

DIN EN 13445-6/A2

ICS 23.020.30

Änderung von
DIN EN 13445-6:2002-08

**Unbefeuerte Druckbehälter –
Teil 6: Anforderungen an die Konstruktion und Herstellung von
Druckbehältern und Druckbehälterteilen aus Gusseisen mit
Kugelgraphit;
Deutsche Fassung EN 13445-6:2002/A2:2006**

Unfired pressure vessels –

Part 6: Requirements for the design and fabrication of pressure vessels and pressure
parts constructed from spheroidal graphite cast iron;
German version EN 13445-6:2002/A2:2006

Récipients sous pression non soumis à la flamme –

Partie 6: Exigences pour la conception et la fabrication des récipients sous pression et
des parties sous pression moulés en fonte à graphite sphéroïdal;
Version allemande EN 13445-6:2002/A2:2006

Gesamtumfang 47 Seiten

Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13445-6:2002/A2:2006) wurde vom CEN/TC 54 „Unbefeuerte Druckbehälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird

Von Deutscher Seite aus waren die im Gemeinschaftsausschuss GA 54 des Normenausschusses Chemischer Apparatebau (FNCA) im DIN, Deutsches Institut für Normung e. V. vertretenen Kreise hieran beteiligt.

Dieses Dokument enthält Korrekturen zu DIN EN 13445-6:2002-08.

Deutsche Fassung

**Unbefeuerte Druckbehälter —
Teil 6: Anforderungen an die Konstruktion und Herstellung von
Druckbehältern und Druckbehälterteilen aus Gusseisen mit
Kugelgraphit**

Unfired pressure vessels —
Part 6: Requirements for the design and fabrication of
pressure vessels and pressure parts constructed from
spheroidal graphite cast iron

Réipients sous pression non soumis à la flamme —
Partie 6: Exigences pour la conception et la fabrication des
réipients sous pression et des parties sous pression
moulés en fonte à graphite sphéroïdal

Diese Änderung A2 modifiziert die Europäische Norm EN 13445-6:2002. Sie wurde vom CEN am 11. Oktober 2006 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen diese Änderung in der betreffenden nationalen Norm, ohne jede Änderung, einzufügen 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 Änderung 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, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe, Einheiten und Symbole	4
4 Betriebsbedingungen	6
5 Anforderungen	7
6 Werkstoffprüfung	14
7 Prüfung und Endabnahme	15
8 Druckbehälter, die aus Teilen aus verschiedenen Werkstoffen zusammengebaut sind	19
9 Kennzeichnung und Dokumentation	19
Anhang A (normativ) Technische Daten für Konstruktionsberechnungen	20
Anhang B (informativ) Duktilität	22
Anhang C (informativ) Bestimmung der örtlichen Mindest-Wanddicke und des maximal zulässigen Arbeitsdrucks	23
Anhang D (normativ) Berechnung der Ermüdungslebensdauer	25
Anhang E (normativ) Auslegung der Gussstücke nach Analyseverfahren (DBA)	34
Anhang F (informativ) Empfehlungen für die Validierung und Prüfung während des Betriebs	36
Anhang G (normativ) Besondere Konstruktionsanforderungen	38
Anhang H (normativ) Experimentelle Bestimmung der Ermüdungslebensdauer unter zyklischer Druckbeanspruchung	40
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EG-Richtlinie 97/23/EG	44
Literaturhinweise	45

Vorwort

Dieses Dokument (EN 13445-6:2002/A2:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 54 „Unbefeuerte Druckbehälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Änderung zur Europäischen Norm EN 13445-6:2002 muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2007 zurückgezogen werden.

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

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

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

Dieses Dokument enthält den Text der Änderung. Die korrigierten Seiten von EN 13445-6 werden als Ausgabe 23 der Norm vorgelegt.

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, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Den Anwendungsbereich durch folgenden Text ersetzen:

Diese Europäische Norm legt Anforderungen an Konstruktion, Werkstoffe, Herstellung und Prüfung von Druckbehältern und Druckbehälterteilen aus ferritischem oder austenitischem Gusseisen mit Kugelgraphit fest, die für den Betrieb mit einem maximalen zulässigen Druck PS gleich oder kleiner als 100 bar und einer maximalen Wanddicke von 60 mm vorgesehen sind. Die Grenzwerte für die Schalenwanddicke gelten nicht für die Dicke von Flanschen, Verstärkungen, Nocken usw.

Zu den zulässigen Sorten gehören keine ferritischen und austenitischen Gusseisensorten mit Lamellengraphit, die aufgrund ihrer nicht ausreichenden Dehnungs- und Sprödbrokeigenschaften von dieser Europäischen Norm ausdrücklich ausgeschlossen sind, da für sie die Verwendung anderer Sicherheitsbeiwerte und ein anderer Ansatz erforderlich sind.

ANMERKUNG 1 Austenitische Gusseisensorten mit Kugelgraphit werden hauptsächlich für Anwendungsfälle in hohen und niedrigen Temperaturbereichen und aufgrund ihrer Korrosionsbeständigkeit eingesetzt.

ANMERKUNG 2 Die zulässigen Gusseisensorten mit Kugelgraphit sind in den Tabellen 3 und 4 aufgelistet. Die Betriebsbedingungen sind in Abschnitt 4 angegeben.

2 Normative Verweisungen

Der Standardabsatz ist durch folgenden Text zu ersetzen:

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).

Folgende Normative Verweisungen sind anzugeben:

EN 10204:2004, *Metallische Produkte — Arten von Prüfbescheinigungen*

EN 13835:2002, *Gießereiwesen — Austenitische Gusseisen*

Die folgende Normative Verweisung ist zu streichen:

EN 10204:1991, *Metallische Produkte — Arten von Prüfbescheinigungen*

3 Begriffe, Einheiten und Symbole

3.1 Begriffe

3.1.1 durch den folgenden Text ersetzen:

3.1.1

kritischer Bereich

hoch beanspruchter Bereich, in dem bei der Berstprüfung ein Bruch oder Ermüdungsrisssbildung an der Oberfläche aufgrund von Druckschwankungen zu erwarten ist

ANMERKUNG 1 Kritische Bereiche können z. B. durch Folgendes verursacht werden:

- plötzliche Querschnittsänderung;
- scharfe Kanten;
- scharf angesetzte Radien;
- Höchstbeanspruchungen;
- Biegespannungen;
- Spannungen, außer Membranspannungen;
- Rundungsänderungen.

ANMERKUNG 2 Ein kritischer Bereich wird mit Hilfe eines geeigneten Verfahrens bestimmt, z. B. durch holographische Interferometrie, Dehnungsmessverfahren, Berstprüfung, Ermüdungsprüfung, FEM-Analyse usw.

ANMERKUNG 3 Zudem sind Temperaturunterschiede und thermische Beanspruchungen infolge von unterschiedlichen Betriebs-Wandtemperaturen bei der Bestimmung der kritischen Bereiche zu berücksichtigen.

3.1.8 und 3.1.9 hinzufügen:

3.1.8

ferritisches Gusseisen mit Kugelgraphit

Gusswerkstoff mit überwiegend ferritischer Matrix auf der Basis Eisen und Kohlenstoff (der Kohlenstoff ist hauptsächlich in Form von kugeligen Graphitpartikeln vorhanden)

3.1.9

austenitisches Gusseisen mit Kugelgraphit

Gusswerkstoff mit austenitischer Matrix auf der Basis Eisen und Kohlenstoff (der Kohlenstoff ist hauptsächlich in Form von kugeligen Graphitpartikeln vorhanden), und mit Nickel und gegebenenfalls Mangan, Kupfer und/oder Chrom legiert

3.3 Symbole

Die alte Tabelle 3.3-1 durch eine neue Tabelle 3.3-1 ersetzen:

Tabelle 3.3-1 — Symbole

Symbol	Größe	Einheit
C	Korrosionszuschlag	mm
e	erforderliche Wanddicke	mm
e_a	Berechnungswanddicke (ohne Korrosionszuschlag)	mm
e_{act}	tatsächliche Wanddicke	mm
e_{min}	Mindest-Wanddicke, einschließlich Korrosionszuschlag nach Zeichnungsangabe	mm
E	Elastizitätsmodul	N/mm ² oder MPa
F	Berechnungsnennspannung	MPa oder N/mm ²
F	Ermüdungsfaktor für eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 99,8 %	dimensionslos
$P_{b, act}$	tatsächlicher Druck bei der Berstprüfung	N/mm ² oder MPa
P_b	geforderter Mindestdruck bei der Berstprüfung	N/mm ² oder MPa
P_d	Auslegungsdruck	MPa oder N/mm ²
PS, P_S	maximal zulässiger Druck	bar, MPa oder N/mm ²
RM	Festigkeitskennwert für den Werkstoff	N/mm ² oder MPa
$R_{p0,2}$	Mindestwert für die 0,2-%-Dehngrenze bei Raumtemperatur	N/mm ² oder MPa
$R_{m(3)}$	durchschnittliche Zugfestigkeit von drei Probestäben aus dem gleichen Los oder dem gleichen Guss	N/mm ² oder MPa
TS_{min}, TS_{max}	minimale/maximale zulässige Temperatur	°C
T	Berechnungstemperatur	°C
V	Innenvolumen des Druckbehälters	l
C_e	Wanddickenfaktor	dimensionslos
C_t	Temperaturfaktor	dimensionslos

Tabelle 3.3-1 (fortgesetzt)

Symbol	Größe	Einheit
C_Q	Prüffaktor	dimensionslos
N	Faktor in Abhängigkeit von der Form des Mantels	dimensionslos
f_e	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Wanddicke	dimensionslos
f_m	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Mittelspannung	dimensionslos
f_s	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Oberflächenbeschaffenheit	dimensionslos
SF	Sicherheitsbeiwert	dimensionslos
γ_R	Teilsicherheitsbeiwert	dimensionslos
δ	Gusstoleranz	mm
E	zusätzliche Dicke aufgrund des Gießverfahrens	mm
V	Querkontraktionszahl	dimensionslos

4 Betriebsbedingungen

Abschnitt 4 durch folgenden Text ersetzen:

4.1 Zyklische Belastung

Druckbehälter und Druckbehälterteile aus Gusseisen mit Kugelgraphit können im zyklischen Betrieb eingesetzt werden, wenn der Spannungskonzentrationsfaktor auf 3 begrenzt ist. Liegt die errechnete Anzahl der Lastwechsel dicht bei einem in Tabelle 4.1-1 angegebenen Grenzwert, durch den die Forderung nach einer Analyse des Ermüdungsverhaltens bestimmt wird, ist für diesen Zweck der schlimmste Fall zu erfassen.

Falls zu erwarten ist, dass unter Betriebsbedingungen die in Tabelle 4.1-1 festgelegte Anzahl vollständiger Drucklastwechsel oder eine gleichwertige Anzahl von Lastwechseln mit geringerer Amplitude überschritten wird, muss eine Analyse des Ermüdungsverhaltens nach Anhang D durchgeführt werden.

Tabelle 4.1-1 — Anzahl der vollständigen Lastwechsel zur Berücksichtigung der zyklischen Belastung

Prüffaktor	Maximale Anzahl der vollständigen Lastwechsel ohne verbindlich vorgeschriebene Analyse des Ermüdungsverhaltens nach Anhang D	
$C_Q = 0,9$	1 000	
$C_Q = 0,8$	40 000	Spannungskonzentrationsfaktor ≤ 3
	200 000	Spannungskonzentrationsfaktor $\leq 2,5$

ANMERKUNG 1 Ein Prüffaktor von 0,9 beinhaltet die Aufbringung höherer Berechnungsnennspannungen und ergibt folglich eine niedrigere maximale Anzahl vollständiger Druckwechsel ohne verbindlich vorgeschriebene Analyse des Ermüdungsverhaltens.

ANMERKUNG 2 Ein Spannungskonzentrationsfaktor (Verhältnis Spannungsspitze zu Ermüdungsspannung) über 3, ermittelt nach einem der in 5.2 angegebenen Verfahren, kann sich aufgrund einer unsachgemäßen Auslegung ergeben. Durch eine Vergrößerung von Radien oder anderen kleinen Änderungen kann eine annehmbare Auslegung erreicht werden.

Für Drucklastwechsel bei einer Druckdifferenz ΔP_i , die unter dem vollen Druck liegt, ergibt sich die Anzahl der äquivalenten vollständigen Lastwechsel durch die Gleichung (4.1-1):

$$n_{eq} = \sum_{i=1}^{i=N} n_i \cdot \left(\frac{\Delta P_i}{P_{max}} \right)^{8,6} \quad (4.1-1)$$

Dabei ist

- N die Gesamtanzahl der vorgesehenen Druckwechsel mit unterschiedlicher Amplitude;
 n_i die Anzahl der Drucklastwechsel mit Amplitude ΔP_i ;
 ΔP_i die Amplitude des Drucklastwechsels;
 $P_{\max}$ der maximal zulässige Druck nach EN 13445-3:2002, 3.15.

4.2 Begrenzungen für Temperatur und Energiegehalt

Die niedrigste zulässige Temperatur $TS_{\min}$ und die höchste zulässige Temperatur $TS_{\max}$ müssen den in den Tabellen 5.1-1 und 5.1-2 angegebenen Grenzwerten entsprechen.

Das Produkt aus $PS \cdot V$ für ein einzelnes Gussstück darf 10 000 MPa · l (100 000 bar · l) nicht überschreiten.

5 Anforderungen

5.1 Werkstoffe

5.1 durch folgenden Text ersetzen:

Alle Gusseisensorten mit Kugelgraphit, die einem inneren oder äußeren Druck ausgesetzt sind, müssen bei ferritischem Gusseisen der Norm EN 1563 und bei austenitischem Gusseisen der Norm EN 13835 entsprechen.

Die in Tabelle 5.1-1 enthaltenen ferritischen Werkstoffsorten sind für Anwendungsfälle mit einer zulässigen Mindesttemperatur höher als oder gleich -10°C einzusetzen.

Die in Tabelle 5.1-2 aufgeführten Werkstoffe sind für Auslegungsbedingungen bei niedrigen oder hohen Temperaturen bestimmt.

Tabelle 5.1-1 — Zulässige Werkstoffsorten für übliche Auslegungstemperaturen (-10°C bis 300°C)

Werkstoffnorm	Werkstoffbezeichnung ^b		Auslegungstemperaturgrenzen $^\circ\text{C}$
	Symbol	Nummer	
EN 1563	EN-GJS-350-22	EN-JS1010	$-10 \leq TS \leq 300$
	EN-GJS-350-22-RT	EN-JS1014	$-10 \leq TS \leq 300$
	EN-GJS-350-22 U ^a	EN-JS1032	$-10 \leq TS \leq 300$
	EN-GJS-350-22U-RT ^a	EN-JS1029	$-10 \leq TS \leq 300$
	EN-GJS-400-18	EN-JS1020	$-10 \leq TS \leq 300$
	EN-GJS-400-18-RT	EN-JS1024	$-10 \leq TS \leq 300$
	EN-GJS-400-18U ^a	EN-JS1062	$-10 \leq TS \leq 300$
	EN-GJS-400-18U-RT ^a	EN-JS1059	$-10 \leq TS \leq 300$

^a Mechanische Eigenschaften, die an Proben aus angegossenen Probestücken geprüft wurden. Diese Sorten sollten gegenüber den Werkstoffsorten mit getrennt gegossenen Probestücken vorgezogen werden, wenn die Masse des Einzelgussstücks gleich oder größer als 2 000 kg ist oder wenn die jeweilige Wanddicke zwischen 30 mm und 200 mm variiert.

Die in den Tabellen 5.1-1 und 5.1-2 aufgeführten Werkstoffsorten können als Rohguss oder mit Wärmebehandlung hergestellt werden (siehe EN 1563:1997, Abschnitt 6).

^b Sind die in diesen Tabellen festgelegten Werkstoffe nicht verfügbar, dürfen andere geeignete Werkstoffe verwendet werden, wenn die technische Dokumentation mit den Angaben über die Werkstoffeigenschaften entsprechend den Anforderungen für die Europäische Werkstoffzulassung (EAM) oder für Werkstoff-Einzelgutachten (PMA) anerkannt wurde.

Tabelle 5.1-2 — Zulässige Werkstoffsorten für Auslegungsbedingungen bei niedrigen oder hohen Temperaturen

Werkstoffnorm	Werkstoffbezeichnung ^b		Auslegungstemperaturgrenzen °C
	Symbol	Nummer	
EN 1563	EN-GJS-350-22-LT	EN-JS1015	$-40 \leq TS \leq 300$
	EN-GJS-350-22U-LT ^a	EN-JS1019	$-40 \leq TS \leq 300$
	EN-GJS-400-18-LT	EN-JS1025	$-20 \leq TS \leq 300$
	EN-GJS-400-18U-LT ^a	EN-JS1049	$-20 \leq TS \leq 300$
EN 13835	EN-GJSA-XNiMn23-4	EN-JS3021	$-196 \leq TS \leq 300$
	EN-GJSA-XNi22	EN-JS3041	$-40 \leq TS \leq 540$
	EN-GJSA-XNiMn13-7	EN-JS3071	$-40 \leq TS \leq 300$

^a Mechanische Eigenschaften, die an Proben aus angegossenen Probestücken geprüft wurden. Diese Sorten sollten gegenüber den Werkstoffsorten mit getrennt gegossenen Probestücken vorgezogen werden, wenn die Masse des Einzelgussstücks gleich oder größer als 2 000 kg ist oder wenn die jeweilige Wanddicke zwischen 30 mm und 200 mm variiert.

Die in den Tabellen 5.1-1 und 5.1-2 aufgeführten Werkstoffsorten können als Rohguss oder mit Wärmebehandlung hergestellt werden (siehe EN 1563:1997, Abschnitt 6 und EN 13835:2002, Abschnitt 6).

^b Sind die in diesen Tabellen festgelegten Werkstoffe nicht verfügbar, dürfen andere geeignete Werkstoffe verwendet werden, wenn die technische Dokumentation mit den Angaben über die Werkstoffeigenschaften entsprechend den Anforderungen für die Europäische Werkstoffzulassung (EAM) oder für Werkstoff-Einzelgutachten (PMA) anerkannt wurde.

Für die Werkstoffsorten EN-GJS-350-22-LT oder EN-GJS-350-22U-LT sind Auslegungstemperaturen bis -60 °C zulässig. Bei Anwendungen zwischen $(-40 \pm 2)\text{ °C}$ und $(-60 \pm 2)\text{ °C}$ muss der Kerbschlagbiegeversuch bei der niedrigsten Auslegungstemperatur folgende Werte liefern:

- als Mittelwert aus drei Prüfungen: 12 J für $t \leq 60\text{ mm}$;
- 10 J für $60\text{ mm} \leq t \leq 200\text{ mm}$;
- als Einzelwert: 9 J für $t \leq 60\text{ mm}$ und 7 J für $60\text{ mm} \leq t \leq 200\text{ mm}$.

Die geltenden Anforderungen an die Lieferbedingungen, die in EN 1559-1 und EN 1559-3 enthalten sind, müssen ebenfalls eingehalten werden.

ANMERKUNG Diese Norm gilt nicht für Werkstoffe, die im Zeitstandbereich eingesetzt werden, da die Spannungsschwingbreiten auf das elastische Verhalten begrenzt sind.

5.2 Konstruktion

5.2.1 durch den folgenden Text ersetzen:

5.2.1 Technische Dokumentation

Der Hersteller muss vor Beginn der Fertigung die in EN 13445-5:2002, Abschnitt 5 festgelegte Dokumentation erstellen.

5.2.2 Auslegungsverfahren

5.2.2.1 durch den folgenden Text ersetzen:

5.2.2.1 Allgemeines

5.2.2.1.1 Prinzip

Die zu berücksichtigenden Belastungen müssen EN 13445-3:2002, Abschnitt 5 entsprechen.

Die in Abschnitt 4 angegebenen Betriebsbedingungen müssen berücksichtigt werden.

Die Auslegungsmethoden müssen dieser Europäischen Norm sowie, wo zutreffend, den jeweiligen Abschnitten in EN 13445-3 entsprechen.

Wenn durch die Form der Bauteile oder die Belastungen keine genauen Berechnungen nach den in EN 13445-3 und Anhang G angegebenen Gleichungen möglich sind, ist für die Auslegung ein Analyseverfahren (DBA) (siehe Anhang E) oder ein experimentelles Verfahren (DBE) anzuwenden.

In Abhängigkeit von der komplexen Ausführung des drucktragenden Teils, den Belastungsbedingungen und dem Umfang der zerstörungsfreien Prüfung kann der Konstrukteur eines der nachstehend angegebenen Auslegungsverfahren auswählen. Zur Korrelation zwischen Sicherheitsbeiwert, Prüffaktor und dem Verfahren zur Berücksichtigung der dynamischen Belastung (siehe Tabelle 5.2-1) werden allgemeine Hinweise gegeben.

5.2.2.1.2 Statische Belastung

Für die Auslegung des Bauteils im Hinblick auf die statische Belastung kann der Konstrukteur die nachfolgenden Möglichkeiten berücksichtigen.

5.2.2.1.3 Auslegung nach Gleichungen (DBF)

Gleichungen für die Berechnung der verschiedenen Bauteile des drucktragenden Teils sind in EN 13445-3 und Anhang G angegeben. Anhang G enthält zusätzliche Gleichungen für nicht genormte Formteile, die bei Gusskonstruktionen häufig verwendet werden.

5.2.2.1.4 Auslegung nach Analyseverfahren (DBA)

Folgendes gilt:

- 1) Es ist zu entscheiden, ob nach dem direkten Verfahren (Grenzlast — EN 13445-3:2002, Anhang B) oder der Spannungs-Kategorisierung (EN 13445-3:2002, Anhang C) vorgegangen wird. Ferner ist zu entscheiden, ob der lineare oder der nichtlineare Ansatz gewählt wird.
- 2) Die Ableitung von Modellen und die Interpretation der Berechnungsergebnisse muss auf der Grundlage der Berechnungswanddicken e_a und der Werkstoffeigenschaften bei Betriebstemperatur erfolgen.
- 3) Interpretation von Berechnungsergebnissen unter Berücksichtigung der Bewertungsverfahren und -kriterien zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit der tatsächlichen Konstruktion. Diese Konstruktionsprüfungen und die damit verbundenen Verfahren sind für die zu berücksichtigende Versagensart charakteristisch. Verschiedene Versagensarten, siehe EN 13445-3.

5.2.2.1.5 Experimentelles Verfahren (DBE)

Wenn die Auslegung nach Gleichungen nach EN 13445-3 aufgrund der komplexen Form des Bauteils als nicht zuverlässig gilt, muss zur Bestimmung der Berechnungswanddicke e_a und der Mindestwanddicke e_{min} eine hydraulische Berstprüfung nach dem in 5.2.3 festgelegten Verfahren durchgeführt werden. Diese Berstprüfung ist auch Teil der technischen Dokumentation.

Dieses Auslegungsverfahren darf auch ohne zusätzliche Berechnungen verwendet werden, wenn $P_d \cdot V < 600 \text{ MPa} \cdot \text{l}$ ($6\,000 \text{ bar} \cdot \text{l}$) ist.

Gilt für den vollständigen Behälter $P_d \cdot V > 600 \text{ MPa} \cdot \text{l}$ ($6\,000 \text{ bar} \cdot \text{l}$), kann dieses Verfahren zusätzlich zum DBA oder DBF angewendet werden.

Die erforderliche Mindestwanddicke an einer bestimmten Stelle ergibt sich aus:

$$e_a = e_{\text{act}} \cdot \left(\frac{SF \cdot PS \cdot R_{m(3)}}{P_{b,\text{act}} \cdot R_{p0,2} \cdot C_Q \cdot C_t \cdot C_e} \right)^{1/n} \quad (5.2-1)$$

$$e_{\text{min}} \geq e_a + c \quad (5.2-2)$$

Dabei ist

- e_{act} die gemessene Mindestwanddicke an der jeweiligen Messstelle;
- $R_{p0,2}$ nach Anhang A;
- $P_{b,\text{act}}$ der tatsächlich erreichte Druck bei der Berstprüfung oder der höchste Prüfdruck;
- $n = 1$ für gekrümmte Flächen (Zylinder, Kugeln) oder Kegel mit Winkeln $\alpha \leq 60^\circ$, verankerte Flächen und beanspruchte Teile, wenn die Biegespannung weniger als 2/3 der Gesamtspannung beträgt;
- $n = 2$ für alle andere Flächen.

5.2.2.1.6 Bestimmung des hydraulischen Berstdrucks und des maximal zulässigen Drucks bei statischer Belastung

Ein Probestück ist nach dem Zufallsprinzip aus der Produktion des Behälters oder des Behälterteils entweder für die Berstprüfung oder zur Bestimmung der maximal zulässigen Arbeitsbedingungen zu entnehmen. Das Verfahren ist wie folgt durchzuführen:

- 1) Es muss sichergestellt werden, dass das zu prüfende Teil oder der Behälter nach den Festlegungen in der Zeichnung und allen zugehörigen Änderungen gegossen ist. Es muss Werkstoff der gleichen Art und Sorte wie bei der Herstellung der tatsächlich zu fertigenden Teile verwendet werden.
- 2) Es muss sichergestellt werden, dass der Behälter oder das Behälterteil mit den gleichen Maßen gefertigt werden wie bei der Herstellung der tatsächlich zu fertigenden Teile.
- 3) Es muss sichergestellt werden, dass die Werkstoffeigenschaften die Anforderungen in 5.1 erfüllen. Für jedes Gussstück für die Berstprüfung müssen drei Proben für den Zugversuch und, falls zutreffend, für den Kerbschlagbiegeversuch getrennt gegossen und geprüft werden. Die Ergebnisse und die errechnete durchschnittliche Zugfestigkeit müssen nach 6.5 bescheinigt werden.
- 4) Die Wanddicken des gesamten Gussstückes sind zu messen (mindestens eine Messung je $100 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}$). Die Ergebnisse müssen auf dem Gussstück an der Messstelle oder auf der Zeichnung angegeben werden.
- 5) Es muss sichergestellt werden, dass ein kalibriertes Druckmessgerät verwendet wird; maximale Abweichungen müssen mindestens der Klasse 1 nach EN 837-1 und EN 837-3 entsprechen oder darunterliegen. Die Skale des Druckmessgeräts muss etwa 4/3 des zu erwartenden Berstdrucks umfassen.

- 6) Der Druck muss kontrolliert erhöht werden, bis der erforderliche Mindest-Berstdruck erreicht ist:

$$P_b \geq PS \cdot \frac{R_{m(3)}}{f} \left(\frac{e_{act}}{e_{min} - c} \right)^n \quad (5.2-3)$$

Die Druckerhöhung muss weiterhin so lange überwacht werden, bis ein Bruch eintritt. Der Berstdruck $P_{b,act}$, Daten der Berstprüfung, die Werkstoffspezifikation, genaue Angaben über den Werkstoff, Bauteil-Nummer und die an der Bruchstelle gemessene Wanddicke e_{act} sind aufzuzeichnen. Eine Beziehung zum tatsächlichen Berstdruck $P_{b,act}$, der wegen einer besseren Spannungsverteilung höher als P_b sein kann, und zum maximal zulässigen Druck PS , kann nach Umformung von Gleichung 5.2-3 abgeleitet werden, wobei P_b durch $P_{b,act}$ ersetzt wird:

$$PS \leq P_{b,act} \cdot \frac{f}{R_{m(3)}} \cdot \left(\frac{e_{min} - c}{e_{act}} \right)^n \quad (5.2-4)$$

- 7) Erfüllt ein Behälterteil eine dieser Anforderungen nicht, kann ein zweites identisches Bauteil aus der Fertigung dem gleichen Prüfverfahren unterzogen werden. Erfüllt dieses zweite Teil die Prüfanforderungen, kann dieses Teil nach Untersuchung der Versagensursachen des ersten Teils angenommen werden. Erfüllt dieses zweite identische Teil die Prüfanforderungen nicht, gilt die Konstruktion des Teils als nicht den Festlegungen entsprechend.
- 8) Während der Berstprüfung sind Leckagen und mangelnde Dichtheit zwischen Teilen mit Flansch- oder Schraubverbindung oder Teilen mit dazwischen liegenden Dichtungen zulässig, solange der Druck P_b während der Prüfung erreicht werden kann. Dichtungen dürfen während der Berstprüfung brechen und Dichtungseigenschaften so abgeändert werden, dass die Flanschbelastungsmerkmale nicht wesentlich verändert werden, solange ihre Auslegung den Konstruktionsrichtlinien nach EN 13445-3 für den zu erwartenden maximal zulässigen Druck P_S entspricht.
- 9) Ausschließlich für die Prüfung ist es zulässig, für die Verschraubung eine höhere Klasse zu wählen als in den zu verwendenden Konstruktionsunterlagen verlangt wird.
- 10) Werden Flanschverbindungen, bezogen auf die erforderliche Mindestdicke, den erforderlichen Mindest-Schraubenquerschnitt und die Form, nach den Anforderungen in EN 13445-3 ausgelegt, ist es zum Erreichen des Berstprüfdrucks zulässig, zusätzlich zu der für die Fertigung festgelegten Anzahl Schrauben weitere Schrauben einzusetzen.
- 11) Die Berstprüfung oder eine hydraulische Prüfung dürfen nicht mit einer Klemmvorrichtung auf einer hydraulischen Presse durchgeführt werden, die der Biegespannung des Mantels entgegenwirken kann und somit die Spielfreiheit der unter Druck stehenden Behälterwand aufhebt.

5.2.2.1.7 Dynamische Belastung

Liegt die Anzahl der Drucklastwechsel über der vollen Schwingbreite bzw. die Anzahl der äquivalenten Drucklastwechsel nach Gleichung (4.1-1) über der Anzahl der Drucklastwechsel über der vollen Schwingbreite bei statischer Belastung nach Tabelle 4.4-1, ist eine Berechnung der Ermüdungsfestigkeit (Ermüdungslebensdauer) der vollständigen Konstruktion durchzuführen. Um das Bauteil auf dynamische Belastung auszulegen, kann der Konstrukteur nach folgenden Möglichkeiten verfahren.

5.2.2.1.8 Vereinfachte Berechnung der Ermüdungsfestigkeit (SFA)

Eine vereinfachte Berechnung der Ermüdungsfestigkeit ergibt einen Wert für die maximal zulässige Anzahl äquivalenter Druckschwankungen unter Betriebsbedingungen. Die Berechnung muss nach Anhang D erfolgen.

Ein maximaler Spannungskonzentrationsfaktor von 3 wird angenommen.

Ausführliche Berechnung der Ermüdungsfestigkeit (DFA)

Eine ausführliche Berechnung der Ermüdungsfestigkeit ergibt einen Wert für die maximal zulässige Anzahl der äquivalenten Druckschwankungen unter Verwendung ausführlicher Spannungsanalysen unter Betriebsbedingungen. Die Berechnung muss nach Anhang D erfolgen.

5.2.2.1.9 Experimentelle Berechnung der Ermüdungslebensdauer (EFA)

Dieses in Anhang H beschriebene Verfahren ist anzuwenden, wenn eine theoretische Spannungsanalyse nicht ausreichend ist bzw. für die Konstruktionsberechnung unnormal niedrige Lebensdauerwerte ergibt und somit auf einen zu konservativen theoretischen Ansatz hinweist.

Eine Bewertung eines Bauteils mittels experimenteller Ermüdungsberechnung ist nicht erforderlich, wenn ein gleiches Bauteil bereits einer solchen Berechnung unterzogen wurde und die Daten verfügbar und auf die Neukonstruktion übertragbar sind.

Die Dauerschwingbeanspruchung muss EN 13445-3:2002, 5.3 entsprechen.

Bei diesem Verfahren werden übermäßig große Wanddicken des Werkstoffs, der Auskleidungen und aller Werkstoffe, die nicht zur Festigkeit beitragen, nicht berücksichtigt.

ANMERKUNG Bei Behältern mit $P_d \cdot V \geq 600 \text{ MPa} \cdot \text{l}$ darf das experimentelle Verfahren zusätzlich für die ausführliche Ermüdungsauslegung angewendet werden.

Tabelle 5.2-1 — Bestimmung des Sicherheitsbeiwerts, des Prüffaktors und des Auslegungsverfahrens

Zerstörungsfreie Prüfung	Sicherheitsbeiwert <i>SF</i>	Prüffaktor <i>C_Q</i>	Auslegungs- verfahren Statische Belastung	Auslegungs- verfahren Dynamische Belastung
nicht erforderlich	3,0	0,8	DBF DBA DBE	SFA
				DFA
				EFA
erforderlich	2,0	0,9		(SFA) ^a
				DFA
				EFA

^a Nicht empfohlen bei:

DBF = Auslegung nach Gleichungen
 DBA = Auslegung nach Analyse
 DBE = Verfahren für die experimentelle Auslegung
 SFA = Vereinfachte Berechnung der Ermüdungsfestigkeit
 DFA = Ausführliche Berechnung der Ermüdungsfestigkeit
 EFA = Experimentelle Berechnung der Ermüdungsfestigkeit

5.2.2.2 Auslegungsbedingungen

Einen neuen ersten Satz einfügen und Gleichung (5.2-1) durch folgenden Text ersetzen:

Die zulässige Spannung für ferritische und austenitische Werkstoffsorten ist wie folgt zu berechnen:

$$f = \frac{R_{p0,2} \cdot C_t \cdot C_Q \cdot C_e}{SF} \quad (5.2-5)$$

Die Gleichungen (5.2.3) bis einschließlich (5.2.7) durch folgenden Text ersetzen:

Der Temperatur-Abminderungsfaktor C_t beträgt:

für ferritische Werkstoffsorten:

$$C_t = 1 \quad \text{für } t \leq 20 \text{ °C} \quad (5.2-6)$$

$$C_t = 1 - 0,001 (t - 20) \quad \text{für } 20 \text{ °C} < t \leq 200 \text{ °C} \quad (5.2-7)$$

$$C_t = 0,82 \quad \text{für } 200 \text{ °C} < t \leq 300 \text{ °C} \quad (5.2-8)$$

und für austenitische Werkstoffsorten:

$$C_t = 1 \quad \text{für } t \leq 20 \text{ °C} \quad (5.2-9)$$

$$C_t = 1 - 0,0005 (t - 20) \quad \text{für } 20 \text{ °C} < t \leq 540 \text{ °C} \quad (5.2-10)$$

Die ANMERKUNG am Ende von 5.2.2.2 ist zu streichen.

5.2.2.6 ist mit folgendem Text zu übernehmen:

5.2.2.6 Kehlnahtradius

Bei Wänden, die innerem oder äußerem Druck ausgesetzt sind, muss der größtmögliche Kehlnahtradius nach guter Gusspraxis (unter Berücksichtigung der Fertigungstoleranzen) verwendet werden. Gute Gusspraxis erfordert manchmal eine Erhöhung der Wanddicke und einen entsprechenden Kehlnahtradius. Nach dieser Europäischen Norm gegossene Bauteile weisen aus diesen Gründen verbesserte Eigenschaften der Ermüdungsfestigkeit auf. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass örtliche Spannungen die maximal zulässigen Werte keinesfalls überschreiten, insbesondere bei Änderungen der Querschnittsdicke oder Radien.

Sind plötzliche Querschnittsänderungen aus irgendeinem Grund nicht zu vermeiden, und ist die drucktragende Wand einer Dauerschwingbeanspruchung ausgesetzt, muss eine Neigung von maximal 1 : 3 von der dünneren zur dicken Wand einberechnet werden.

Alle Radien in einem Behälterteil, einschließlich außen angegossener Stützen, Stützfüße usw., müssen mindestens das 1,5-fache der Dicke der dünnsten angrenzenden Wand betragen.

Wenn aus irgendeinem Grund ein kleinerer Radius gewählt wird (im Rohzustand oder bearbeitet), muss die Konstruktionsprüfung durch DBA erfolgen.

5.2.3 und 5.2.4 sind insgesamt zu streichen.

5.3 Gießen

5.3.2 durch den folgenden Text ersetzen:

5.3.2 Schweißen

An Teilen sowohl aus ferritischen als auch aus austenitischen Gusseisen-Werkstoffsorten, die nach dieser Europäischen Norm gefertigt sind, dürfen keine Fertigungsschweißungen, Reparaturschweißungen oder Schweißungen aus ästhetischen Gründen durchgeführt werden.