungsprüfung derartiger Schweißnähte muss bei verringerter Spannung entsprechend den Empfehlungen des Platten-/Rohrherstellers durchgeführt werden.

Die Geschwindigkeit, mit der die Prüfspitze über die Nahtoberfläche geführt wird, muss zwischen 100 mm/s und 200 mm/s betragen. Ein zu langes Verweilen der Prüfspitze an einer Stelle muss vermieden werden.

### D.15 Zeitstand-Kriechverhalten bei Biegebeanspruchung

#### D.15.1 Allgemeines

Die Prüfung dient der Bewertung des Kriechverhaltens durch Belastung eines frei aufliegenden Stabes in der Mitte der Stützweite über einen Zeitraum von mindestens 1 000 h und beruht auf Verfahren A des

Biegeversuchs bei Dreipunkt-Belastung nach EN ISO 14125. Diese Bewertung ist repräsentativ für das Zeitstandverhalten von Laminaten unter zulässiger statischer Belastung bei Raumtemperatur.

### D.15.2 Definitionen

**Durchbiegung:** Die Strecke  $d$ , um die sich die Ober- oder Unterseite des Probekörpers in der Mitte der Stützweite während der Biegung unter statischer Belastung aus ihrer ursprünglichen Lage verschoben hat.

**Kriechfaktor:** Der Kriechfaktor  $f_{c,2 \times 10^5}$  ist definiert durch die Kriechkurve im Bereich von  $10^{-1}$  h und  $10^3$  h in einem  $\log \varepsilon / \log t$ -Diagramm, die auf  $2 \times 10^5$  h linear extrapoliert wird. Der Kriechfaktor  $f_{c,2 \times 10^5}$  ist mit der Gleichung in D.15.6 zu berechnen.

### D.15.3 Prüfgerät

Das in Bild D.6 graphisch dargestellte Prüfgerät kann für das Aufbringen einer konstanten Last verwendet werden. Auflager und Druckfinne müssen mindestens so breit wie der Probekörper und parallel zueinander sein. Der Radius  $r_1$  der Druckfinne und der Radius  $r_2$  der Auflager müssen Folgendem entsprechen:

- $r_1 = (5 \pm 0,1)$  mm;
- $r_2 = (2 \pm 0,2)$  mm.

Der Abstand  $L$  zwischen den Auflagern sollte einstellbar sein.

### D.15.4 Probekörper

Die Probekörper sind aus Prüfstücken von Ausschnitten des fertigen Laminats oder aus vorbereiteten Probekörpern (siehe 17.6.3) herzustellen. Die Probekörper dürfen mit oder ohne Chemieschutzschicht sein.

Die Dicke  $t$  des Probekörpers muss der Dicke des Traglaminats entsprechen, wobei eine gegebenenfalls vorhandene Chemieschutzschicht unberücksichtigt bleibt.

Die Breite des Probekörpers muss  $(2,5 \pm 0,5) \cdot t$  sein.

Die Länge  $l$  des Probekörpers muss  $L + 4 \cdot t$  sein.

Der Abstand  $L$  zwischen den Auflagern muss  $(18 \pm 2) \cdot t$  sein.

Für die Typprüfung des Laminats oder für die weiterentwickelte Auslegung sind mindestens fünf Probekörper herzustellen.

Weist das Laminat signifikante Abweichungen im Biegeverhalten in zwei Hauptrichtungen auf, sind Probekörper für die Prüfung in beiden Richtungen herzustellen.

Alle Prüfstücke müssen denselben Härtezustand wie der fertiggestellte Tank oder Behälter aufweisen und nach EN ISO 291 konditioniert werden.

### D.15.5 Durchführung

Der Probekörper ist symmetrisch auf die parallel angeordneten Auflager zu legen (siehe Bild D.6), wobei sicherzustellen ist, dass seine Längsachse im rechten Winkel zu den Auflagern verläuft. Der Abstand  $L$  zwischen den Auflagern muss D.15.4 entsprechen.

Die aufgebrachte Last muss  $(20 \pm 2)$  % der in Prüfung D.20 oder aus vorliegenden Daten früherer Prüfungen ermittelten Biegefestigkeit des Laminats betragen und für mindestens 24 h einwirken.

Die Messung der Durchbiegung des Probekörpers muss zuerst 0,1 h (6 min) nach Aufbringen der Last, dann nach 1 h, 24 h (1 Tag), 96 h (4 Tage), 168 h (1 Woche), 336 h (2 Wochen), 672 h (4 Wochen) sowie 1 000 h (6 Wochen) erfolgen und ist auf drei Dezimalstellen aufzuzeichnen.

Die Prüf-Umgebungstemperatur ist während der Dauer der Prüfung zu regeln und aufzuzeichnen.

### D.15.6 Berechnung

Der Kriechfaktor ist wie folgt zu berechnen.

Wie in Bild D.8 dargestellt, ist ein log-log-Diagramm der Durchbiegung  $\delta$  (mm) im Verhältnis zur Zeit  $t$  (Stunden) aufzutragen.

Dabei ist eine Gerade der kleinsten Abweichungsquadrate zu zeichnen, um Daten einzutragen.

Die log-Durchbiegungen sind bei  $10^{-1}$  h und  $10^3$  h abzulesen und in mm umzurechnen.

Die Durchbiegung bei  $10^{-1}$  h =  $a$  (mm).

Die Durchbiegung bei  $10^3$  h =  $b$  (mm).

Mit Gleichung (D.9) ist ein Auslegungswert für die Langzeit-Durchbiegung  $c$  (mm) zu berechnen:

$$\log c = \log a + 1,575(\log b - \log a) \quad (\text{D.9})$$

Dabei ist

$$1,575 = 6,301/4 \text{ und } \log 2 \times 10^6 \text{ dividiert durch } \log 10^4.$$

Der Wert für  $A_5$  ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$A_5 = \frac{c}{a} \quad (\text{D.10})$$

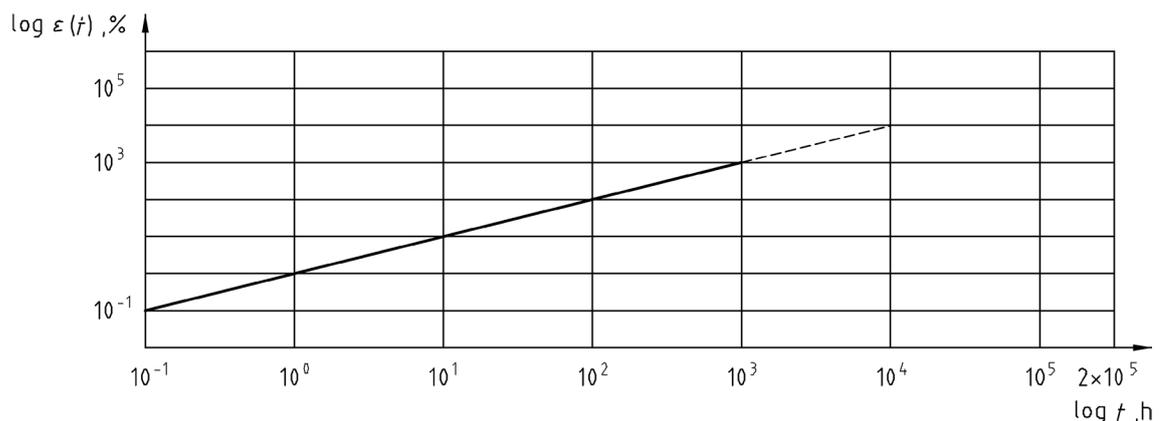


Bild D.8 — Ergebnisse des Zeitstand-Kriechversuchs (schematisch)

### D.16 Gummihärte

Die Härte von Gummidichtungen ist nach ISO 48 zu messen.

### D.17 Prüfung des Flammpunkts

Der Flammpunkt ist nach EN ISO 2592 zu ermitteln.

### D.18 Prüfung der Wärmeformbeständigkeit

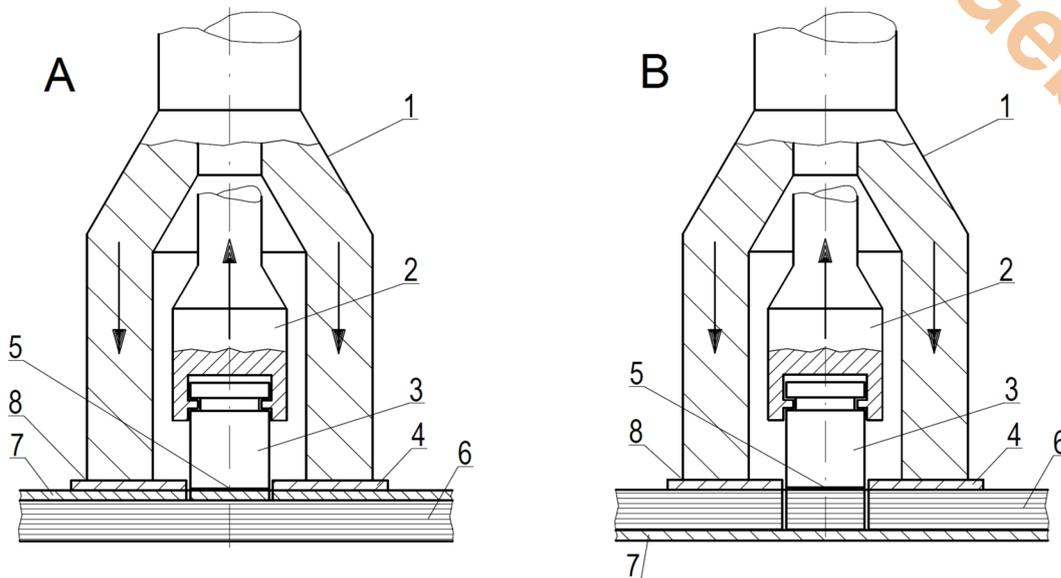
Form und Anzahl der Probekörper sowie das Prüfverfahren müssen EN ISO 75-2 entsprechen.

### D.19 Biegefestigkeit von Laminaten

Die Biegefestigkeit von Laminaten ist nach EN ISO 14125 zu ermitteln.

### D.20 Prüfung der Abreißfestigkeit von Laminaten

Das Verfahren zur Bewertung der Abreißfestigkeit von Laminaten ist nach ASTM D 4541-09 zu bestimmen.



#### Legende

- |   |                                    |   |   |
|---|------------------------------------|---|---|
| 1 | Abreißvorrichtung                  | 5 | Klebstoff   |
| 2 | mittige Einspannklemme             | 6 | Traglaminat   |
| 3 | feststehende Belastungsvorrichtung | 7 | zu prüfendes Laminate (A) oder thermoplastische Auskleidung (B) |
| 4 | Ring                               | 8 | Grundplatte   |

Bild D.9 — Prüfeinrichtung

## **Anhang E** (normativ)

### **Zulassungsprüfung für Laminierer**

#### **E.1 Allgemeines**

Die Qualität der Laminierarbeiten hängt von den Fähigkeiten und Kenntnissen des Laminierers ab.

Eine Prüfung der Fähigkeiten des Laminierers ist entscheidend für die Qualitätssicherung der Laminierarbeiten.

Dieser Anhang legt das Verfahren für die Prüfung der Fähigkeiten und Kenntnisse von Laminierern fest, die Arbeiten an nach dieser Norm gefertigten GFK-Tanks und -Behältern mit oder ohne thermoplastische(r) Auskleidung ausführen müssen. Die Anforderung gilt sowohl für Reparaturarbeiten als auch für die Fertigung.

Dieser Anhang beschreibt das Prüfverfahren, anhand dessen ein Laminierer bewertet wird.

Zu der Prüfung sind nur Personen zuzulassen, die über Erfahrungen als Laminierer oder eine abgeschlossene Ausbildung verfügen.

#### **E.2 Bewertung des Laminierers**

Die Bewertung des Laminierers muss die folgenden Prüfungen umfassen:

- a) Handlaminatplatte;
- b) Nahtverbindung;
- c) Abzweigverbindung;
- d) harzreiche Schicht;
- e) Theorieprüfung.

#### **E.3 Durchführung**

Während der Bewertung muss der Laminierer seine praktischen Fähigkeiten nachweisen und nach den maßgebenden Laminierverfahren Probekörper für die Laminatformen und Chemieschutzschichten, die bei der Produktion verwendet werden, fertigen.

Der Laminierer muss Kenntnisse der Verfahren zur Herstellung von Verbindungen zwischen Laminaten und thermoplastischen Auskleidungen nachweisen.

Die Probekörper sind in Anwesenheit eines Prüfers anzufertigen. Der Prüfer darf eine interne/externe zuständige Prüfstelle oder eine benannte Stelle entsprechend DGR sein. Vor Beginn der Prüfung muss der Prüfer die Personalien des Laminierers feststellen sowie die zu verwendenden Werkstoffe, Arbeitsgeräte und Verfahren überprüfen.

Die Probekörper sind nach dem Laminierverfahren des Herstellers anzufertigen.

Einzelheiten zum Laminierer sowie zu dem Laminierverfahren und der Prüfung sind aufzuzeichnen. Der Prüfer muss die Prüfung abbrechen, wenn die Laminierbedingungen nicht dem jeweiligen Verfahren entsprechen.

Die Probekörper sind unter den normalen Produktionsbedingungen anzufertigen. Die Zulassungsprüfung im Werk ist für Laminierer zugelassen, die Arbeiten am Aufstellungsort ausführen.

Für die Herstellung der Probekörper sind ähnliche Werkzeuge und Geräte zu verwenden wie in der Fertigung.

#### **E.4 Theorieprüfung**

Die Theorieprüfung sollte in schriftlicher Form in Anwesenheit eines Prüfers erfolgen. Die Prüfung sollte mindestens 30 Fragen aus den folgenden Themengebieten umfassen:

- a) Grundlagenkenntnisse der Werkstoffe;
- b) Lagerung und Verarbeitung von Werkstoffen;
- c) Vorbereitung des Laminierprozesses;
- d) Bedingungen während des Laminierprozesses und Ausbesserung von Laminaten;
- e) Umgebungseinflüsse während des Laminierprozesses (Luftfeuchte, Taupunkt usw.);
- f) Standard-Sicherheitsvorschriften und Umweltschutz.

Die Bewertungsprüfung ist bestanden, wenn mindestens 60 % der Fragen richtig beantwortet wurden. Eine zusätzliche mündliche Prüfung ist zulässig.

#### **E.5 Probekörper**

Die Probekörper müssen eine Handlaminatplatte, eine Nahtverbindung zwischen zwei Handlaminatplatten und eine Abzweigverbindung umfassen.

Alle Probekörper sind mit ungefärbtem Harz herzustellen.

Die Probekörper sind auf einer trennfähigen Oberfläche, z. B. Glas oder Thermoplasten, aufzubauen.

Für die Abmessungen der Probekörper und den Laminataufbau gilt:

- a) Handlaminatplatten, 500 mm × 500 mm, aus vier Lagen Wirrfasermatte (CSM) im Wechsel mit drei Lagen Rovinggewebe (WR);
- b) Nahtverbindung zwischen zwei Handlaminatplatten, Größe jeder Platte: 500 mm × 250 mm; die Nahtverbindung muss entsprechend dem Standardverfahren des Herstellers ausgeführt werden;
- c) eine Abzweigverbindung aus einem Rohr mit einem Durchmesser von 100 mm bis 150 mm und einer Laminatplatte mit einseitiger Chemieschutzschicht. Der Laminataufbau muss dem Standardverfahren des Herstellers entsprechen.

Die Probekörper sind vom Prüfer zu kennzeichnen und mit Datum zu versehen.

Die Probekörper sind vor der Prüfung 7 Tage bei  $(21 \pm 2)$  °C auszuhärten.

## **E.6 Prüfung der Probekörper**

### **E.6.1 Allgemeines**

Die Probekörper müssen den folgenden Prüfungen unterzogen werden:

- a) Handlaminatplatte – Prüfverfahren 1;
- b) Nahtverbindung – Prüfverfahren 2;
- c) Abzweigverbindung – Prüfverfahren 3.

### **E.6.2 Prüfverfahren 1**

Prüfverfahren 1 muss Folgendes umfassen:

- a) Sichtprüfung;
- b) Barcol-Härteprüfung nach D.11;
- c) Zugversuch nach EN ISO 527-4;
- d) Prüfung des Glasgehalts nach EN ISO 1172;
- e) Prüfung der Anordnung der Glasfaserverstärkung.

### **E.6.3 Prüfverfahren 2**

Prüfverfahren 2 muss Folgendes umfassen:

- a) Sichtprüfung;
- b) Barcol-Härteprüfung nach D.11;
- c) Prüfung des Glasgehalts nach EN ISO 1172;
- d) Prüfung der Anordnung der Glasfaserverstärkung;
- e) Prüfung der Schubfestigkeit entsprechend Prüfverfahren D.7.

### **E.6.4 Prüfverfahren 3**

Prüfverfahren 3 muss Folgendes umfassen:

- a) Sichtprüfung;
- b) Barcol-Härteprüfung nach D.11;
- c) Prüfung der Anordnung der Glasfaserverstärkung.

## E.7 Mindestanforderungen für die Zulassung

Die folgenden Mindestanforderungen müssen für das Bestehen der Prüfung erfüllt sein:

- a) Bei der Sichtprüfung festgestellte Fehler dürfen die in Tabelle 32 (Zulässige Fehler bei Laminaten) angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten.
- b) Die Zugfestigkeit muss mindestens den in Tabelle 3 angegebenen Werten entsprechen.
- c) Die Schubfestigkeit der Verbindung muss mindestens den in Tabelle 4 angegebenen Werten entsprechen.
- d) Die Barcol-Härte des Harzes muss mindestens dem vom Harzhersteller für die Laminatherstellung festgelegten Härtewert entsprechen.
- e) Der Glasgehalt muss innerhalb der für das Laminierverfahren festgelegten Grenzwerte liegen.
- f) Der Laminataufbau muss hinsichtlich des Glasrestgehalts nach dem Glühverlust den für das Laminierverfahren festgelegten Anforderungen entsprechen.

## E.8 Prüfbescheinigung

Nach bestandener Prüfung ist dem Laminierer eine Prüfbescheinigung auszustellen. In dieser Prüfbescheinigung sind die Ergebnisse der Prüfung anzugeben, wie z. B. in Bild E.1 dargestellt.

Sämtliche Einschränkungen und zusätzlichen Angaben sind auf der Bescheinigung aufzuzeichnen.

Bei Nichtbestehen der Prüfung besteht nach einer angemessenen Ausbildungszeit die Möglichkeit zur Wiederholung.

## E.9 Geltungsdauer und Erneuerung von Bescheinigungen

Die Zulassungsprüfbescheinigung für Laminierer gilt für eine Dauer von fünf Jahren, sofern nachgewiesen werden kann, dass der Laminierer weitestgehend kontinuierlich Arbeiten auf diesem Gebiet ausgeführt hat.

Bei einer Unterbrechung von mindestens zwölf Monaten ist eine erneute Zulassungsprüfung abzulegen.

## E.10 Geltungsbereich

Der Geltungsbereich und ggf. bestehende Einschränkungen sind auf der Prüfbescheinigung anzugeben.

Hat ein Laminierer die Zulassungsprüfung erfolgreich abgelegt, ist er auch für Arbeiten mit anderen Laminatformen, Laminatspezifikationen und Chemieschutzschichten berechtigt.

Zulassungsprüfbescheinigung für Laminierer EN xyz, Anhang E		Prüfbericht Nr
Name des Herstellers	Name und Personenkennummer des Laminierers	Ausgabe Nr
Angaben zum Laminierverfahren		Datum der Prüfung
Angaben zu den Probekörpern		Prüfergebnisse
Handlaminatplatte		Prüfverfahren 1
Nahtverbindung		Prüfverfahren 2
Abzweigverbindung		Prüfverfahren 3
Theoretische Prüfung		
Verwendetes Harz		
Prüfergebnisse Bestanden/nicht bestanden (mit Begründung).		
Bemerkungen		
Die Angaben in dieser Bescheinigung sind korrekt. Die Prüflamine wurden nach EN xyz, Anhang E angefertigt, ausgehärtet und geprüft.		
Prüfbehörde		
Datum		

Bild E.1 — Zulassungsprüfbescheinigung für Laminierer

## Anhang F (informativ)

### Auslegung durch Spannungsanalyse

#### F.1 Allgemeines

Behälter oder Behälterkonstruktionen enthalten möglicherweise Konstruktionen oder Konstruktionslösungen für die Auslegung, die in dieser Norm nicht ausreichend behandelt werden. In diesem Fall sind andere Verfahren für das Erreichen einer sicheren Konstruktion anzuwenden. Dieser Anhang enthält diese Verfahren, die für die sichere Auslegung von Behältern oder Behälterteilen anwendbar sind.

#### F.2 Typische Verfahren

Typische Verfahren sind die Folgenden:

- a) Finite-Elemente-Analyse;
- b) Nachkonstruktion des biaxialen Spannungszustands unter Verwendung von Dehnungsmessdaten;
- c) andere mathematische und/oder experimentelle Verfahren, welche die für Auslegung und Sicherheit verantwortlichen Personen als genau oder konservativ erachten.

#### F.3 Allgemeine Anforderungen

Bei der Analyse muss die orthotrope Eigenschaft von Laminaten berücksichtigt werden.

Bei der Analyse müssen die Höchstwerte der Dehnung und Spannung sowie die Instabilität der Konstruktion bestimmt werden.

#### F.4 Wichtige Ergebnisse der Bestimmung

Die wichtigen Ergebnisse der Bestimmung sind:

- a) biaxialer Spannungszustand im Laminat;
- b) Schubspannung;
- c) Dehnungswerte.

#### F.5 Auslegungsfaktoren

Sofern zwischen Käufer und Hersteller nicht anders vereinbart, muss:

- a) die Auslegung unter Bestimmung der Auslegungsfaktoren nach 7.9.4 erfolgen;
- b) das Festigkeitsverhalten eines Laminats im Dauerbetriebszustand entspricht mindestens dem bestimmten Kurzzeit-Auslegungsfaktor;
- c) das Festigkeitsverhalten eines Laminats unter kurzzeitig kombinierten Lastbedingungen entspricht mindestens dem bestimmten Kurzzeit-Auslegungsfaktor;
- d) die örtliche Dehnung in beliebigem Zustand überschreitet nicht die zulässige Auslegungsdehnung nach 8.2.

## Anhang G (normativ)

### Umweltaspekte

#### G.1 Kurzbeschreibung

Die Umweltaspekte bei allen Phasen der Lebensdauer des Tanks oder Behälters sind zu berücksichtigen.

#### G.2 Auslegung und Herstellung

##### a) Auslegung

Die zu berücksichtigenden Umweltaspekte sollten eindeutig im Auslegungs- und Herstellungsplan oder in den Herstellungsunterlagen dokumentiert sein. Angaben zur Entsorgung des Tanks oder Behälters am Ende der Lebensdauer sollten enthalten sein.

##### b) Werkstoff und Herstellungsverfahren

Der Werkstoff/das Verfahren mit den geringsten Auswirkungen auf die Umwelt ist zu wählen. Werkstoffe sind entsprechend den Anweisungen des Lieferanten sowie unter Einhaltung von Gesetzen und Vorschriften zu verwenden.

##### c) Lagerung von Werkstoffen

Werkstoffe sind entsprechend den Anweisungen des Lieferanten sowie unter Einhaltung von Gesetzen und Vorschriften zu lagern.

##### d) Handhabung von Abfall

Begrenzung auf ein Mindestmaß, Handhabung unter Einhaltung von Gesetzen und Vorschriften.

##### e) Handhabung und Transport

Wiederverwertbares Verpackungsmaterial ist zu verwenden. Das Transportmittel mit den geringsten Auswirkungen auf die Umwelt ist zu wählen.

#### G.3 Auswirkungen von Werkstoffen auf Wasser

Nichtmetallische Werkstoffe, die für den Kontakt mit Trinkwasser vorgesehen sind oder wahrscheinlich mit Trinkwasser in Kontakt kommen, dürfen unter den Bedingungen, für die sie ausgelegt sind, keine Gefährdung durch Toxizität darstellen, kein Bakterienwachstum unterstützen und keinerlei unangenehmen Geschmack oder Geruch, Trübung oder Verfärbung des Wassers verursachen.

Weder die Konzentration von Stoffen, Chemikalien und biologischen Mitteln, die von Werkstoffen in Kontakt mit Trinkwasser freigesetzt werden, noch die Messwerte organoleptischer/physikalischer Parameter dürfen die Höchstwerte überschreiten, die in der EWG-Richtlinie des Rates vom Juli 1980 für die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch festgelegt wurden (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L299 S. 11-29), oder die von der Weltgesundheitsorganisation in ihrer Publikation „Guidelines for drinking water quality“ Vol. 1 „Recommendations“ (WHO, Genf 1984) empfohlen wurden, wobei die jeweils strengeren Festlegungen gelten.

## G.4 Auswirkungen von Werkstoffen auf Nahrungsmittel

Werkstoffe und Gegenstände aus Kunststoff, die in Kontakt mit Nahrungsmitteln kommen, übertragen darauf möglicherweise giftige Stoffe. Zur Verhinderung jeglicher Gesundheitsgefährdung für den Menschen sind in der Verordnung der Kommission (EU) Nr. 10/2011 vom 14. Januar 2011 spezifische Anforderungen für die Herstellung und Vermarktung von Werkstoffen und Gegenständen aus Kunststoff, die für den Kontakt mit Nahrungsmitteln vorgesehen sind, und Migrationsgrenzen für die in den betreffenden Werkstoffen und Gegenständen enthaltenen Stoffe sowie spezielle Anwendungsbedingungen zur Sicherstellung der Nahrungsmittelsicherheit festgelegt.

Diese Werkstoffe und Gegenstände sowie deren Teile dürfen bestehen aus:

- a) ausschließlich aus Kunststoffen;
- b) aus mehreren Kunststoffschichten; oder
- c) aus Kunststoffen in Kombination mit anderen Werkstoffen.

Werkstoffe und Gegenstände aus Kunststoff, die für den Kontakt mit Nahrungsmitteln vorgesehen sind, müssen Folgendem entsprechen:

- d) den Anforderungen für die Verwendung, Etikettierung und Rückverfolgbarkeit gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1935/2004;
- e) den guten Herstellungsverfahren gemäß der Verordnung (EG) Nr. 2023/2006;
- f) den Anforderungen an die Zusammensetzung und Deklaration gemäß dieser Verordnung.

Ausschließlich die in Anhang I dieser Vorschrift aufgeführten Stoffe dürfen absichtlich für die Herstellung von Werkstoffen und Gegenständen aus Kunststoff verwendet werden. Diese Liste enthält:

- g) Monomer;
- h) Zusatzstoffe (ausgenommen Farbstoffe);
- i) Polymerhilfsstoffe für die Fertigung (ausgenommen Lösemittel).

Aufgrund von Ausnahmeregelungen können unter bestimmten Bedingungen Stoffe genehmigt werden, die in dieser Liste nicht enthalten sind.

## G.5 Wiederverwertung

Für die Durchführbarkeit und Wirksamkeit der Wiederverwertung sind sowohl die für die Konstruktion verwendeten Werkstoffe als auch der Inhalt nach Abschnitt 18 zu kennzeichnen.

Wiederverwertbares Verpackungsmaterial ist zu verwenden.

## G.6 Lagerung von wassergefährdenden Stoffen

Bei der Lagerung wassergefährdender Stoffe sind bei Tanks mit einem Betriebsdruck  $\leq 0,5$  bar die nationalen Vorschriften bzw. Anforderungen zu beachten.

## Anhang ZA (informativ)

### Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2014/68/EU

Diese Europäische Norm wurde im Rahmen eines von der Europäischen Kommission erteilten Normungsauftrages M/071, erarbeitet, um ein freiwilliges Mittel zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte bereitzustellen.

Sobald diese Norm im Amtsblatt der Europäischen Union im Sinne dieser Richtlinie in Bezug genommen worden ist, berechtigt die Übereinstimmung mit den in Tabelle ZA.1 aufgeführten normativen Abschnitten dieser Norm innerhalb der Grenzen des Anwendungsbereiches dieser Norm zur Vermutung der Konformität mit den entsprechenden grundlegenden Anforderungen der Richtlinie und der zugehörigen EFTA Vorschriften.

**Tabelle ZA.1 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und der Richtlinie 2014/68/EU**

Grundlegende Anforderungen der Richtlinie 2014/68/EU, Anhang I	Abschnitt(e) / Unterabschnitt(e) dieser Europäischen Norm	Erläuterungen/Anmerkungen
2.1	7.9.4, 7.9.5, 8.2	geeignete Sicherheitsfaktoren
2.2.1	9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5	angemessene Auslegung für Belastungen entsprechend dem vorgesehenen Verwendungszweck und den vorhersehbaren Betriebsbedingungen
2.2.3 (a)	Abschnitt 9, Abschnitt 10, Abschnitt 11, Abschnitt 12, Abschnitt 14, Abschnitt 15	Berechnungsmethode Berechnungen mit Hilfe von Formeln a) Druckfestigkeit und andere Belastungsaspekte Auslegung nach Formeln
2.2.3 (b)	7.2; 7.9.5.2 bis 7.9.5.7, Abschnitt 8, 9.5.2	Berechnungsmethode b) Belastbarkeit
2.2.4	17.6	Experimentelles Auslegungsverfahren
2.6	6.2	Korrosion oder und andere chemische Einflüsse
2.9	9.2.7, 9.5.2	Füllen und Entleeren
3.1.2	10.7, 10.8, 17.4.3 Anhang E	Dauerhafte Verbindungen auszuführen von von sachkundigem Personal (Laminierer) geeigneten Verarbeitungsverfahren Die Arbeitsverfahren und das Personal sind für Druckgeräte der Kategorien II, III und IV von einer zuständigen unabhängigen Stelle oder benannten Stelle zuzulassen, oder wenn der Herstellbetrieb nach Modul D zertifiziert ist durch eine interne Prüfstelle des Herstellers.

Grundlegende Anforderungen der Richtlinie 2014/68/EU, Anhang I	Abschnitt(e) / Unterabschnitt(e) dieser Europäischen Norm	Erläuterungen/Anmerkungen
3.1.3	17.5	Zerstörungsfreie Prüfungen auszuführen von - von sachkundigem Personal - bei Kategorie III und IV zu überprüfen von unabhängigen Stelle (nach Artikel 13), oder wenn der Herstellbetrieb nach Modul D zertifiziert ist durch eine interne Prüfstelle des Herstellers.
3.1.4	17.4.5	Wärmebehandlung (tempern)
3.1.5	17.3	Rückverfolgbarkeit
3.2.1	17.5	Abnahme/Schlussprüfung
3.2.2	17.5.2, Anhang C	Druckprüfung (bei Modul G durch benannte Stelle)
3.3	Abschnitt 18	Kennzeichnung
3.4	17.3.1	Betriebsanleitung
4.1(b)	6.2, 7.9.5.3	Werkstoffe drucktragender Teile chemische Beständigkeit
4.1(c)	7.9.5.6	Werkstoffe drucktragender Teile Alterung
4.1(d)	17.2, 17.4	Werkstoffe drucktragender Teile geeignet für die vorgesehenen Verarbeitungsverfahren
4.2(b)	7.9.2 oder 7.9.3, 8.4	Werkstoffe drucktragender Teile mechanische Kennwerte: - Werkstoffe entsprechend harmonisierter Normen - oder Werkstoffe mit europäischer Werkstoffzulassung gemäß Artikel 15 - oder Einzelgutachten zu den Werkstoffen
4.2 (c)	7.9.3, 8.4	Werkstoffe drucktragender Teile mechanische Kennwerte: Bei Druckgeräten der Kategorien III und IV ist eine besondere Bewertung des Einzelgutachtens zu den Werkstoffen von der für die Konformitätsbewertung des Druckgerätes zuständigen notifizierten Stelle durchführen zu lassen.
4.3	17.3.4	Werkstoffkennwerte Prüfbescheinigungen
7.4	8.2.3 Anhang C (normativ)	Hydrostatischer Prüfdruck

**WARNHINWEIS 1**— Die Konformitätsvermutung bleibt nur bestehen, so lange die Fundstelle dieser Europäischen Norm in der im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlichten Liste erhalten bleibt. Anwender dieser Norm sollten regelmäßig die im Amtsblatt der Europäischen Union zuletzt veröffentlichte Liste einsehen.

**WARNHINWEIS 2**— Für Produkte, die in den Anwendungsbereich dieser Norm fallen, können weitere Rechtsvorschriften der EU anwendbar sein.

## Literaturhinweise

Bei der Erarbeitung dieser Europäischen Norm wurden bestimmte technische Angaben aus veröffentlichten technischen Arbeiten und internationalen Dokumenten entnommen, die unten für die weitere Bezugnahme aufgeführt sind.

- [1] Section 13.2.3 Seismic loading: ISO 3010, CEN Eurocode 8 and IEC 721-2-6
- [2] Section 14.12.2 Horizontal vessels: The twin-saddle support of horizontal multi-layered GRP vessels — theoretical analysis, experimental work and a design approach, Authors: A.S. Tooth, W.M. Banks, C.P. Seah, B.A. Tolson, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, Proceedings Institution of Mechanical Engineers London Vol. 208
- [3] Section 10.11.2 Horizontal vessels on flexible supports: DIBt Seminar Lagerung wassergefährdender Flüssigkeiten, March 1986
- [4] Section 10.11.2 Horizontal vessels on continuous supports: An analysis of a cylindrical shell supported by two longitudinal beams, Authors: L.S. Ong, A.S. Tooth, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, Proceedings Institution of Mechanical Engineers London Vol. 210
- [5] Section 13.5 and Annex H Filament winding: A design method for filament wound GRP vessels and pipework, Author: Dr. G.C. Eckold. AEA Technology Plc. Harwell, UK. Composites, Vol. 16, No. 1, January 1985
- [6] Stresses in large horizontal cylindrical pressure vessels on two saddles, Author: L.P Zick, Welding Journal research supplement. 1971
- [7] Bijlaard: Welding Journal July 1960, May 1957
- [8] Bijlaard: Welding Research council bulletin No. 49-1959; No. 34-1957
- [9] EN 1993-1-3:2006, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Regeln — Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche*
- [10] EN 1991-1-6, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-6: Allgemeine Einwirkungen — Einwirkungen während der Bauausführung*
- [11] CEN/TR 13121-5<sup>1)</sup>, *GRP tanks and vessels for use above ground; Part 5: Example calculation of a GRP-tank*
- [12] EN 13280, *Spezifikation für textilglasverstärkte Einkammer- oder Mehrkammertanks für die oberirdische Lagerung von Kaltwasser*
- [13] IEC 60721-2-6, *Classification of environmental conditions — Part 2: Environmental conditions appearing in nature; Earthquake vibration and shock*
- [14] Richtlinie 97/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte (DGRL)

---

1) In Vorbereitung.

- [15] Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt
- [16] EN 1591 (alle Teile), *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flansche und Dichtung*
- [17] Berechnungsempfehlungen für auf Sattelschalen gelagerte Behälter aus glasfaserverstärkten Kunststoffen 40-B2, Deutsches Institut für Bautechnik Berlin, Dezember 2012

Nur zum internen Gebrauch