

DIN EN 13923

ICS 23.020.30

**Fadengewickelte Druckbehälter aus textilfaserverstärkten
Kunststoffen –
Werkstoffe, Konstruktion, Herstellung und Prüfung;
Deutsche Fassung EN 13923:2005**

Filament-wound FRP pressure vessels –
Materials, design, manufacturing and testing;
German version EN 13923:2005

Réceptifs sous pression en PRV par enroulement filamentaire –
Matériaux, conception, fabrication et essais;
Version allemande EN 13923:2005

Gesamtumfang 40 Seiten

Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13923:2005) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 210 „GFK-Tanks und Behälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird. Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. war hierfür der Gemeinschaftsausschuss 210 „Behälter und Apparate aus GFK“ des Normenausschusses Chemischer Apparatebau (FNCA) zuständig.

Deutsche Fassung

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

Filament-wound FRP pressure vessels —
Materials, design, manufacturing and testing

Réipients sous pression en PRV par enroulement
filamentaire —
Matériaux, conception, fabrication et essais

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 22. September 2005 angenommen.

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

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

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



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

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Symbole und Abkürzungen	6
5 Allgemeines	7
6 Werkstoffe	7
6.1 Allgemeines	7
6.2 Ausgangswerkstoffe	8
6.3 Chemische Beständigkeit	8
6.4 Kennwerte für Berechnungen	8
7 Konstruktion	9
7.1 Allgemeines	9
7.2 Berechnungsbeiwert	10
7.3 Zulässige Dehnung	12
7.4 Spannungsergebnisse	12
8 Konstruktionsberechnung, Verfahren A	14
8.1 Allgemeines	14
8.2 Berechnungen	14
8.3 Baumusterprüfung	15
9 Konstruktionsberechnung, Verfahren B	16
9.1 Berechnung	16
10 Konstruktionsunterlagen	18
11 Herstellung	18
11.1 Fadenwicklung	18
11.2 Schutzschichten	19
11.3 Herstellungsspezifikationen	20
12 Abnahmeprüfung	20
12.1 Allgemeines	20
12.2 Abnahmeprüfung für fadengewickelte Behälter	20
12.3 Hydrostatische Druckprüfung	22
12.4 Prüfbericht	22
Anhang A (normativ) Fertigung fadengewickelter Flachproben	23
Anhang B (informativ) Laminattheorie	25
Anhang C (normativ) Extrapolationsverfahren für Zeitstandverhalten	31
Anhang D (informativ) Berechnungsbeispiel	34
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EG-Richtlinie 97/23/EG	37
Literaturhinweise	38

Vorwort

Dieses Dokument (EN 13923:2005) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 210 „GFK Tanks und Behälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2006, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2006 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument (EN 13923:2005) fällt unter die Druckgeräte-Richtlinie (DGRL) und enthält wesentliche Anforderungen dieser EG-Richtlinie.

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

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

Einleitung

Dieses Dokument legt zwei Konstruktionsverfahren für fadengewickelte GFK-Druckbehälter fest. In diesem Dokument wird bei der Berechnung der Festigkeit und Steifigkeit der Schale lediglich die Wicklung berücksichtigt.

Verfahren A beschreibt die Berechnung der Verstärkung der Zylinderschale und der Kalotten auf der Grundlage der Vernetzungstheorie. Die Konstruktion ist durch eine Baumusterprüfung zu verifizieren.

Verfahren B beschreibt die Berechnung der Verstärkung der Zylinderschale und der Kalotten auf der Grundlage der Laminattheorie.

Für die Konstruktion und Herstellung von fadengewickelten GFK-Druckbehältern kommen eine Vielzahl unterschiedlicher Werkstoffe, wie Harze, Thermoplaste und Verstärkungsfasern in Betracht. Es wird vorausgesetzt, dass Behälter nach diesem Dokument nur von Herstellern und Personen gefertigt werden, die fachkundig und entsprechend ausgerüstet sind, um alle Anforderungen zu erfüllen, und die dabei Werkstoffe fachkundiger und erfahrener Hersteller verwenden.

Dieses Dokument legt Spannungs- und Dehngrenzen sowie die Anforderungen für die Abnahmeprüfung fest.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält Anforderungen für die Konstruktion, einschließlich Ausgangswerkstoffe, Berechnung, Herstellung, einschließlich Verbundwerkstoffe sowie die Prüfung von fabrikmäßig hergestellten oberirdischen GFK-Druckbehältern mit Schutzschicht, mit ausschließlich multidirektionaler Fadenwicklung zur Lagerung und Verarbeitung von Fluiden.

Dieses Dokument behandelt Behälter für den Betrieb mit einem Druck unter 20 MPa und Temperaturen zwischen – 30 °C und 120 °C.

Nicht in diesem Dokument enthalten sind Transport- und Doppelmantelbehälter sowie Behälter unter negativem Druck, Behälter, bei denen Explosionsgefahr besteht oder bei deren Versagen Radioaktivität freigesetzt werden kann.

2 Normative Verweisungen

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

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

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

prEN 13121-3:2004, *Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter — Teil 3: Auslegung und Herstellung*

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

EN ISO 14129, *Faserverstärkte Kunststoffe — Bestimmung der Schubmoduls und der Schubfestigkeit in der Lagenebene mit dem $\pm 45^\circ$ Zugversuch (ISO 4129:1997)*

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

EN ISO 75-3, *Kunststoffe — Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur — Teil 3: Hochbeständige härtbare Schichtstoffe und langfaserverstärkte Kunststoffe (ISO 75-3:2004)*

ISO 2602, *Statistical interpretation of test results — Estimation of the mean — Confidence interval. (Statistische Auswertung von Versuchsergebnissen — Bestimmung des Mittelwerts — Vertrauensbereich.)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokument gelten die folgenden Begriffe:

3.1 Hersteller

Unternehmen, das den Behälter nach dieser Europäischen Norm herstellt

3.2 Werkstoffhersteller

Unternehmen, das die besonderen Werkstoffe (z. B. Harz, Textilglas oder Härter) herstellt. Der Werkstoffhersteller kann auch als Lieferant auftreten

3.3 Käufer

Unternehmen oder Person, das oder die den Behälter beschafft

3.4**Lieferant**

Unternehmen, das dem Hersteller Werkstoffe oder Bauteile zur Herstellung des Behälters liefert. Der Lieferant kann der Werkstoffhersteller oder ein Zwischenhändler sein

3.5**Druckbehälter**

Behältnis, das zur Aufnahme von Fluiden unter Druckbelastung ausgelegt und hergestellt ist und die Anbauteile und Anschlüsse bis zur Verbindungsstelle mit einem weiteren Gerät mit einschließt. Ein Behälter kann aus mehr als einer Kammer bestehen

3.6**Schutzschicht**

Chemieschutzschicht (CSS) oder Thermoplastauskleidung (TPL) nach Abschnitt 4 von EN 13121-2:2003, die als Schutz gegen chemische Einflüsse auf das Traglaminat und gegen Undichtheit dient

3.7**Druck**

Druck bezogen auf den atmosphärischen Druck, d. h. Überdruck. Folglich hat ein Vakuum (Unterdruck) einen negativen Wert

3.8**maximaler zulässiger Druck PS**

der vom Hersteller festgelegte maximale Betriebsdruck, für den der Druckbehälter ausgelegt ist. Er ist mit dem Berechnungsdruck identisch

3.9**maximale/minimale zulässige Temperatur TS**

die vom Hersteller festgelegte maximale/minimale Temperatur, für die der Druckbehälter ausgelegt ist. Die maximale zulässige Temperatur ist identisch mit der Auslegungstemperatur

3.10**Laminatschicht**

mit duroplastischem Harzformstoff (Reaktionsharz) verstärkte Glasfaserlage oder -schicht

3.11**Laminat**

aus einer oder mehreren Laminatschichten bestehender Verbundwerkstoff

3.12**Fadenwicklung**

Fertigungstechnik, bei der Endlosglasfaserfäden, auf die ein bestimmtes Harzsystem aufgebracht wurde, systematisch um einen Wickelkern oder einen anderen Stützkörper gewickelt werden und dort aushärten

3.13**Chemieschutzschicht (CSS)**

Schutzschicht nach 4.3 der EN 13121-2:2003

3.14**Thermoplastauskleidung (TPL)**

Schutzschicht nach 4.4 der EN 13121-2:2003

3.15**Kontaktschicht**

Schicht zur Verbesserung der Haftung zwischen TPL und Traglaminat

3.16**Umfangswicklung**

Wicklung, bei der die Faserrichtung senkrecht zur Rotationsachse des Behälters verläuft

3.17

Spiralwicklung

Wicklung, bei der der Winkel zwischen Faserrichtung und Rotationsachse weder 0° noch 90° beträgt

3.18

Baumuster

Druckbehälter, der mit gleichem Durchmesser und gleichen Kalotten, aus dem gleichen Werkstoff und nach den gleichen Festlegungen für die Wicklung nach dem gleichen Herstellverfahren wie ein Behälter aus der laufenden Produktion gefertigt wird, der jedoch nur für Prüfzwecke verwendet wird

3.19

Farbstoff

zugesezte Komponente zur Veränderung der natürlichen Farbe des Harzes

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole und Abkürzungen in Tabelle 1.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbol	Benennung	Einheit
b	Breite	mm
h	Höhe	mm
m_f	Massenanteil der Faser	—
PS	Berechnungsdruck	MPa
p_{crit}	Kritischer Druck	MPa
r	Radialkoordinate	mm
r_p	Radius der Polaröffnung	mm
t	Wanddicke	mm
t_h	Dicke der Spiralwicklungen	mm
t_c	Dicke der Umfangswicklungen	mm
w_i	Masse des Teiles i der Schale	N
A	Werkstoffabminderungsfaktor	—
$A_1, \dots, A_5$	Teilfaktoren	—
C	Formwert	—
D_a	Innendurchmesser des Wickellaminats	mm
E_1, E	E-Modul in Faserrichtung	MPa
E_2	E-Modul senkrecht zur Faserrichtung	MPa
l	Länge der Schale	mm
K	Berechnungsfaktor	—
M_f	Faserverstärkungsanteil je Quadratmeter	kg/m ²
M_w	Wickelmoment auf der Schale	Nmm
M_ϕ	Biegemoment in Längsrichtung	Nmm/mm
M_θ	Biegemoment in Umfangsrichtung	Nmm/mm
N_ϕ	Spannungsergebnis in Längsrichtung	N/mm
N_θ	Spannungsergebnis in Umfangsrichtung	N/mm
P	Wahrscheinlichkeit	%
R	Radius einer Kalotte	mm
S	Sicherheitsbeiwert	—

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Benennung	Einheit
TSHL	Tsai-Hill Kriterium	—
V_f	Faservolumenanteil	—
α	Wickelwinkel	°
ρ_f	Faserdichte	kg/m ³
ρ_r	Harzdichte	kg/m ³
σ	Spannung	MPa
τ	Schubspannung	MPa
ε	Dehnung	%
ε_n	Dehnung senkrecht zur Faserrichtung	%
ν_{12}	Querkontraktionszahl	—
TS	Auslegungstemperatur	°C
HDT	Wärmeformbeständigkeit	°C
$\varepsilon_{\max}$	Maximal zulässige Dehnung	%
$\varepsilon_{\lim}$	Dehngrenze	%
G	Schubmodul in der Lagenebene	MPa
X_t	Zugfestigkeit in Längsrichtung	MPa
X_c	Druckfestigkeit in Längsrichtung	MPa
Y_t	Zugfestigkeit in Querrichtung	MPa
Y_c	Druckfestigkeit in Querrichtung	MPa
S_s	Schubfestigkeit in der Lagenebene	MPa

5 Allgemeines

Der Käufer muss dem Hersteller die für die Auslegung des Druckbehälters erforderlichen Angaben nach den Anforderungen dieser Europäischen Norm zur Verfügung stellen, und zwar:

- Behältervolumen und Beschickungsgut (Fluid);
- maximaler Betriebsdruck einschließlich dem wechselnden Druck;
- maximale Betriebstemperatur einschließlich der wechselnden Temperatur;
- zusätzlich sind Angaben zu machen über alle infolge des Betriebs auftretenden Beanspruchungen (durch Druckbelastungen, Rohrleitungen, extreme Temperaturbedingungen, Fluide, Wind, usw.), über Befüllungs- und Entleervorgänge des Behälters sowie über Druckbeaufschlagung und Druckentlastung.

6 Werkstoffe

6.1 Allgemeines

Die Verbundwerkstoffe — nachfolgend Werkstoffe genannt — werden durch die Matrixwerkstoffe auf der Grundlage duroplastischer Reaktionsharze, durch die Menge und Folge der Faserverstärkung, durch das Laminier- oder Formverfahren für die Schutzschicht und das Wickelverfahren für das Traglaminat charakterisiert.

Die einzelnen Werkstoffe, aus denen sich Verbundwerkstoffe zusammensetzen, werden nachfolgend „Ausgangswerkstoffe“ genannt. Annahme- und Anwendungsbedingungen für Ausgangswerkstoffe müssen den Anforderungen in EN 13121-1 entsprechen; Ausnahmen oder Einschränkungen hierzu sind in 6.2 aufgeführt.

Die chemische Beständigkeit der Verbundwerkstoffe muss EN 13121-2 entsprechen; Ausnahmen oder Einschränkungen hierzu sind in 6.3 aufgeführt.

6.2 Ausgangswerkstoffe

6.2.1 Verstärkungsstoffe

Bei Traglaminat dürfen nur Endlosfaserrovings nach EN 13121-1:2003, 6.6 und 9.11, verwendet werden.

Für die Chemieschutzschicht (CSS) müssen Textilglas-Schnittmatten nach EN 13121-1:2003, 6.3 und 9.9, oder Schneidrovings nach EN 13121-1:2003, 6.6 und 9.11, verwendet werden.

6.2.2 Harze

Für das Traglaminat müssen UP-Harze nach EN 13121-1:2003, 4.1, 4.2, 9.1 und 9.2, VE-Harze nach EN 13121-1:2003, 4.1, 4.3, 9.1 und 9.2, und EP-Harze nach EN 13121-1:2003, 4.1, 4.4, 9.1 und 9.3, verwendet werden.

6.2.3 Formstoffe für Thermoplastauskleidungen

Außer den in EN 13121-1:2003, 8.1, aufgeführten Thermoplasten dürfen andere thermoplastische Werkstoffe verwendet werden, wenn diese den Anforderungen bezüglich Beschaffenheit und Betriebsbedingungen entsprechen. Der Hersteller des thermoplastischen Werkstoffs muss bestätigen, dass die Spezifikationen und technischen Daten dieser Werkstoffe den allgemeinen Anforderungen nach EN 13121-1:2003, Abschnitt 8 und 9.12, entsprechen.

Der Hersteller muss den Wanddickenbereich der thermoplastischen Auskleidungen angeben.

Bei Verwendung von PE-Auskleidungen muss die Schubfestigkeit gegenüber dem Traglaminat bei Prüfungen mit maximaler Betriebstemperatur nach prEN 13121-3:2004, D.8, mindestens 5 N/mm^2 betragen. Falls erforderlich, kann eine Kontaktschicht zum Traglaminat verwendet werden.

6.2.4 Farbstoffe

Farbstoffe sind im Traglaminat nur bei nach Verfahren A ausgelegten Behältern zulässig. Die Menge des Farbstoffes muss den Empfehlungen des Lieferanten oder Herstellers des Harzes entsprechen.

6.3 Chemische Beständigkeit

6.3.1 Verstärkungsstoffe

Die in 6.2.1 aufgeführte Faserart muss EN 13121-2:2003, A.3, entsprechen.

6.3.2 Harze

Die in 6.2.2 aufgeführten Harze sind nach EN 13121-2:2003, Abschnitt 5, EP-Harze nur nach EN 13121-2:2003, 5.3, 5.5 oder 5.6, zu verwenden.

6.3.3 Formstoffe für Thermoplastauskleidungen

Thermoplastische Werkstoffe sind nach EN 13121-2:2003, Abschnitt 5, zu verwenden. Andere Thermoplaste sind nur nach EN 13121-2:2003, 5.4, 5.5 oder 5.6, zu verwenden.

6.4 Kennwerte für Berechnungen

6.4.1 Allgemeines

Der Hersteller muss die erforderlichen mechanischen Eigenschaften aller verstärkenden Laminatschichten festlegen. Bei einer Laminatschicht lassen sich vier Elastizitätskonstanten und fünf Festigkeitskonstanten spezifizieren. Nur die Konstanten E_1 , E_2 , G , ν_{12} , X_t , X_c , Y_t , Y_c und S_s , die für Auslegungsberechnungen erforderlich sind (Begriffe siehe Abschnitt 4), werden festgelegt.

Die mechanischen Eigenschaften der einzelnen Laminatschichten sind für die Auslegungsberechnungen des Laminats nach Abschnitt 8 und Abschnitt 9 zu verwenden.

6.4.2 Proben

Proben für fadengewickeltes Laminat sind nach Anhang A aus einer unidirektional gewickelten Flachprobe (ebene Platte) herzustellen. Die Probe muss aus denselben Werkstoffen bestehen, die in der Herstellungsspezifikation festgelegt sind. Die Flachprobe muss eine repräsentative Dicke, die gekrümmte Probe ein repräsentatives Dicke-zu-Durchmesser-Verhältnis aufweisen. Der Faseranteil der Probe muss den Angaben in Abschnitt 8 und Abschnitt 9 mit einer Grenzabweichung von + 0 % und – 10 % entsprechen. Wickelmuster müssen mit einem Winkel von $\pm 5^\circ$ des festgelegten Winkels hergestellt werden. Die Anzahl der Proben muss dem Wert des Teilfaktors für Streuung entsprechen (siehe 7.2.2).

6.4.3 Elastizitätseigenschaften

6.4.3.1 E_1 -Modul

Der E_1 -Modul für fadengewickeltes Laminat wird mit Hilfe einer einachsigen Zugprüfung an einer Flachprobe (siehe Anhang A) nach EN ISO 527-4 bestimmt. Die Querkontraktionszahl ν_{12} wird mit derselben Prüfung durch Messung der Dehnung in Längs- und Querrichtung ermittelt.

6.4.3.2 E_2 -Modul

Der E_2 -Modul für fadengewickeltes Laminat wird mit Hilfe einer einachsigen Zugprüfung an einer Flachprobe (siehe Anhang A) nach EN ISO 527-4 bestimmt.

6.4.3.3 G -Modul

Der Schubmodul G für fadengewickeltes Laminat wird mit Hilfe einer Schubbeanspruchungsprüfung nach EN ISO 14129 bestimmt.

6.4.4 Festigkeitseigenschaften

6.4.4.1 Festigkeit in Längsrichtung

Die Festigkeit in Längsrichtung X für fadengewickeltes Laminat wird mit Hilfe einer einachsigen Zugprüfung an einer Flachprobe (siehe Anhang A) nach EN ISO 527-4 bestimmt.

6.4.4.2 Festigkeit in Querrichtung

Die Festigkeit in Querrichtung Y für fadengewickeltes Laminat wird mit Hilfe einer einachsigen Zugprüfung an einer Flachprobe (siehe Anhang A) nach EN ISO 527-4 bestimmt.

6.4.4.3 Schubfestigkeit

Die Schubfestigkeit S_S für fadengewickeltes Laminat wird mit Hilfe einer Schubbeanspruchungsprüfung an einer Flachprobe nach EN 14129 bestimmt.

6.4.5 Prüfbericht

Die Ergebnisse der Prüfungen nach 6.4.3 und 6.4.4 sind in einem Bericht festzuhalten, der dann Teil der Konstruktionsunterlagen des Herstellers wird, wie in Abschnitt 10 beschrieben.

7 Konstruktion

7.1 Allgemeines

Diese Europäische Norm beinhaltet zwei Verfahren für die Konstruktion fadengewickelter GFK-Druckbehälter.

Die Dicke der nach Verfahren A ausgelegten Behälterteile ist nach dem in Abschnitt 8 beschriebenen Berechnungsverfahren festzulegen; die Konstruktion ist durch eine Baumusterprüfung nach 8.3 zu bestätigen.

Die Dicke der nach Verfahren B ausgelegten Behälterteile ist nach dem in 9.1 beschriebenen Berechnungsverfahren festzulegen.

Fadengewickelte Druckbehälter sind so auszulegen, dass auftretende Verformungen und Änderungen der Werkstoffeigenschaften auch bei Langzeitbeanspruchung die Sicherheit des Bauteils nicht gefährden. Die Einhaltung dieser Anforderung ist mit Hilfe der Prüfungen nach Abschnitt 6 und Abschnitt 12 sicherzustellen.

Bei der Konstruktion ist die maximale Fluidruckdifferenz, die unter Betriebsbedingungen nach der Festlegung in der Konstruktionsspezifikation zwischen der Innen- und Außenseite der Behälterwand oder zwischen zwei Kammern auftreten kann, zu berücksichtigen.

Die Schutzschicht wird bei der Festlegung der erforderlichen Wanddicke nicht berücksichtigt. Bei der Festlegung der nicht durch Druck verursachten Belastungen ist jedoch die Eigenlast (Masse) der Schutzschicht zu berücksichtigen. Die Schutzschicht muss so beschaffen sein, dass sie die Innenwandung des Behälters auch im Bereich von Ausschnitten vollständig bedeckt.

7.2 Berechnungsbeiwert

7.2.1 Allgemeines

Die zulässigen Spannungen in den einzelnen Schichten des tragenden Werkstoffs ergeben sich aus den Kennwerten für Elastizität und Festigkeit, dem werkstoffunabhängigen Sicherheitsbeiwert S und den Teilfaktoren zur Berücksichtigung des Einflusses von Inhomogenitäten und Streuung (A_1), der chemischen Umgebung (A_2), der Auslegungstemperatur im Verhältnis zur Wärmebeständigkeit (A_3) und des Zeitstandverhaltens (A_5). Bei Festigkeitsberechnungen wird die Schutzschicht nicht berücksichtigt. Der Berechnungsbeiwert K wird aus der Gleichung (1) ermittelt.

$$K = S \times A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times A_5 \quad (1)$$

Der Sicherheitsbeiwert S muss 2,0 betragen.

Die Teilfaktoren A_1 bis A_5 nach Tabelle 2 gelten nur bei nachweislicher vollständiger Einhaltung der Anforderungen nach 6.4 sowie der Bedingungen in 7.2.2 bis 7.2.6.

Die Teilfaktoren A_1 bis A_5 können herabgesetzt werden, so weit dies durch Langzeituntersuchungen von repräsentativen Werkstoffproben oder durch Dehnungsmessungen oder Zeitstanddruckversuche von repräsentativen Behältermustern nachgewiesen und durch Werkstoffgutachten bestätigt wird. Das Produkt von zwei oder mehr Teilfaktoren kann mittels einer Prüfung festgelegt werden.

Der Berechnungsbeiwert K darf den Wert 4,0 nicht unterschreiten.

Tabelle 2 — Teilfaktoren

Teilfaktoren		Mindestwert	Höchstwert
Einfluss von Inhomogenitäten und Streuung	A_1	1,0	2,0
Einfluss von Beschickungsgut und Umgebung	A_2	1,1	1,8
Einfluss der Auslegungstemperatur	A_3	1,0	1,4
Einfluss der dynamischen Beanspruchung	A_4	1,0	1,1
Einfluss des Zeitstandverhaltens	A_5	1,25	2,0