

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	8
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich.....	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	12
4 Symbole und Abkürzungen	14
5 Bereitzustellende und zu dokumentierende Angaben und Anforderungen.....	16
5.1 Allgemeines.....	16
5.2 Dem Hersteller bereitzustellende Unterlagen.....	16
5.3 Vom Hersteller zu erstellende Unterlagen	17
5.4 Abschließende Dokumentation.....	18
6 Werkstoffe	18
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
7 Mechanische Eigenschaften	19
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
8 Bestimmung von Auslegungsdehnung und -belastungen	28
8.1 Allgemeines.....	28
8.2 Auslegungsdehngrenzen.....	28
8.2.1 Allgemeines.....	28
8.2.2 Grenzdehnung des Harzes ϵ_{ar}	28
8.2.3 Grenzdehnung des Laminats oder der Laminatschicht ϵ_{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 T_S	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 Lamine 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	Ausziehlaster 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
Anhang A (informativ) Produktprüfung für die Serien- oder Chargenproduktion		172
A.1	Erst-Typprüfung (ITT)	172
A.2	Stichprobenprüfung	172
A.2.1	Allgemeines	172
A.2.2	Freigabeprüfungen 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
Anhang B (informativ) Ableitung der Laminatkennwerte von den Kennwerten der Laminatschichten		175
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

Anhang C (normativ) Druck- und Dichtheitsprüfung.....	179
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
Anhang D (normativ) Prüfverfahren	182
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
Anhang E (normativ) Zulassungsprüfung für Laminierer		201
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
Anhang F (informativ) Auslegung durch Spannungsanalyse		206
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
Anhang G (normativ) Umweltaspekte		207
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
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2014/68/EU		209
Literaturhinweise		211

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, Erdbeebeeinwirkungen 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
Δ	–	Differenz oder Zuschlag
E	N/mm ²	Elastizitätsmodul = $\frac{x}{t}$
ε	%	Dehnung
F	–	Globalsicherheitsfaktor gegen Beulversagen
ϕ	°	halber Kegelwinkel
θ	°	Umschlingungswinkel des Auflagersattels bei liegenden Behältern
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
γ_m	–	Materialteilkfaktor
$\gamma_{F,i}$	–	Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung
h_i	mm	Innenhöhe des gewölbten Bodens
H	mm	Höhe des Kegels
I	mm ⁴	Trägheitsmoment
k	–	Korrekturfaktor
K	–	Gesamtauslegungsfaktor
l	mm	Länge
L	mm	Gesamtlänge
m	kg/m ²	Masse je Flächeneinheit
M	Nmm	Biegemoment
u	N/mm	Schnittlast = Last/Breite
ν	–	Poissonzahl
P	N	direkt einwirkende Last
p	N/mm ²	Druck
Q	N	Schubkraft
r	mm	Krempenradius
R	mm	Radius
ρ	kg/m ³	Dichte der Flüssigkeit
σ	N/mm ²	Last = $\frac{U}{t}$ und $\frac{n}{t}$
t	mm	Dicke

Symbol	Einheit	Definition
τ	N/mm ²	Schubspannung
T	°C	Temperatur
TS	°C	Auslegungstemperatur
U_{lam}	N/mm	Schnittlast des Laminats
U	N/mm je kg/m ² Glas	massenbezogene Einheitszugfestigkeit des Laminats (UTUS)
V	m ³	Volumen
x	–	Koordinate in Längsrichtung
X	N/mm	Einheitsmodul = Last/Breite × Dehnung
X_i	N/mm je kg/m ² Glas	Einheitsmodul der Schicht je kg/m ² Glas bei Zugbeanspruchung
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	–	Vliessschicht, 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 aufgebrachte 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 Kegelabschnitte.

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

Auflager (stehender Behälter): Abmessungen der Standzarge, einschließlich Durchmesser, Höhe, Wanddicke, Lagenaufbau sowie Art der Verbindung mit Schale oder Boden; bei Verwendung der Standfüße: Anzahl, Dicke der Verstärkungsrippen, Höhe usw., Innen- und Außendurchmesser des Tragrings, 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, Synthetikvlies, 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/m² oder eine Wickelkonstruktion aus Endlosfaser enthalten und ist mit einer Oberflächenvlieschicht zu versehen.

Tabelle 3 — Mindestkennwerte für Laminatschichten

Verstärkungsart	Verstärkungsrichtung	Geltende Kriterien	UTUS U_i N/mm je kg/m ² Glas	Einheitszugmodul X_i N/mm je kg/m ² 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 (τ_{xy}) - und Querebene (τ_{xz}, τ_{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-Lamine und FW-Wickellamine in axialer Richtung mit 90° undirektionalen Lagen und Wirrfaserlagen CSM $\alpha_2 = 25 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ Mischlamine und FW-Wickellamine (0°/90°) verstärkt in axialer Richtung mit unidirektionalen Lagen $\alpha_3 = 15 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ FW-Wickellamine in Umfangsrichtung				

Dabei ist

- ξ das Verhältnis zwischen den Textilglasmassen entweder in Kett- oder Schuss-Richtung und der Gesamtglasmasse der Laminatschicht;
- θ der Winkel zwischen Wickelrichtung und Zylinderachse;
- U_i die Einheitszugfestigkeit (UTUS), d. h. die Festigkeit eines Verstärkungslaminats i , ausgedrückt als Kraft je Breiteneinheit und Masseneinheit;
- X_i der Einheitszugmodul, d. h. das Verhältnis der Last je Breiteneinheit 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 kg/m²;

m_g der prozentuale Massenanteil des Glases an der Masse der Schicht, i kg/m²;

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

ρ_g die Dichte des Glases (kg/m³).

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 ²
CSM	7,0
CSM (Furan/Phenol)	5,0
WR	6,0
WR (Furan/Phenol)	4,0
FW (Faserrichtung)	6,0
FW (Furan/Phenol)	4,0

7.6.2 Thermoplastische Auskleidungen

Bei 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 ²
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 ²
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 3×10

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 γ_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 Lamine $\gamma_M = 1,40$.

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 Lamine hergestellt wurden.	Vorliegende Ergebnisse zulässig, falls in den 18 Monaten nach der letzten Prüfung ähnlich ausgelegte Lamine 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 ε_{ar}

Die Grenzdehnung ε_{ar} für jeden verwendeten Harztyp ist zu bestimmen mit:

$$\varepsilon_{ar} \leq 0,1 \cdot \varepsilon_R \quad (7)$$

Dabei ist

ε_R die Bruchdehnung des unverstärkten Harzformstoffs.

8.2.3 Grenzdehnung des Laminats oder der Laminatschicht ε_{lim}

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

- a) Grenzdehnungen für eine Anzahl von Laminaten.

Tabelle 9 — Grenzdehnung $\varepsilon_d = \varepsilon_{lim}$ 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 $0,1 \cdot \varepsilon_R$ bei Harzen höher ist als die Werte in der Tabelle, andernfalls ist $0,1 \cdot \varepsilon_R$ 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_{min} und F_{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_{lam} und X_{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.

Lamine 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_{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 kg/m² Glas, nach 8.3;
- m_i die Masse je Flächeneinheit der Verstärkung in einer Schicht vom Typ i , in kg/m² 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 kg/m² 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 $\leq U_{i,\varepsilon} = U_{i,k,\varepsilon}$ 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_{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 $a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$ 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 ($a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$);
- 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;
- γ_I der Bedeutungsbeiwert, $1,2 \leq \gamma_I \leq 2,0$ (siehe EN 1998-1 und EN 1998-4);
- S der Bodenparameter (siehe EN 1998 (alle Teile));
- $S_d(T)$ das Bemessungsspektrum;
- β der Beiwert für den unteren Grenzwert für das horizontale Bemessungsspektrum (siehe EN 1998 (alle Teile); der empfohlene Wert für β 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 aufgetragenen 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 absperren 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 Zuglasten durch Personen festgelegt, sind die folgenden Lastwerte anzuwenden:

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

Schnee- und Zuglasten 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 ΔT zu berücksichtigen.

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

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):

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

Häufige Kombination:

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

Quasi-ständige Kombination:

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

Nachweise:

Es ist nachzuweisen, dass:

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

Dabei ist

$\oplus$	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;
$E_{d,dst}$	der Auslegungswert für die Auswirkung destabilisierender Einwirkungen;
$E_{d,stb}$	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 — ψ -Faktoren auf der Grundlage von EN 1990

Einwirkung	ψ_0	ψ_1	ψ_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 ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
— Kategorie G: $30 \text{ kN} \leq \text{Fahrzeuggewicht} \leq 160 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
— Kategorie H: Dächer	0	0	0
Schneelasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-3) ^a :			
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
^a Bei nicht ausdrücklich genannten Ländern siehe die maßgebenden örtlichen Bedingungen. Die grau markierten ψ -Faktoren sind zu informativen Zwecken angegeben. Gewöhnlich müssen sie bei der Analyse eines Standard-Tanks nicht verwendet werden.			

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>	γ_A		1,00
	<u>Einwirkungen durch Erdbeben:</u>	γ_{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>	γ_A		1,00
	<u>Einwirkungen durch Erdbeben:</u>	γ_{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 γ_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 Ψ . Jede Spalte dieser Matrix steht für eine mögliche Kombination von Lasten.
- Die Transponierte von E ist mit Ψ zu multiplizieren und der höchste eingetragene Wert in der resultierenden Matrix zu bestimmen. Die Spaltennummer des Höchstwertes ist die Spaltennummer der ungünstigsten Kombination in Ψ .

Beispiel:

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

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

Der Wert des Teillastfaktors γ_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 Ψ -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:

$$\frac{\Sigma \sigma_{i,d,R}}{f_{i,k}} \leq 1 \quad \text{oder} \quad \frac{\Sigma n_{i,d,R}}{U_{lam,i,k}} \leq 1$$

$$\gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \quad \gamma_M \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4$$

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

$$\frac{\Sigma \sigma_{i,\varepsilon}}{E_{i,m}} \leq \varepsilon_{lim} \quad \text{oder} \quad \frac{\Sigma n_{i,\varepsilon}}{X_{lam,i,m}} \leq \varepsilon_{lim} \quad (30)$$

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;
$p_{hp} = \rho \cdot g \cdot h_{\text{liquid}}$		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
α	1/°C	Wärmeausdehnungskoeffizient
λ	–	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 Stutzenschnitts
E	N/mm ²	Elastizitätsmodul
E_b	N/mm ²	Biege-Elastizitätsmodul
E_s	N/mm ²	E-Modul einer Versteifung (Ring)
E_x	N/mm ²	Zug- E-Modul des Laminates in axiale Richtung
$E_{x,b}$	N/mm ²	Biege- E-Modul des Laminates in axiale Richtung
E_ϕ	N/mm ²	Zug- E-Modul des Laminates in Umfangsrichtung
$E_{\phi,b}$	N/mm ²	Biege- E-Modul des Laminates in Umfangsrichtung
ε	–	Dehnung
ε_{lim}	–	Grenzdehnung des Laminats oder der Laminatschicht (= Auslegungsdehnung ε_d)

Symbol	Einheit	Größe
ε_ϕ	–	Dehnung in Umfangsrichtung
ε_x	–	Dehnung in axialer Richtung
G_{xy}	N/mm ²	Schubmodul des Laminats
h_{liquid}	mm	Höhe der Flüssigkeitssäule
I_s	mm ⁴	Trägheitsmoment der Versteifung
I_{over}	mm	Trägheitsmoment des überlappenden Laminats
L_c	mm	Länge der örtlichen Waddickenerhöhung
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_{cr}	N/mm	Schnittlast, die zu kritischer axialer Instabilität führt
n_{over}	N/mm	Schnittlast, überlappendes Laminat
$n_{x,w}$	N/mm	Gewichtskraft bedingte Schnittlast, Längsrichtung
n_x	N/mm	Schnittlast in axialer Richtung
n_ϕ	N/mm	Schnittlast in Umfangsrichtung
N_b	–	Anzahl der Ankerschrauben
N_S	N	Normallast am Versteifungsring
p_d	N/mm ²	Auslegungsdruck
p_{cr}	N/mm ²	Druck, der Instabilität verursacht
p_{hp}	N/mm ²	hydrostatischer Druck
PS	N/mm ²	Maximal-Druck (= maximal zulässiger Druck nach Richtlinie 2014/68/EU)
PS_{op}	N/mm ²	Maximal-Innendruck (Überdruck)
PS_{ep}	N/mm ²	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_{over}	mm	Dicke des Überlaminats
W_D	N	berechnete Gewichtskraft

Symbol	Einheit	Größe
W	N	Gewichtskraft
X	N/mm	Einheitsmodul
Z	mm ³	Widerstandsmoment

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

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

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:

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