

DIN EN 15776



ICS 23.020.30

Einsprüche bis 2019-03-11
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 15776:2016-01

Entwurf

**Unbefeuerte Druckbehälter –
Anforderungen an die Konstruktion und Herstellung von Druckbehältern
und Druckbehälterteilen aus Gusseisen mit einer Bruchdehnung von 15 %
oder weniger;
Deutsche und Englische Fassung prEN 15776:2019**

Unfired pressure vessels –

Requirements for the design and fabrication of pressure vessels and pressure vessels parts constructed from cast iron with an elongation after fracture equal or less than 15 %;
German and English version prEN 15776:2019

Réceptifs sous pression non soumis à la flamme –

Exigences pour la conception et la fabrication des réceptifs et parties sous pression moulés en fonte à allongement, après rupture, inférieur ou égal à 15 %;
Version allemande et anglaise prEN 15776:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-01-11 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an fnca@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 90 Seiten

DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 15776:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 54 „Unbefeuerte Druckbehälter“ überarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird. Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 012-00-05 AA im DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 15776:2016-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) redaktionelle Anpassungen und Änderungen, auch hinsichtlich des kommunizierenden, fortgeschriebenen Normenwerks.

Unbefeuerte Druckbehälter — Anforderungen an die Konstruktion und Herstellung von Druckbehältern und Druckbehälterteilen aus Gusseisen mit einer Bruchdehnung von 15 % oder weniger

Réipients sous pression non soumis à la flamme — Exigences pour la conception et la fabrication des réipients et parties sous pression moulés en fonte à allongement, après rupture, inférieur ou égal à 15 %

Unfired pressure vessels — Requirements for the design and fabrication of pressure vessels and pressure vessel parts constructed from cast iron with an elongation after fracture equal or less than 15 %

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe, Einheiten und Symbole	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Symbole	10
3.3 Wechselwirkung der festgelegten Dicken (EN 13445-6:2014)	13
4 Werkstoffe, Grenzen und Betriebsbedingungen	14
4.1 Werkstoffe und Temperaturgrenzen, maximal zulässiger Druck und Energiegehalt	14
4.2 Wechselbeanspruchung	15
5 Konstruktionsanforderungen	16
5.1 Konstruktionsgrundsätze	16
5.2 Entwurf und Konstruktionszeichnungen	17
5.3 Statische Beanspruchung	17
5.3.1 Allgemeines	17
5.3.2 Auslegung nach Gleichungen (DBF-Verfahren)	17
5.3.3 Auslegung nach Analyseverfahren (DBA-Verfahren)	18
5.3.4 Experimentelle Auslegung (DBE-Verfahren)	18
5.4 Temperaturminderungsfaktor	18
5.5 Waddicken-Minderungsfaktor	19
5.6 Auslegung für äußere Druckbeanspruchung	19
5.7 Prüfbedingungen	19
5.8 Konstruktionsverfahren	19
5.8.1 Allgemeines	19
5.8.2 Statische Beanspruchung	20
5.8.3 Dynamische Beanspruchung	22
5.9 Einzelheiten der Konstruktion	27
5.9.1 Verstärkungen von Behälteröffnungen, flachen, gewölbten Böden usw.	27
5.9.2 Übergang	28
5.9.3 Gewölbter Deckel	28
5.10 Technische Dokumentation	28
5.10.1 Allgemeines	28
5.10.2 Angaben, die in der technischen Dokumentation enthalten sein müssen	28
5.10.3 Prüfberichte	30
5.10.4 Entwurfsprüfung durch den Hersteller (interne Entwurfsprüfung)	31
6 Prüfung des Gießverfahrens, des Werkstoffs und des Gussstücks	31
6.1 Gießverfahren	31
6.1.1 Allgemeines	31
6.1.2 Schweißen	31
6.2 Werkstoffprüfung	32
6.2.1 Allgemeines	32
6.2.2 Anzahl und Häufigkeit der Prüfungen	32
6.2.3 Prüfunterlagen	32
6.3 Prüfung des Gussstücks	32

6.3.1	Allgemeines	32
6.3.2	Oberflächenfehler	33
6.3.3	Risse, Überlappungen, Walzgrate und ungeschmolzene Kernnägel	33
6.3.4	Ultraschallprüfung und/oder Zerlegung	33
6.3.5	Eindringprüfung	33
6.3.6	Oberflächenrauheit	33
6.3.7	Mindest-Wanddicke	33
6.3.8	Grenzabweichungen der Wanddicke	34
6.3.9	Sonstige Maße	34
6.3.10	Zulassung des Prüfpersonals	34
7	Abnahmeprüfung	34
7.1	Allgemeines	34
7.2	Hydraulischer Prüfdruck	34
8	Druckbehälter, deren Bestandteile aus verschiedenen Werkstoffen bestehen	34
9	Kennzeichnung und Dokumentation	35
9.1	Kennzeichnung von Gussstücken	35
9.2	Typenschild für den gesamten Druckbehälter	35
9.3	Dokumentation	35
Anhang A (informativ) Technische Daten für Auslegungsberechnungen		36
Anhang B (informativ) Empfehlungen für die Validierung und Überprüfung während des Betriebs		40
B.1	Zweck	40
B.2	Prüfungen während des Betriebs	40
Anhang C (informativ) Beispiele für Ermüdungs-Auslegungskurven		41
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden EU-Richtlinie 2014/68/EU		44
Literaturhinweise		45
 Bilder		
Bild 1 — Wechselwirkung der festgelegten Dicken		13
Bild C.1 — Ermüdungs-Auslegungskurve für EN-GJL-250 — Vereinfachte Beurteilung		42
Bild C.2 — Ermüdungs-Auslegungskurve für EN-GJL-500-7 — Detaillierte Beurteilung		43
 Tabellen		
Tabelle 1 — Symbole		10
Tabelle 2 — Zulässige Werkstoffsorten und Grenzen für (austenitisches) Gusseisen mit Lamellengraphit		14
Tabelle 3 — Zulässige Werkstoffsorten und Auslegungsgrenzen für Gusseisen mit Kugelgraphit		15
Tabelle 4 — Anzahl der vollständigen Druckwechselbeanspruchungen bei dynamischer Beanspruchung		15
Tabelle 5 — Sicherheitsfaktor und Nenn-Auslegungsspannung		17
Tabelle 6 — RM und γ_R für Beanspruchungen mit normaler Betriebslast		20
Tabelle 7 — RM und γ_R für Beanspruchungen mit Prüflast für Gusseisen mit Lamellengraphit		20
Tabelle 8 — RM und γ_R für Beanspruchungen mit Prüflast für Gusseisen mit Kugelgraphit		20
Tabelle 9 — Gleichungen für die vereinfachte Beurteilung des Ermüdungsverhaltens		23
Tabelle 10 — Koeffizienten der Ermüdungs-Auslegungskurven für Gusseisen mit Lamellengraphit nach Tabelle 2 (ANMERKUNG) – Vereinfachte Beurteilung		24

Tabelle 11 — Koeffizienten der Ermüdungs-Auslegungskurven für Gusseisen mit Kugelgraphit nach EN 1563:2018 und EN 13835:2012 und Tabelle 3 – Vereinfachte Beurteilung	24
Tabelle 12 — Gleichungen für die vereinfachte Beurteilung des Ermüdungsverhaltens	25
Tabelle 13 — Koeffizienten der Ermüdungs-Auslegungskurven für Gusseisen mit Lamellengraphit nach EN 1561:2011 und EN 13835:2012 und Tabelle 2 – Vereinfachte Beurteilung	26
Tabelle 14 — Koeffizienten der Ermüdungs-Auslegungskurven für Gusseisen mit Kugelgraphit nach EN 1563:2018 und EN 13835:2012 und Tabelle 3 – Detaillierte Beurteilung	27
Tabelle 15 — Zusammenfassung der Prüfanforderungen	32
Tabelle A.1 — Zugfestigkeitswerte für die Auslegungsberechnungen für Gusseisen mit Lamellengraphit nach EN 1561:2011 und EN 13835:2012	36
Tabelle A.2 — Technische Daten für Auslegungsberechnungen für Gusseisen mit Lamellengraphit nach EN 1561:2011 und EN 13835:2012	37
Tabelle A.3 — Auswirkungen der Auslegungstemperatur auf das Elastizitätsmodul von Gusseisen mit Lamellengraphit nach EN 1561:2011 und EN 13835:2012	37
Tabelle A.4 — Technische Daten für Auslegungsberechnungen für Gusseisen mit Kugelgraphit nach EN 1563:2018 und EN 13835:2012	38
Tabelle A.5 — Auswirkungen der Auslegungstemperatur auf das Elastizitätsmodul von Gusseisen mit Kugelgraphit nach EN 1563:2018	38
Tabelle A.6 — Auswirkungen der Auslegungstemperatur auf das Elastizitätsmodul von austenitischem Gusseisen mit Kugelgraphit nach EN 13835:2012	39
Tabelle C.1 — Ermüdungs-Auslegungskurve für Gusseisen mit Lamellengraphit — Vereinfachte Beurteilung	41
Tabelle C.2 — Ermüdungs-Auslegungskurve für Gusseisen mit Kugelgraphit — Detaillierte Beurteilung	42
Tabelle ZA.1 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und Anhang I der Richtlinie 2014/68/EU	44

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 15776:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 54 „Unbefeuerte Druckbehälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 15776:2011+A1:2015 ersetzen.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 2014/68/EU.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinie 2014/68/EU siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Einleitung

Diese Norm ist ein eigenständiges Dokument und für Druckgeräte unter bestimmten Beschränkungen und Begrenzungen anwendbar.

ANMERKUNG Zu Normen über die Konstruktion und Herstellung von Druckbehältern aus Gusseisen mit besseren Dehnungseigenschaften und höherer Duktilität siehe EN 13445-6:2014.

Zu beachten sind die in einigen Abschnitten dieses Dokuments prEN 15776 enthaltenen Verweisungen auf EN 13445-6:2014 zu Konstruktion und Herstellung entsprechend spezifischer Werkstoffsorten nach den Werkstoffnormen EN 1563:2018 und EN 13835:2012. Anforderungen an die Konstruktion, den Werkstoff, die Herstellung sowie die Prüfung von Druckbehältern und Druckbehälterteilen aus ferritischem oder austenitischem Gusseisen mit Kugelgraphit mit einer Bruchdehnung von mehr als 15 % sind EN 13445-6:2014 zu entnehmen.

Gusseisen mit einer Bruchdehnung von nicht mehr als 15 % darf ausschließlich für Druckgeräte verwendet werden, wenn dessen Verwendung statt der in EN 13445-6:2014 angegebenen Gusseisensorten mit einer Bruchdehnung von mehr als 15 % aufgrund betrieblicher oder technischer Vorteile erforderlich ist.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Anforderungen an die Konstruktion, den Werkstoff, die Herstellung sowie die Prüfung von Druckbehältern und Druckbehälterteilen aus Werkstoffen fest, für die Einzelheiten in den folgenden Werkstoffnormen für spezifische Werkstoffsorten festgelegt sind, die die Kriterien hinsichtlich einer Bruchdehnung $\leq 15\%$ erfüllen.

- EN 1561:2011, *Gießereiwesen — Gusseisen mit Lamellengraphit*;
- EN 1563:2018, *Gießereiwesen — Gusseisen mit Kugelgraphit*;
- EN 13835:2012, *Gießereiwesen — Austenitische Gusseisen*.

ANMERKUNG Der Inhalt des Druckbehälters oder der Druckbehälterteile ist ein Medium der Gruppe 2 nach Richtlinie 2014/68/EU.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 764-5:2014, *Druckgeräte — Teil 5: Prüfbescheinigungen für metallische Werkstoffe und Übereinstimmung mit der Werkstoffspezifikation*

EN 1370:2011, *Gießereiwesen — Bewertung des Oberflächenzustandes*

EN 1371-1:2011, *Gießereiwesen — Eindringprüfung — Teil 1: Sand-, Schwerkraftkokillen- und Niederdruckkokillengussstücke*

EN 1559-1:2011, *Gießereiwesen — Technische Lieferbedingungen — Teil 1: Allgemeines*

EN 1559-3:2011, *Gießereiwesen — Technische Lieferbedingungen — Teil 3: Zusätzliche Anforderungen an Eisengussstücke*

EN 1561:2011, *Gießereiwesen — Gusseisen mit Lamellengraphit*

EN 1563:2018, *Gießereiwesen — Gusseisen mit Kugelgraphit*

EN 12680-3:2011, *Gießereiwesen — Ultraschallprüfung — Teil 3: Gussstücke aus Gusseisen mit Kugelgraphit*

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

EN 13445-5:2014, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 5: Inspektion und Prüfung*

EN 13445-6:2014, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 6: Anforderungen an die Konstruktion und Herstellung von Druckbehältern und Druckbehälterteilen aus Gusseisen mit Kugelgraphit*

EN 13835:2012, *Gießereiwesen — Austenitische Gusseisen*

EN ISO 8062-3:2007, *Geometrische Produktspezifikationen (GPS) — Maß-, Form- und Lagetoleranzen für Formteile — Teil 3: Allgemeine Maß-, Form- und Lagetoleranzen und Bearbeitungszugaben für Gussstücke (ISO 8062-3:2007)*

3 Begriffe, Einheiten und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

Gusseisen mit Lamellengraphit

Gusswerkstoff, basierend auf Eisen und Kohlenstoff, wobei der Kohlenstoff überwiegend in Form von blättrigen (lamellaren) Graphitpartikeln vorliegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Gusseisen mit Lamellengraphit ist auch als Lamellengraphit-Gusseisen bekannt, seltener als lamellares Graphitgusseisen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Gusseisen mit Lamellengraphit enthält 2,0 % – 4,5 % Kohlenstoff und 1 % – 3 % Silikon. Die Struktur besteht aus blättrigen und miteinander verbundenen Graphitpartikeln in einem Gitter aus Perlit, Ferrit oder einer Mischung.

[QUELLE: EN 1561:2011, 3.1, geändert — Der Inhalt der Anmerkung 2 zum Begriff wurde geändert.]

3.1.2

Gusseisen mit Kugelgraphit

Gusswerkstoff auf der Basis Eisen-Kohlenstoff, wobei der Kohlenstoff überwiegend in Form von kugeligen Graphitpartikeln vorliegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Gusseisen mit Kugelgraphit ist auch als duktiles Gusseisen bekannt, seltener als nodulares Gusseisen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die mechanischen Eigenschaften von Gusseisen mit Lamellengraphit können erheblich verbessert werden, indem die Graphitform verändert wird, wenn geschmolzenes Eisen mit einer Zusammensetzung im Bereich von 3,2 % bis 4,5 % Kohlenstoff und 1,8 % bis 2,8 % Silicium mit Magnesium behandelt wird. Dadurch entstehen Gussstücke mit Graphit in Kugelform statt Lamellenform, bekannt als nodulares Gusseisen, Gusseisen mit Kugelgraphit oder duktiles Gusseisen. Nodulares Gusseisen liegt mit perlitischer, ferritischer oder perlitisch-ferritischer Matrix vor, welche eine Kombination von höherer Duktilität und höherer Zugfestigkeit als Gusseisen mit Lamellengraphit bietet.

[QUELLE: EN 1563:2018, 3.1, geändert — Der Beginn der Definition wurde verändert und Anmerkung 2 zum Begriff gekürzt.]

3.1.3

austenitisches Gusseisen

Gusswerkstoff mit austenitischer Matrix auf der Basis Eisen-Kohlenstoff-Silicium und mit Nickel, Mangan, Kupfer und/oder Chrom zur Stabilisierung des austenitischen Gefüges bei Raumtemperatur legiert

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Graphit kann in lamellarer oder kugelig Form vorliegen.

[QUELLE: EN 13835:2012, 3.1, geändert — Der Beginn der Definition wurde geändert und der letzte Satz der Definition ist jetzt in Anmerkung 1 zum Begriff enthalten.]

3.1.4

maßgebende Wanddicke

kennzeichnende Wanddicke des Gussstücks, festgelegt für die Bestimmung der Größe der Probestücke, für die die garantierten mechanischen Eigenschaften gelten

3.1.5

kritischer Bereich

sehr stark beanspruchter Bereich, in dem bei einer Berstprüfung erwartungsgemäß ein Bruch auftritt

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies kann beispielsweise eine der folgenden Ursachen haben:

- plötzliche Änderung des Durchmessers;
- scharfe Kanten;
- scharfe Radien;
- Spitzenspannungen;
- Biegespannungen;
- Beanspruchungen durch andere Ursachen als Membranspannungen;
- Änderungen der Krümmung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein kritischer Bereich wird in einem geeigneten Verfahren analysiert, z. B. holographisches, interferometrisches Verfahren, Verfahren zur Messung der Beanspruchung, Berstprüfung, Ermüdungsprüfung, FEM-Analyse usw.

Anmerkung 3 zum Begriff: Darüber hinaus sind Wärmegradienten und Wärmespannungen durch unterschiedliche Betriebstemperaturen der Behälterwand bei der Festlegung der kritischen Bereiche zu berücksichtigen.

3.1.6

Käufer

Einzelperson oder Organisation, die Druckgeräte, einschließlich Baugruppen und Bauteilen, entweder für die eigene Verwendung oder die Verwendung durch einen Anwender und/oder eine Bedienperson kauft

3.1.7

Hersteller

Einzelperson oder Organisation, die für die Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Inspektion und den Einbau von Druckgeräten und, sofern zutreffend, Baugruppen verantwortlich ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Hersteller kann unter seiner Verantwortung einen Unterauftragnehmer mit einer oder mehreren der oben erwähnten Aufgaben betrauen.

3.1.8

Hersteller der Gussstücke

Unterauftragnehmer, der die Gussstücke herstellt, die bei der Herstellung der Druckgeräte verwendet werden

3.1.9

Temperaturfaktor

Minderungsfaktor, der für die 0,2-%-Dehngrenze gilt, um den Temperatureinfluss zu berücksichtigen

3.1.10

Wanddickenfaktor

Minderungsfaktor, der für die Nenn-Auslegungsspannung gilt, um den Einfluss von verringerten mechanischen Eigenschaften zu berücksichtigen

3.1.11

Spannungsfaktor

Verhältnis zwischen Spitzenspannung und Gesamtspannung

3.1.12

Gesamtspannung

Gesamtspannung in einem Konstruktionsmodell, einschließlich aller Auswirkungen von Spannungskonzentration, lokal begrenzt oder nicht

3.2 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments sind die in EN 13445-6:2014 verwendeten Symbole in Tabelle 1 aufgeführt.

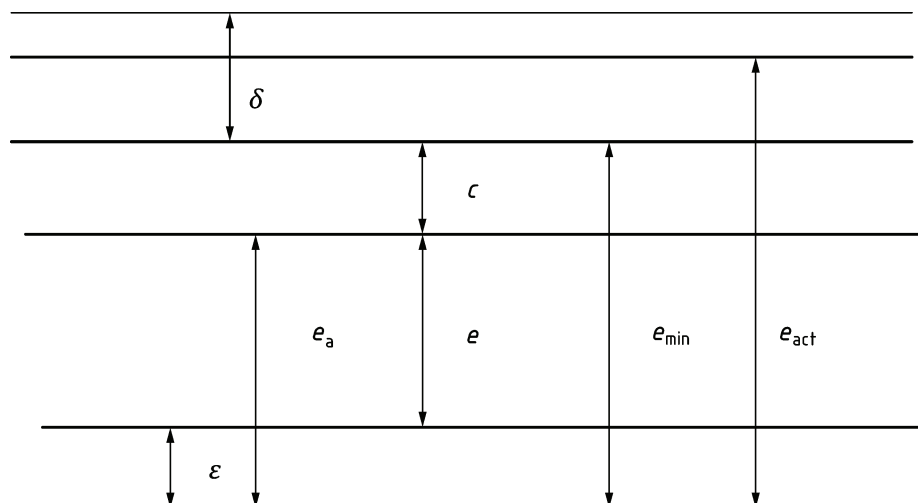
Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Größe	Einheit
c	Korrosionszuschlag	mm
e	erforderliche Wanddicke	mm
e_a	Analysendicke	mm
e_{act}	tatsächliche Wanddicke	mm
e_{max}	maximale Wanddicke des Bauteils am Ausgangspunkt eines möglichen Ermüdungsrissses	mm
e_{min}	Mindest-Wanddicke entsprechend Darstellung	mm
f	Nenn-Auslegungsspannung	MPa
f_e	Korrekturfaktor für die Wanddicke	
f_m	Korrekturfaktor für die mittlere Spannung	
f_{test}	Nenn-Auslegungsspannung bei Prüfbedingungen	MPa
f_T	Temperaturkorrekturfaktor	
f_s	Korrekturfaktor für die Oberflächenbeschaffenheit	
m_C	Exponent in der Gleichung der Ermüdungs-Auslegungskurve	
n	von der Form der Behälterwand abhängiger Faktor	
n_{eq}	Anzahl der jeweiligen vollständigen Druckwechselbeanspruchungen	
T, T_c	Berechnungstemperatur	°C
A, A_5	Mindest-Bruchdehnung	%
C_C	Koeffizient in der Gleichung der Ermüdungs-Auslegungskurve	
C_e	Minderungsfaktor der Wanddicke	

Symbol	Größe	Einheit
C_T	Minderungsfaktor der Temperatur	
E	Elastizitätsmodul	MPa
F	Prüffaktor bei der experimentellen Beurteilung des Ermüdungsverhaltens	
K_{eff}	effektiver Spannungskonzentrationsfaktor	
K_t	theoretischer elastischer Spannungskonzentrationsfaktor	
M	mittlerer Spannungsempfindlichkeitsfaktor	MPa
m_c	Wert aus den zutreffenden Tabellen 10, 11, 13, 14 in dem bei der Berechnung des Ermüdungsverhaltens verwendeten Bereich für die Anzahl der Lastwechsel	
N	Gesamtanzahl der vorgesehenen Arten von Lastwechseln mit unterschiedlicher Amplitude	
N_{all}	zulässige Anzahl der Lastwechsel nach der Ermüdungs-Auslegungskurve	
N_{min}	Mindestanzahl der Lastwechsel nach der experimentellen Beurteilung des Ermüdungsverhaltens	
n_i	Anzahl der Lastwechsel mit der Amplitude ΔP_i	
PC, p_c	Berechnungsdruck	MPa ^a
P_b	Berstprüfdruck	MPa ^a
$P_{b,\text{act}}$	tatsächlicher Berstprüfdruck	MPa ^a
PD, p_d	Auslegungsdruck	MPa ^a
P_{max}	maximal zulässiger Druck ^b	MPa ^a
PS, p_s	maximal zulässiger Druck ^b	bar ^a
PT, p_t	Prüfdruck ^b	MPa
R_m	Mindest-Zugfestigkeit	MPa
$R_{p0,2}$	kleinste 0,2-%-Dehngrenze	MPa
$R_{p0,2/T}$	kleinste 0,2-%-Dehngrenze bei Temperatur T in Grad Celsius	MPa
R_z	Parameter der Oberflächenrauheit: Abstand zwischen höchstem und tiefstem Punkt	µm
R_M	Festigkeitsparameter des Werkstoffs	MPa
$RM3$	mittlere Zugfestigkeit von drei Probekörpern für den Zugversuch	MPa
S	Sicherheitsfaktor	
$TS_{\text{max}}, TS_{\text{min}}$	höchste/niedrigste zulässige Temperatur	°C
V	Volumen	L
ΔP	Druckbereich	MPa ^a

Symbol	Größe	Einheit
ΔP_i	Amplitude der Drucklastwechsel	
$\Delta \sigma$	zulässiger Spannungsbereich	MPa
$\Delta \sigma^*$	pseudoelastischer Spannungsbereich	MPa
$\Delta \sigma_{\text{Cut}}$	Abschaltgrenze	MPa
$\Delta \sigma_D$	Haltbarkeitsgrenze	MPa
$\Delta \sigma_{\text{eq, struc}}$	baulicher Spannungsbereich	MPa
$\Delta \sigma_R$	Spannungsbereich der Ermüdungs-Auslegungskurve	MPa
δ	Grenzabweichungen des Gusstücks	mm
ε	zusätzliche Wanddicke durch den Gießprozess	mm
γ_R	partieller Sicherheitsfaktor	
η	Spannungsfaktor	
ν	Poissonzahl	
σ_e	Nenn-Auslegungsspannung bei äußerer Druckbeanspruchung	MPa
^a Für Berechnungszwecke dürfen ausschließlich MPa angewendet werden, sonst muss als Einheit bar verwendet werden (1 MPa = 10 bar). ^b Siehe auch EN 13445-3:2014, Tabelle 4-1.		

3.3 Wechselwirkung der festgelegten Dicken (EN 13445-6:2014)



Legende

e erforderliche Wanddicke

e_a Analysendicke

e_{min} Mindest-Wanddicke einschließlich Korrosionszuschlag, wie in der Zeichnung angegeben

e_{act} tatsächliche Wanddicke

c Korrosionszuschlag

ε zusätzliche Wanddicke durch den Gießprozess

δ Grenzabweichungen des Gussstücks

Bild 1 — Wechselwirkung der festgelegten Dicken

4 Werkstoffe, Grenzen und Betriebsbedingungen

4.1 Werkstoffe und Temperaturgrenzen, maximal zulässiger Druck und Energiegehalt

Alle Werkstoffsorten, die innerer oder äußerer Druckbeanspruchung ausgesetzt sind, müssen EN 1561:2011 für Gusseisen mit Lamellengraphit, EN 1563:2018 für Gusseisen mit Kugelgraphit sowie EN 13835:2012 für austenitisches Gusseisen entsprechen. Die Werkstoffsorten und die zugehörigen Grenzen sind Tabelle 2 und Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 2 — Zulässige Werkstoffsorten und Grenzen für (austenitisches) Gusseisen mit Lamellengraphit

Werkstoffnorm	Werkstoffbezeichnung		Auslegungs- temperatur- bereich	Maximal zulässiger Druck	Maximaler Energiegehalt eines einzelnen Gussstücks
	Symbol	Nummer	$TS_{\min}/TS_{\max}$ °C	PS bar	$PS \times V$ bar · L
EN 1561:2011	EN-GJL-200	5.1000	$-10 \leq T \leq 200$	25	65 000
	EN-GJL-250	5.1301			
	EN-GJL-300	5.1302	$-10 \leq T \leq 200$		
	EN-GJL-350	5.1303			
EN 13835:2012	EN-GJLA-XNiCuCr15-6-2	5.1500	$-10 \leq T \leq 200$		

Ein Überschreiten des Wertes $PS \times V$ sowie der Auslegungstemperaturgrenzen nach Tabelle 2 bei einem einzelnen Gussstück ist nur zulässig bei den Werkstoffsorten EN-GJL-300) und EN-GJL-350) sowie bis zu einem Wert von 300 °C und einem geeigneten Wert von $PS \times V$ und wenn alle der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- maximale zulässige Temperatur $TS_{\max} \leq 300$ °C;
- maximal zulässiger Druck gesenkt von 25 bar auf $PS \leq 15$ bar;
- der dokumentierte Spannungskonzentrationsfaktor muss über das gesamte Gussstück ≤ 2 sein;
- spannungsarme Wärmebehandlung wird durchgeführt, wenn die maximale Abkühlrate der Gussmasse 30 °C/h in einem Temperaturbereich von 600 °C bis auf 150 °C überschreitet.

Eine Überprüfung während des Betriebs nach Anhang B der vorliegenden Norm kann in der Betriebsanleitung des Bauteils oder des Druckbehälters erwähnt werden.

Die Anforderungen der Werkstoffsorte EN-GJL-350 in diesem Abschnitt können die Herstellung von Papierzylinder- und Trockenwalzen ermöglichen.

Tabelle 3 — Zulässige Werkstoffsorten und Auslegungsgrenzen für Gusseisen mit Kugelgraphit

Werkstoff-norm	Werkstoffbezeichnung		Auslegungs-temperatur-bereich	Maximal zulässiger Druck	Maximaler Energiegehalt eines einzelnen Gussstücks
	Symbol	Nummer	$TS_{\min} / TS_{\max}$ °C	PS bar	$PS \times V$ bar · L
EN 1563:2018	EN-GJS-400-15	5.3106	$-10 \leq TS \leq 300$	100	100 000
	EN-GJS-450-10	5.3107		64	80 000
	EN-GJS-500-7	5.3200			
	EN-GJS-600-3	5.3201			
	EN-GJS-700-2	5.3300		25	65 000
EN 13835:2012	EN-GJSA-XNiCr20-2	5.3500	$-10 \leq TS \leq 540$	64	80 000
	EN-GJSA-XNiCrNb20-2	5.3502			
	EN-GJSA-XNiSiCr35-5-2	5.3505			
	EN-GJSA-XNiCr30-3	5.3507		25	65 000
	EN-GJSA-XNiSiCr30-5-5	5.3508			
	EN-GJSA-XNiCr35-3	5.3509		64	80 000
ANMERKUNG Die Werkstoffsorten beruhen – unabhängig vom angewendeten Verfahren – auf den mechanischen Eigenschaften von Einzelgussstücken, die gesondert in einer Sandform oder einer Form mit vergleichbarer Temperaturleitfähigkeit gegossen wurden.					

Die geltenden Anforderungen an die Lieferzustände nach EN 1559-1:2011 und EN 1559-3:2011 sind ebenfalls anzuwenden.

4.2 Wechselbeanspruchung

Druckbehälter und Druckbehälterteile aus Gusseisen mit Lamellengraphit und Kugelgraphit können unter Wechselbeanspruchung betrieben werden. Erfordern die Betriebsbedingungen mehr als die in Tabelle 4 angegebene maximale Anzahl vollständiger Druckwechselbeanspruchungen oder mehr als eine entsprechende Anzahl von Lastwechseln n_{eq} mit kleinerer Amplitude, muss eine Beurteilung des Ermüdungsverhaltens nach Gleichung (1) durchgeführt werden.

Tabelle 4 — Anzahl der vollständigen Druckwechselbeanspruchungen bei dynamischer Beanspruchung

Werkstoffsorte	Maximale Anzahl vollständiger Druckwechselbeanspruchungen ohne die erforderliche Beurteilung des Ermüdungsverhaltens nach Gleichung (1) (bei Spannungsfaktor $\eta \leq 3$)
Sorten nach Tabelle 2	8 000
Sorten nach Tabelle 3	50 000

Die Berechnung einer entsprechenden Anzahl vollständiger Druckwechselbeanspruchungen n_{eq} bei einem Betriebsdruck unterhalb des Höchstdrucks muss unter Verwendung von Gleichung (1) durchgeführt werden:

$$n_{eq} = \sum_{j=1}^{j=N} n_j \cdot \left(\frac{\Delta P_i}{P_{max}} \right)^{m_c} \quad (1)$$

dabei ist

- N die Gesamtanzahl der vorgesehenen Arten von Druckwechselbeanspruchungen mit unterschiedlicher Amplitude;
- n_j die Anzahl der Lastwechsel mit der Amplitude ΔP_i ;
- ΔP_i die Amplitude der Druckwechselbeanspruchung;
- P_{max} der maximal zulässige Druck nach EN 13445-3:2014, 3.16;
- m_c der zutreffende Wert nach Tabelle 10 (Gusseisensorten mit Lamellengraphit) bzw. Tabelle 11 (Gusseisensorten mit Kugelgraphit) im Bereich der geeigneten Anzahl von Lastwechseln Wert für $10^3 < N < 106$ oder $106 < N < 108$.

Ein Spannungsfaktor – nach 3.1.11 (Verhältnis zwischen Spitzenspannung und Gesamtspannung nach 3.1.12) – von mehr als 3, bestimmt in einem der in 5.8 angegebenen Konstruktionsverfahren, kann das Ergebnis einer ungeeigneten Konstruktion sein. Durch die Vergrößerung von Radien oder andere geringfügige Änderungen kann eine zulässige Konstruktion erreicht werden. Es ist empfehlenswert, eine Finite-Elemente-Analyse durchzuführen, um mögliche Bereiche mit zu hohen Spannungskonzentrationen zu ermitteln. Diese Bereiche sind möglicherweise auch in Füßen, Stützen, Tragösen usw. zu finden, die die Spannungsverteilung im Druckbehälterteil beeinflussen können.

5 Konstruktionsanforderungen

5.1 Konstruktionsgrundsätze

Die zu berücksichtigenden Lasten müssen EN 13445-3:2014, Abschnitt 5 entsprechen.

Die Werkstoffe, Grenzen und Betriebsbedingungen nach Abschnitt 4 der vorliegenden Norm müssen berücksichtigt werden.

Konstruktionsverfahren müssen der vorliegenden Europäischen Norm und, sofern in deren Abschnitten angegeben, den zutreffenden Abschnitten von EN 13445-6:2014 entsprechen.

Lassen die geometrische Form des Bauteils oder der Lastfall eine Berechnung unter Verwendung der in EN 13445-3:2014 angegebenen Gleichungen nicht zu, muss eine Auslegung nach Analyseverfahren (DBA-Verfahren) oder eine experimentelle Auslegung (DBE-Verfahren) erfolgen.

In Abhängigkeit von der Komplexität des Bauteils, den Lastbedingungen und dem Umfang der zerstörungsfreien Prüfung hat der Konstrukteur die Auswahl zwischen den verfügbaren, nachfolgend aufgeführten Konstruktionsverfahren. Ein Zusammenhang zwischen Sicherheitsfaktor, Prüffaktor und dem Verfahren zur Beurteilung der dynamischen Beanspruchung ist Tabelle 5 zu entnehmen.

5.2 Entwurf und Konstruktionszeichnungen

Die vom Hersteller durchgeführte Gefahrenanalyse, aus der hervorgeht, welche durch den Druck verursachten Gefahren auf den Druckbehälter einwirken, muss dokumentiert werden und detaillierte Angaben enthalten.

Zum Entwurf, einschließlich der angewendeten Konstruktionsverfahren, Funktionsanforderungen und Konstruktionszeichnungen, müssen genaue Angaben vorliegen. Eine Anleitung für die festzulegenden ausführlichen Maßangaben ist in EN 13445-5:2014, Anhang B enthalten. Prozessdiagramme, Unterbaugruppen und andere für die Konzeptgestaltung relevante Daten müssen ebenfalls festgehalten werden.

5.3 Statische Beanspruchung

5.3.1 Allgemeines

Für die Auslegung des Teils für statische Beanspruchung muss Folgendes vom Konstrukteur in Betracht gezogen werden.

5.3.2 Auslegung nach Gleichungen (DBF-Verfahren)

Gleichungen für die Berechnung der verschiedenen Bauteile des Druckbehälterteils sind in EN 13445-3:2014 sowie EN 13445-6:2014 Anhang G angegeben. Dieser Anhang G enthält zusätzliche Gleichungen für nicht genormte Formteile, die bei Gusskonstruktionen häufig verwendet werden. Die Nenn-Auslegungsspannung für andere Bauteilformen als Verschraubungen muss nach Tabelle 5 berechnet werden. Wird experimentelle Auslegung angewendet, muss diese 5.3.4 der vorliegenden Norm entsprechen. Der Hersteller muss im Allgemeinen dem Gussstück-Hersteller gegenüber festlegen, welche Bereiche hinsichtlich Konstruktion und Auslegungslasten kritisch sind. Andere kritische Bereiche können seitens des Gussstück-Herstellers in Bezug auf den Gießprozess angegeben werden und müssen vom Hersteller berücksichtigt werden.

Tabelle 5 — Sicherheitsfaktor und Nenn-Auslegungsspannung

Punkt	Werkstoffsorten nach Tabelle 3	Werkstoffsorten nach Tabelle 2		
		Sorte nach	wie gegossen	spannungs-arm gegläht
Sicherheitsfaktor S	$S = 3,75 + 0,5 \left(\sqrt{\frac{15}{A}} - 1 \right)$	EN 1561:2011	$S = 9$	$S = 7$
		EN 13835:2012	$S = 8^a$	$S = 6$
Nenn-Auslegungs-spannung f	$f = \frac{R_{p0,2} \cdot C_T \cdot C_e}{S}$	$f = \frac{R_m}{S}$		
dabei ist				
C_T in 5.4 definiert;				
C_e in 5.5 definiert;				
R_m der Zugfestigkeitswert bei festgelegter Wanddicke nach Tabelle A.1;				
$R_{p0,2}$ der Wert der 0,2-%-Dehngrenze nach Tabelle A.4				
wobei A_5 die prozentuale Bruchdehnung nach EN 1563:2018 und EN 13835:2012 ist.				
^a Besteht ein mögliches Risiko einer Spannungsrissskorrosion, insbesondere bei austenitischen Sorten bei erhöhten Temperaturen, ist in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen ein spannungsarmes Glühen vorteilhaft, was aber der Vereinbarung zwischen den beteiligten Parteien unterliegt.				

5.3.3 Auslegung nach Analyseverfahren (DBA-Verfahren)

- a) Es ist zu entscheiden, ob nach dem direkten Verfahren (Grenzlast, EN 13445-3:2014, Anhang B) oder der Spannungs kategorisierung (EN 13445-3:2014, Anhang C) vorgegangen wird. Ferner ist zu entscheiden, ob der lineare oder der nichtlineare Ansatz gewählt wird.
- b) Ableitung von Modellen und Auswertung der Berechnungsergebnisse müssen auf der Grundlage der Berechnungswanddicken (e_a) und der Werkstoffeigenschaften bei Betriebstemperatur durchgeführt werden.
- c) Auswertung von Berechnungsergebnissen unter Berücksichtigung der Bewertungsverfahren und -kriterien zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit der tatsächlichen Konstruktion. Diese Konstruktionsprüfungen und die zugehörigen Verfahren sind für die zu berücksichtigende Versagensart charakteristisch. Zu verschiedenen Versagensarten siehe EN 13445-3:2014.

5.3.4 Experimentelle Auslegung (DBE-Verfahren)

Wenn die Auslegung nach Gleichungen nach EN 13445-3:2014 aufgrund der komplexen Form des Bauteils als unzuverlässig gilt, muss zur Bestimmung der Berechnungswanddicke e_a und der Mindest-Wanddicke e_{min} eine hydraulische Berstprüfung nach dem in 5.8.2.4 festgelegten Verfahren durchgeführt werden. Diese Berstprüfung ist auch Teil der technischen Dokumentation.

Bei Behältern, für die $PS \times V < 6\,000 \text{ bar} \times L$ ($600 \text{ MPa} \times L$) gilt, kann alternativ zur Auslegung nach Gleichungen (DBF) oder zur Auslegung nach Analyseverfahren (DBA) ein experimentelles Verfahren angewendet werden.

Bei Behältern, für die $PS \times V \geq 6\,000 \text{ bar} \times L$ ($600 \text{ MPa} \times L$) gilt, kann das experimentelle Verfahren zusätzlich zur detaillierten Konstruktion angewendet werden.

5.4 Temperaturminderungsfaktor

Bei Werkstoffsorten von Grauguss nach EN 1561:2011 und austenitischem Gusseisen mit Lamellengraphit nach EN 13835:2012 sind die mechanischen Eigenschaften innerhalb des Temperaturbereichs von -10°C bis 200°C als konstant anzusehen.

Bei Werkstoffsorten von Gusseisen mit Kugelgraphit nach EN 1563:2018:

$$C_T = 1 \text{ für } T \leq 20^\circ\text{C} \quad (2)$$

$$C_T = 1 - 0,001(T - 20) \text{ für } 20^\circ\text{C} < T \leq 300^\circ\text{C}^1 \quad (3)$$

Bei Werkstoffsorten von austenitischem Gusseisen mit Kugelgraphit nach EN 13835:2012:

$$C_T = 1 \text{ für } T \leq 20^\circ\text{C} \quad (4)$$

$$C_T = 1 - 0,000\,5 (T - 20) \text{ für } 20^\circ\text{C} < T \leq 540^\circ\text{C} \quad (5)$$

1 Siehe Literaturhinweise Ref. [13].

5.5 Waddicken-Minderungsfaktor

Bei Werkstoffsorten von Gusseisen mit Kugelgraphit nach EN 1563:2018 und EN 13835:2012:

$$C_e = 1 \text{ für } e_{\min} \leq 60 \text{ mm} \quad (6)$$

$$C_e = 0,8 \text{ für } 60 \text{ mm} < e_{\min} \leq 200 \text{ mm} \quad (7)$$

ANMERKUNG Der Waddicken-Minderungsfaktor für Gusseisensorten mit Lamellengraphit nach EN 1561:2011 ist bereits in Tabelle A.1 des vorliegenden Dokuments enthalten und erfordert keinen zusätzlichen Korrekturfaktor.

5.6 Auslegung für äußere Druckbeanspruchung

Die Auslegung für äußere Druckbeanspruchung muss nach EN 13445-3:2014, Abschnitt 8 mit den folgenden Änderungen durchgeführt werden:

Die Gleichungen (8.4.2-1), (8.4.2-2), (8.4.3-1), (8.4.3-2) sind zu ersetzen durch:

$$\sigma_e = R_{p0,2/T} \cdot C_e \quad (8)$$

Der Mindest-Sicherheitsfaktor, der für diesen gesamten Abschnitt gilt, wird angegeben durch:

— bei Werkstoffsorten nach Tabelle 2:

$$S = (\text{Sicherheitsfaktor nach Tabelle 5}) + 1 \quad (9)$$

— bei Werkstoffsorten nach Tabelle 3:

$$S = (\text{Sicherheitsfaktor nach Tabelle 5}) + 0,5 \quad (10)$$

5.7 Prüfbedingungen

Der Prüfdruck darf den in Gleichung (15) angegebenen Wert entweder absichtlich oder gelegentlich überschreiten. Die Nenn-Auslegungsspannung bei Prüfbedingungen f_{test} darf die folgenden Werte allerdings nicht überschreiten.

Bei Werkstoffsorten nach Tabelle 2:

$$f_{\text{test}} = \frac{R_m}{2} \quad (11)$$

Bei Werkstoffsorten nach Tabelle 3:

$$f_{\text{test}} = \frac{R_{p0,2/T_{\text{test}}} \cdot C_e}{1,33} \quad (12)$$

5.8 Konstruktionsverfahren

5.8.1 Allgemeines

Konstruktionsverfahren müssen der vorliegenden Norm und, sofern in deren Abschnitten angegeben, den Abschnitten von EN 13445-6:2014 entsprechen.

5.8.2 Statische Beanspruchung

5.8.2.1 Allgemeines

Für die Auslegung des Teils für statische Beanspruchung können die folgenden Optionen vom Konstrukteur in Betracht gezogen werden.

5.8.2.2 Auslegung nach Gleichungen (DBF-Verfahren)

Gleichungen für die Berechnung der verschiedenen Bauteile des Druckbehälterteils sind in EN 13445-3:2014 angegeben.

5.8.2.3 Auslegung nach Analyseverfahren (DBA-Verfahren)

Für Druckbehälter aus Gusseisen gelten die allgemeinen Verfahren und zugehörigen Vorschriften nach EN 13445-6:2014, Anhang E, Auslegung von Gussstücken nach Analyseverfahren, mit den folgenden Änderungen:

- Zusatz zu EN 13445-6:2014, E.2.1 „Konstruktionsüberprüfungen für Beanspruchungen mit normaler Betriebslast“:

Festigkeitsparameter (R_M) und partielle Sicherheitsfaktoren (γ_R) von Werkstoffen müssen Tabelle 6 entsprechen:

Tabelle 6 — R_M und γ_R für Beanspruchungen mit normaler Betriebslast

Werkstoffsorte	R_M	γ_R
Nach Tabelle 2	R_m	$S/1,8^a$
Nach Tabelle 3	$R_{p0,2/T}$	$S/(1,8 \times C_e)^a$
^a S entspricht Tabelle 5.		

- Zusatz zu EN 13445-6:2014, E.2.2 „Konstruktionsüberprüfungen für Beanspruchungen mit Prüflast“:

R_M und γ_R müssen den Tabellen 7 und 8 entsprechen:

Tabelle 7 — R_M und γ_R für Beanspruchungen mit Prüflast für Gusseisen mit Lamellengraphit

Werkstoffsorte	R_M	γ_R
Nach Tabelle 2	R_m	2.0

Tabelle 8 — R_M und γ_R für Beanspruchungen mit Prüflast für Gusseisen mit Kugelgraphit

Werkstoffsorte	R_M	γ_R
Nach Tabelle 3	$R_{p0,2/Ttest}$	$1,33/C_e$

5.8.2.4 Experimentelle Auslegung (DBE-Verfahren)

Die experimentelle Auslegung muss nach EN 13445-6:2014, 5.2.2.1.5 durchgeführt werden, wobei:

- für Werkstoffsorten nach Tabelle 2 der vorliegenden Norm die folgende Gleichung gilt:

$$e_a = e_{act} \cdot \left(\frac{S \cdot PS \cdot RM3}{P_{b,act} \cdot R_m} \right)^{1/2} \quad (13)$$

- für Werkstoffsorten nach Tabelle 3 der vorliegenden Norm die folgende Gleichung I gilt:

$$e_a = e_{act} \cdot \left(\frac{S \cdot PS \cdot R_{m(3)}}{P_{b,act} \cdot R_{p0,2} \cdot C_T \cdot C_e} \right)^{1/n} \quad (14)$$

dabei ist

- $n = 1$ für gekrümmte Flächen (Zylinder, Kugeln) oder Kegel mit Winkeln $\alpha \leq 60^\circ$, verankerte Flächen und beanspruchte Teile, wenn die Biegespannung nachweislich weniger als 2/3 der Gesamtspannung beträgt;
- $n = 2$ für alle andere Flächen, sofern nicht nachgewiesen werden kann, dass die Biegespannung weniger als 2/3 der Gesamtspannung beträgt.

5.8.2.5 Bestimmung von $RM3$ und allgemeine Prüfanforderungen

Zur Bestimmung von $RM3$ müssen drei Zugversuchs-Probekörper nach den Werkstoffnormen EN 1561:2011, EN 1563:2018 oder EN 13835:2012 für jede der erforderlichen Positionen aus demselben Gussstück geprüft werden.

Die Positionen der Probekörper müssen den Festlegungen in den technischen Lieferbedingungen für die Produktform von Werkstoffen für Druckgeräte entsprechen. Zusätzlich zu den Anforderungen an den Werkstoff können Hersteller und Käufer die für die festgelegten Positionen im Gussstück erforderlichen Eigenschaften vereinbaren. Diese Eigenschaften müssen durch Prüfung von bearbeiteten Probekörpern bestimmt werden, die aus dem Gussstück an diesen festgelegten Positionen entnommen wurden. Der Mittelwert der drei Probekörper muss zur Bestimmung des Mittelwerts von $RM3$ verwendet werden.

Probekörper dürfen aus einem identischen Bauteil vor oder aus demselben Bauteil nach der Berstprüfung entnommen werden. Eine Prüfung von Bauteilen mit verringerten Maßen ist unzulässig. Bei der Ermittlung von Werten nach der Berstprüfung können einige Werkstoffsorten geringere Zugfestigkeitseigenschaften aufweisen; diese sollten nur mit Vorsicht und in Ausnahmefällen (einzelnes Bauteil oder sehr großes Bauteil usw.) verwendet werden.

Die Position auf dem Gussstück, aus der die Probe entnommen wird, muss innerhalb eines Bereiches liegen, in dem die Wanddicke des Gussstücks annähernd dessen repräsentativer Wanddicke entspricht. Zur Bestimmung der Größe der zu verwendenden Probekörper muss der Käufer dem Hersteller bei Auftragsbestätigung die maßgebenden Abschnitte mitteilen. Ohne diesbezügliche Angaben des Käufers kann der Hersteller die Größe der zu prüfenden Probekörper entsprechend der zutreffenden Norm wählen.

Kein Probekörper darf einen geringeren Wert aufweisen als den für die zu prüfende Werkstoffsorte in den zutreffenden Werkstoffnormen angegebenen Mindestwert für R_m , unter Berücksichtigung der entsprechenden Wanddicke.

Der vorzuziehende Durchmesser des Probekörpers beträgt 14 mm, allerdings sind bei technischen Gründen sowie bei aus Gussstücken entnommenen Probekörpern abweichende oder gleiche Durchmesser zulässig.

Bei Ungültigkeit einer Prüfung muss eine Wiederholungsprüfung durchgeführt werden. Eine Prüfung ist ungültig bei:

- einer fehlerhaften Montage der Probe oder Fehler beim Betrieb der Prüfmaschine;
- einer unbrauchbaren Probe durch fehlerhaftes Gießen oder fehlerhafte mechanische Bearbeitung;
- einem Bruch der Zugprobe außerhalb der Messlänge;
- einem Gussfehler in der Probe, der nach dem Bruch sichtbar wird.

In allen Fällen muss ein neuer Probekörper aus derselben Probe oder einer identischen, aus demselben Werkstoff zum selben Zeitpunkt gegossenen Probe entnommen werden. Das Ergebnis der Wiederholungsprüfung muss verwendet werden.

5.8.2.6 Bestimmung des hydraulischen Mindest-Berstdrucks und des maximal zulässigen Drucks für statische Beanspruchung

Für die Anwendung dieser Norm gelten die in EN 13445-6:2014, 5.2.2.1.6 angegebenen Verfahren zur Bestimmung des hydraulischen Mindest-Berstdrucks und des maximal zulässigen Drucks für statische Beanspruchung mit folgenden Änderungen:

In den Gleichungen (5-3) und (5-4) ist n wie folgt zu ersetzen:

- bei Werkstoffsorten nach Tabelle 2, $n = 2$ bei allen Krümmungen des Druckbehälterteils;
- bei Werkstoffsorten nach Tabelle 3,
 - $n = 1$ für gekrümmte Flächen (Zylinder, Kugeln) oder Kegel mit Winkeln $\alpha \leq 60^\circ$, verankerte Flächen und beanspruchte Teile, wenn die Biegespannung nachweislich weniger als $2/3$ der Gesamtspannung beträgt;
 - $n = 2$ für alle anderen Flächen.

5.8.3 Dynamische Beanspruchung

5.8.3.1 Allgemeines

Überschreitet die Anzahl der vollständigen Druckwechselbeanspruchungen oder der äquivalenten vollständigen Druckwechselbeanspruchungen nach Gleichung (1) die Anzahl der vollständigen Lastwechsel bei statischer Beanspruchung nach Tabelle 4, ist eine Beurteilung des Ermüdungsverhaltens der gesamten Konstruktion erforderlich. Für die Auslegung des Teils für dynamische Beanspruchung können die folgenden Optionen vom Konstrukteur in Betracht gezogen werden:

- eine vereinfachte Beurteilung des Ermüdungsverhaltens (maximal zulässige Anzahl äquivalenter Druckschwankungen) oder
- eine detaillierte Beurteilung des Ermüdungsverhaltens (maximal zulässige Anzahl äquivalenter Druckschwankungen unter Verwendung detaillierter Spannungsanalysen unter Betriebsbedingungen, die konservativer sind als die vereinfachte Beurteilung).

5.8.3.2 Vereinfachte Beurteilung des Ermüdungsverhaltens (SFA)

Eine vereinfachte Berechnung der Ermüdungsfestigkeit ergibt einen Wert für die maximal zulässige Anzahl äquivalenter Druckschwankungen unter Betriebsbedingungen.

Die Berechnung muss nach EN 13445-6:2014, Anhang D mit den Änderungen der Gleichungen nach Tabelle 9 sowie den Koeffizienten für m_c und C_C nach den Tabellen 10 und 11 erfolgen.

Tabelle 9 — Gleichungen für die vereinfachte Beurteilung des Ermüdungsverhaltens

Gleichung und Definition nach EN 13445-6:2014, Anhang D		Sym-bol	Gleichungen für Werkstoffsorten nach Tabelle 2 der vorliegenden Norm	Gleichungen für Werkstoffsorten nach Tabelle 3 der vorliegenden Norm
D.6.1	Pseudoelastischer Spannungsbereich	$\Delta\sigma^*$	ersetzen EN 13445-6:2014, Anhang D, Gleichung 6.1 durch $\Delta\sigma^* = \frac{\Delta P \cdot \eta \cdot f}{P_{\max}}$	wie EN 13445-6:2014, D.6.1
D.6.2, D.6.3	Korrekturfaktor für die Wanddicke	f_e	$f_e = 1$ für alle Wanddicken	wie EN 13445-6:2014, D.6.2 und D.6.3
D.6.4	Temperaturkorrekturfaktor für ferritische/perlitische Werkstoffe	f_T	Nicht zutreffend	wie EN 13445-6:2014, D.6.4
D.6.4	Temperaturkorrekturfaktor ausschließlich für perlitische Werkstoffe	f_T	$f_T = 1$ bei Auslegungstemperaturbereich ($T^\circ\text{C}$) – $10 \leq T \leq 300$	nicht zutreffend
D.6.5	Temperaturkorrekturfaktor für austenitische Werkstoffe	f_T	bei Auslegungstemperaturbereich begrenzt auf ($T^\circ\text{C}$) – $10 \leq T \leq 350$	wie EN 13445-6:2014, D.6.5
D.6.8	Spannungsbereich, Ermüdungs-Auslegungskurve	$\Delta\sigma_R$	ersetzen von EN 13445-6:2014, D.6.8 durch $\Delta\sigma_R = \frac{C_C \cdot R_m}{N^{\frac{1}{m_c}}}$	ersetzen von EN 13445-6:2014, D.6.8 durch $\Delta\sigma_R = \frac{C_C}{N^{\frac{1}{m_c}}}$
D.6.9	Zulässige Anzahl der Lastwechsel	N	ersetzen von EN 13445-6:2014, D.6.9 durch $N = \left(\frac{C_C \cdot R_m}{\Delta\sigma^*} \right)^{m_c}$	ersetzen von EN 13445-6:2014, D.6.9 durch $N = \left(\frac{C_C}{\Delta\sigma^*} \right)^{m_c}$
D.6.10	Zulässiger Spannungsbereich	$\Delta\sigma$	Kriterium ersetzen durch $\Delta\sigma \leq \Delta\sigma_R$	wie EN 13445-6:2014, Anhang D, Gleichung 6.10

Tabelle 10 — Koeffizienten der Ermüdungs-Auslegungskurven für Gusseisen mit Lamellengraphit nach Tabelle 2 (ANMERKUNG) – Vereinfachte Beurteilung

Werkstoffsorten nach Tabelle 2	Konstanten der Ermüdungs-Auslegungskurve $\Delta_{\sigma R} - N$				Zulässiger Spannungsbereich bei N Lastwechseln MPa	
	$10^3 < N < 10^6$		$10^6 < N < 10^8$		$\Delta_{\sigma D}$ bei $N = 10^6$	$\Delta_{\sigma cut}$ bei $N = 10^8$
	m_C	C_C	m_C	C_C		
wie gegossen	7	1,440	10	0,797	$0,200 \times R_m$	$0,126 \times R_m$
spannungsarm gegläht	7	1,830	10	1,012	$0,254 \times R_m$	$0,160 \times R_m$
ANMERKUNG Zulässige Gusseisensorten mit Lamellengraphit nach EN 1561:2011 und EN 13835:2012 sind Tabelle 2 der vorliegenden Norm zu entnehmen.						

Ein Beispiel einer Ermüdungs-Auslegungskurve für die vereinfachte Beurteilung ist in Anhang C (informativ) angegeben.

Tabelle 11 — Koeffizienten der Ermüdungs-Auslegungskurven für Gusseisen mit Kugelgraphit nach EN 1563:2018 und EN 13835:2012 und Tabelle 3 – Vereinfachte Beurteilung

Werkstoffsorten nach Tabelle 2	Konstanten der Ermüdungs-Auslegungskurve $\Delta_{\sigma R} - N$				Zulässiger Spannungsbereich bei N Lastwechseln MPa	
	$10^3 < N < 2 \times 10^6$		$2 \times 10^6 < N < 10^8$			
	m_C	C_C	m_C	C_C	$\Delta_{\sigma D}$ bei $N = 10^6$	$\Delta_{\sigma cut}$ bei $N = 10^8$
EN-GJS-400-15	7,5	900	10	555	130	88
EN-GJS-450-10		983		606	142	96
EN-GJS-500-7		1 059		653	153	103
EN-GJS-600-3		1 218		750	176	119
EN-GJS-700-2		1 370		845	198	134
EN-GJSA-XNiCr20-2	8,6	573		452	106	72
EN-GJSA-XNiCrNb20-2						
EN-GJSA-XNiSiCr35-5-2						
EN-GJSA-XNiCr30-3						
EN-GJSA-XNiCr35-3						
EN-GJSA-XNiSiCr30-5-5		637		504	118	80

5.8.3.3 Detaillierte Beurteilung des Ermüdungsverhaltens (DFA-Verfahren)

Eine detaillierte Berechnung der Ermüdungsfestigkeit ergibt einen Wert für die maximal zulässige Anzahl der äquivalenten Druckschwankungen unter Verwendung detaillierter Spannungsanalysen unter Betriebsbedingungen.

Die Bewertung muss nach EN 13445-6:2014, Anhang D mit den Änderungen der Gleichungen nach Tabellen 13 und 14 sowie der Koeffizienten für m_C und C_C , wie in den Tabellen 12, 13 und 14 angegeben, durchgeführt werden.

Tabelle 12 — Gleichungen für die vereinfachte Beurteilung des Ermüdungsverhaltens

Gleichungen in EN 13445-6:2014, Anhang D	Punkt	Symbol	Gleichungen für Werkstoffsorten nach Tabelle 2	Gleichungen für Werkstoffsorten nach Tabelle 3
D.7.1	pseudo-elastischer Spannungsbereich	$\Delta\sigma^*$	wie EN 13445-6:2014, D.7.1	
D.7.2	effektiver Spannungskonzentrationsfaktor	K_{eff}	wie EN 13445-6:2014, D.7.2	
D.7.2.2	Temperaturkorrekturfaktor für ferritische/perlitische Werkstoffe	f_t	wie EN 13445-6:2014, D.6.4	
	Temperaturkorrekturfaktor für perlitische Werkstoffe	f_t	$f_t = 1$ bei Auslegungstemperaturbereich – $10 \leq TS \leq 300$	
	Temperaturkorrekturfaktor für austenitische Werkstoffe	f_t	$f_t = 1$ bei Auslegungstemperaturbereich – $10 \leq TS \leq 350$	wie EN 13445-6:2014, D.6.5
D.7.3	theoretischer elastischer Spannungskonzentrationsfaktor	K_t	wie EN 13445-6:2014, D.7.3	
D.7.4, D.7.5	Korrekturfaktor für die Wanddicke	f_e	$f_e = 1$ für alle Wanddicken	wie EN 13445-6:2014, D.7.4 und D.7.5
D.7.6	Korrekturfaktor für die Oberflächenbeschaffenheit	f_s	$f_s = F_s^{(0,105 \ln N) - 0,465}$ $f_s = 1$ wenn $N > 10^6$	wie EN 13445-6:2014, D.7.6 und D.7.7
D.7.7		F_s	$F_s = 1 - 0,06 \cdot \log(R_Z) \cdot \log\left(\frac{R_m}{50}\right)$	
D.7.8	Korrekturfaktor für mittlere	M	$M = 0,5$	wie EN 13445-6:2014, D.7.8