

DIN EN ISO 19884



ICS 23.020.30; 71.100.20

Einsprüche bis 2018-04-23

Entwurf**Gasförmiger Wasserstoff –
Flaschen und Großflaschen zur ortsfesten Lagerung (ISO/DIS 19884:2018);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 19884:2018**

Gaseous hydrogen –
Cylinders and tubes for stationary storage (ISO/DIS 19884:2018);
German and English version prEN ISO 19884:2018

Hydrogène gazeux –
Bouteilles et tubes pour stockage stationnaire (ISO/DIS 19884:2018);
Version allemande et anglaise prEN ISO 19884:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-02-23 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 ndg@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 Druckgasanlagen (NDG), 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 153 Seiten

DIN-Normenausschuss Druckgasanlagen (NDG)
DIN-Normenausschuss Gastechnik (NAGas)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 19884:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 197 „Hydrogen technologies“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 23 „Ortsbewegliche Gasflaschen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 016-00-03 AA „Druckgasflaschen und Ausrüstung; Spiegelausschuss zu CEN/TC 23 und ISO/TC 58“ im DIN-Normenausschuss Druckgasanlagen (NDG).

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.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 306	siehe DIN EN ISO 306
ISO 527-2	siehe DIN EN ISO 527-2
ISO 1519	siehe DIN EN ISO 1519
ISO 2808	siehe DIN EN ISO 2808
ISO 2812-1	siehe DIN EN ISO 2812-1
ISO 4624	siehe DIN EN ISO 4624
ISO 6272-2	siehe DIN EN ISO 6272-2
ISO 6506-1	siehe DIN EN ISO 6506-1
ISO 7225	siehe DIN EN ISO 7225
ISO 7866	siehe DIN EN ISO 7866
ISO 9227	siehe DIN EN ISO 9227
ISO 9809-1	siehe DIN EN ISO 9809-1
ISO 9809-3	siehe DIN EN ISO 9809-3
ISO 11114-1	siehe DIN EN ISO 11114-1
ISO 11114-2	siehe DIN EN ISO 11114-2
ISO 11114-4	siehe DIN EN ISO 11114-4
ISO 11120	siehe DIN EN ISO 11120
ISO 11357-2	siehe DIN EN ISO 11357-2
ISO 11507	siehe DIN EN ISO 11507
ISO 11623	siehe DIN EN ISO 11623
ISO 14130	siehe DIN EN ISO 14130
ISO	siehe DIN EN ISO
ISO	siehe DIN EN ISO
ISO	siehe DIN EN ISO

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 306, *Kunststoffe — Thermoplaste - Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur*

DIN EN ISO 527-2, *Kunststoffe — Bestimmung der Zugeigenschaften — Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen*

DIN EN ISO 1519, *Beschichtungsstoffe — Dornbiegeversuch (zylindrischer Dorn)*

DIN EN ISO 2808, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung der Schichtdicke*

DIN EN ISO 2812-1, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung der Beständigkeit gegen Flüssigkeiten — Teil 1: Eintauchen in Flüssigkeiten außer Wasser*

DIN EN ISO 4624, *Beschichtungsstoffe — Abreißversuch zur Bestimmung der Haftfestigkeit*

DIN EN ISO 6272-2, *Beschichtungsstoffe — Prüfung der Widerstandsfähigkeit bei schlagartiger Verformung (Schlagfestigkeit) — Teil 2: Prüfung durch fallendes Gewichtsstück, kleine Prüffläche*

DIN EN ISO 6506-1, *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Brinell — Teil 1: Prüfverfahren*

DIN EN ISO 7225, *Gasflaschen — Gefahrgutaufkleber*

DIN EN ISO 7866, *Gasflaschen — Wiederbefüllbare nahtlose Gasflaschen aus Aluminiumlegierungen — Auslegung, Bau und Prüfung*

DIN EN ISO 9227, *Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären — Salzsprühnebelprüfungen*

DIN EN ISO 9809-1, *Gasflaschen — Wiederbefüllbare nahtlose Gasflaschen aus Stahl — Gestaltung, Konstruktion und Prüfung — Teil 1: Flaschen aus vergütetem Stahl mit einer Zugfestigkeit kleiner als 1 100 MPa*

DIN EN ISO 9809-3, *Gasflaschen — Wiederbefüllbare nahtlose Gasflaschen aus Stahl — Gestaltung, Konstruktion und Prüfung — Teil 3: Flaschen aus normalisiertem Stahl*

DIN EN ISO 11114-1, *Gasflaschen — Verträglichkeit von Werkstoffen für Gasflaschen und Ventile mit den in Berührung kommenden Gasen — Teil 1: Metallische Werkstoffe*

DIN EN ISO 11114-2, *Gasflaschen — Verträglichkeit von Flaschen- und Ventilwerkstoffen mit den in Berührung kommenden Gasen — Teil 2: Nichtmetallische Werkstoffe*

DIN EN ISO 11114-4, *Ortsbewegliche Gasflaschen — Verträglichkeit von Werkstoffen für Gasflaschen und Ventile mit den in Berührung kommenden Gasen — Teil 4: Prüfverfahren zur Auswahl von Stählen, die gegen Wasserstoffversprödung unempfindlich sind*

DIN EN ISO 11120, *Gasflaschen — Wiederbefüllbare nahtlose Großflaschen aus Stahl mit einem Fassungsraum zwischen 150 l und 3 000 l — Auslegung, Bau und Prüfung*

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

DIN EN ISO 11439, *Gasflaschen — Hochdruck-Flaschen für die fahrzeuginterne Speicherung von Erdgas als Treibstoff für Kraftfahrzeuge*

DIN EN ISO 11507, *Beschichtungsstoffe — Beanspruchung von Beschichtungen durch künstliche Bewitterung — Beanspruchung durch fluoreszierende UV-Strahlung und Wasser*

DIN EN ISO 11623, *Gasflaschen — Verbundbauweise (Composite-Bauweise) — Wiederkehrende Inspektion und Prüfung*

DIN EN ISO 14130, *Faserverstärkte Kunststoffe — Bestimmung der scheinbaren interlaminaren Scherfestigkeit nach dem Dreipunktverfahren mit kurzem Balken*

Gasförmiger Wasserstoff — Flaschen und Großflaschen zur ortsfesten Lagerung (ISO/DIS 19884:2018)

Hydrogène gazeux — Bouteilles et tubes pour stockage stationnaire (ISO/DIS 19884:2018)

Gaseous hydrogen — Cylinders and tubes for stationary storage (ISO/DIS 19884:2018)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe und Symbole	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Symbole	13
4 Festgelegte Betriebsbedingungen	13
4.1 Höchstzulässiger Betriebsdruck	13
4.2 Maximal zulässiger Energiegehalt	13
4.3 Zulässige Höchst- und Mindesttemperatur	13
4.4 Druckzyklus-Lebensdauer	14
4.5 Flache Druckzyklus-Lebensdauer	14
4.6 Wirksame Druckzyklus-Anzahl und maximale Anzahl von Druckzyklen, die im Betrieb zulässig ist	14
4.6.1 Allgemeines	14
4.6.2 Druckintensitätsfaktor	14
4.6.3 Goodman-Diagramme	14
4.7 Betriebs-Lebensdauer	14
5 Zusätzliche Betriebsbedingungen	15
5.1 Umgebungsbedingungen	15
5.2 Brandbedingungen	15
6 Aufzuzeichnende Angaben	15
6.1 Allgemeines	15
6.2 Betriebserklärung	15
6.3 Auslegungszeichnungen und -angaben	16
6.4 Spannungsanalysebericht	17
6.5 Daten zu Werkstoffeigenschaften	17
6.6 Herstellungsdaten	17
6.7 Aufbewahrung der Aufzeichnungen	17
7 Werkstoffeigenschaften	18
7.1 Verträglichkeit	18
7.2 Stahl	18
7.3 Nichtrostende Stähle	18
7.4 Aluminiumlegierungen	18
7.5 Faserwerkstoff	18
7.6 Harze	18
7.7 Werkstoff für Kunststoff-Liner	18
8 Allgemeine Anforderungen an die Auslegung	19
8.1 Anforderungen an neue Auslegungen	19
8.1.1 Allgemeine Betrachtungen	19
8.1.2 Bauart und Ausführungsqualität	22

8.1.3	Qualifizierung neuer Auslegungen	24
8.1.4	Produktions- und Losprüfungen.....	34
8.1.5	Kennzeichnungen.....	38
8.1.6	Vorbereitung für den Versand.....	40
8.2	Anforderungen an vorhandene Auslegungen	40
Anhang A (normativ) Prüfverfahren und Annahmekriterien.....		41
Anhang B (normativ) Anforderungen an vorhandene Auslegungen.....		54
Anhang C (informativ) Verifizierung der Spannungsverhältnisse mittels Verwendung von Dehnungsmessstreifen.....		59
Anhang D (informativ) Fehlergröße für die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) mittels Lastwechselbeanspruchung gekerbter Druckbehälter.....		60
Anhang E (informativ) Herstelleranweisungen für die Handhabung, Verwendung und Inspektion von Druckbehältern.....		61
Anhang F (informativ) Beurteilung der Ermüdungslebensdauer unter Verwendung von Goodman-Diagrammen		64
Anhang G (informativ) Freigestellter Bonfire-Test		69
Anhang H (informativ) Angaben zum Sicherheitsfaktor		74
Literaturhinweise.....		77

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 19884:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 197 „Hydrogen technologies“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 23 „Ortsbewegliche Gasflaschen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 19884:2018 wurde von CEN als prEN ISO 19884:2018 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet.

In jedem Fall müssen nationale Vorschriften, sofern sie anwendbar sind, gegenüber der Norm den Vorrang haben.

Die Hauptaufgabe der Technischen Komitees besteht in dem Erarbeiten von Internationalen Normen. Die von den Technischen Komitees angenommenen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedsorganisationen zur Umfrage zur Verfügung gestellt. Für eine Veröffentlichung als Internationale Norm wird eine Zustimmung von mindestens 75 % der Mitgliedsländer, die abgestimmt haben, benötigt.

ISO 19884 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 197, *Hydrogen technologies*, erarbeitet.

Einleitung

Da sich der Gebrauch von gasförmigem Wasserstoff aus der chemischen Industrie hin zu verschiedenen neu entstehenden Anwendungen entwickelt, wie z. B. Brennstoff für Brennstoffzellen und Verbrennungsmotoren, und zu weiteren Spezialanwendungen von Wasserstoff, sind neue Anforderungen und Verwendungen für nahtlose und Composite-Druckbehälter absehbar, einschließlich einer höheren Anzahl von Druckzyklen und des Einsatzes von ortsbeweglichen Behältern zur ortsfesten Lagerung.

In dieser Norm sind Anforderungen an Druckbehälter für die ortsfeste Lagerung von verdichtetem gasförmigem Wasserstoff aufgeführt, die hauptsächlich dafür vorgesehen sind, das Sicherheitsniveau dieser Anwendung aufrecht zu erhalten oder zu verbessern.

Es wird angemerkt, dass nach ISO 19884 qualifizierte Behälter auch Vorschriften der Länder einhalten müssen, in denen sie eingebaut werden, wie z. B. die Europäische Richtlinie über Druckgeräte (DGRL) sowie Bauvorschriften, die ASME in Bezug nehmen. Ein Ziel von ISO 19884 besteht darin, dass qualifizierte Behälter für die Behörden in den Ländern, in denen sie eingebaut sind, annehmbar sind.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt die Anforderungen an die Auslegung, Herstellung und Prüfung von einzelnen oder (bei einigen speziellen Prüfungen wie z. B. dem Bonfire-Test) mehreren Flaschen, Großflaschen und sonstigen Druckbehältern, die aus Stahl, nichtrostendem Stahl, Aluminiumlegierungen oder nicht-metallischen Baustoffen gefertigt sind, fest. Diese sind für die ortsfeste Lagerung von gasförmigem Wasserstoff bis zu einem maximalen Fassungsraum von 10 000 l und für einen höchstzulässigen Betriebsdruck von nicht mehr als 110 MPa vorgesehen, sind von einer nahtlosen metallischen Bauart (Typ 1) oder Composite-Bauart (Typ 2, Typ 3 und Typ 4), und werden nachfolgend als Druckbehälter bezeichnet. Behälter vom Typ 2 und Typ 3 mit geschweißten Linern sind ausgenommen.

Bei einer bereits vorhandenen Auslegung, die für andere Anwendungen qualifiziert ist (z. B. ortsbewegliche Anwendungen), werden die Anforderungen von Anhang B befolgt.

Diese Internationale Norm ist nicht als Spezifikation für Druckbehälter vorgesehen, die für Anwendungen zur Lagerung von festem Wasserstoff, flüssigem Wasserstoff oder hybridem kryogenen/Hochdruck-Wasserstoff verwendet werden.

Diese Internationale Norm schließt keine äußeren Rohrleitungen ein, die nach einer anerkannten Norm (z. B. ISO 15649) ausgelegt werden können.

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).

ANSI/CSA CHMC 1-2014, Test methods for evaluating material compatibility in compressed hydrogen applications — Metals

ASME Boiler and Pressure Vessel Code,

ASTM D3170 / D3170M-14, Standard Test Method for Chipping Resistance of Coatings

ASTM E647, Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates

CSA PRD 1-2013, *Pressure relief devices for natural gas vehicle (NGV) fuel containers*

EN 12245, *Ortsbewegliche Gasflaschen — Vollumwickelte Flaschen aus Verbundwerkstoffen*

ISO 306, *Plastics — Thermoplastic materials — Determination of Vicat softening temperature (VST)*

ISO 527-2, *Plastics — Determination of tensile properties — Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics*

ISO 1519, *Paints and varnishes — Bend test (cylindrical mandrel)*

ISO 2808, *Paints and varnishes — Determination of film thickness*

ISO 2812-1 *Paints and varnishes — Determination of resistance to liquids — Part 1: Immersion in liquids other than water*

ISO 4624, *Paints and varnishes — Pull-off test for adhesion*

ISO 6272-2, *Paints and varnishes — Rapid-deformation (impact resistance) tests — Part 2: Falling-weight test, small-area indenter*

ISO 6506-1, *Metallic materials — Brinell hardness test — Part 1: Test method*

ISO 7225, *Gas cylinders — Precautionary labels*

ISO 7866, *Gas cylinders — Refillable seamless aluminium alloy gas cylinders — Design, construction and testing*

ISO 9227, *Corrosion tests in artificial atmospheres — Salt spray tests*

ISO 9809-1, *Gas cylinders — Refillable seamless steel gas cylinders — Design, construction and testing — Part 1: Quenched and tempered steel cylinders with tensile strength less than 1 100 MPa*

ISO 9809-3, *Gas cylinders — Refillable seamless steel gas cylinders — Design, construction and testing — Part 3: Normalized steel cylinders*

ISO 9809-4, *Gas cylinders — Refillable seamless steel gas cylinders — Design, construction and testing — Part 4: Stainless steel cylinders with an R_m value of less than 1 100 MPa*

ISO 11114-1 *Gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents — Part 1: Metallic materials*

ISO 11114-2, *Gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents — Part 2: Non-metallic materials*

ISO 11114-4, *Transportable gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents — Part 4: Test methods for selecting metallic materials resistant to hydrogen embrittlement*

ISO 11119-1, *Gas cylinders — Refillable composite gas cylinders and tubes — Design, construction and testing — Part 1: Hoop wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l*

ISO 11119-2, *Gas cylinders — Refillable composite gas cylinders and tubes — Design, construction and testing — Part 2: Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l with load-sharing metal liners*

ISO 11120, *Gas cylinders — Refillable seamless steel tubes for compressed gas transport, of water capacity between 150 l and 3 000 l — Design construction and testing*

ISO 11357-2, *Plastics — Differential scanning calorimetry (DSC) — Part 2: Determination of glass transition temperature*

ISO 11439, *Gas cylinders — High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles*

ISO 11507, *Paints and varnishes — Exposure of coatings to artificial weathering — Exposure to fluorescent UV lamps and water*

ISO 11623, *Transportable gas cylinders — Periodic inspection and testing of composite gas cylinders*

ISO 12108, *Metallic materials — Fatigue testing — Fatigue crack growth method*

ISO 14130, *Fibre-reinforced plastic composites — Determination of apparent interlaminar shear strength by short-beam method*

ISO 15500-13, *Road vehicles — Compressed natural gas (CNG) fuel system components — Part 13: Pressure relief device (PRD)*

EN 13322-2, *Ortsbewegliche Gasflaschen — Wiederbefüllbare geschweißte Flaschen aus Stahl — Gestaltung und Konstruktion — Teil 2: Flaschen aus nichtrostendem Stahl*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

3.1.1

Autofrettage

Druckanwendungsverfahren, das den metallischen Liner ausreichend über seine Streckgrenze hinaus belastet, um eine bleibende plastische Verformung zu verursachen, und das im drucklosen Zustand der Flasche beim Liner zu Druckspannungen sowie bei den Fasern zu Zugspannungen führt

3.1.2

Autofrettagedruck

Druck innerhalb des umwickelten Composite-Druckbehälters, bei dem sich die geforderte Verteilung der Spannungen zwischen dem Liner und der Composite-Umwicklung einstellt

3.1.3

Los von Druckbehältern/Linern

Gruppe von hergestellten fertigen Druckbehältern/Linern, die hinsichtlich der Herstellungsqualität Annahme-/Zurückweisungskriterien auf der Grundlage der Ergebnisse festgelegter Prüfungen unterliegen, die an einer festgelegten Anzahl von Einheiten aus dieser Gruppe durchgeführt werden

3.1.4

Stutzen

kuppelförmiges metallisches Bauteil, das an einem Ende oder an den beiden Enden eines nichtmetallischen Liners befestigt ist mit einem Hals, der eine Öffnung bietet und/oder einem äußeren Element zur mechanischen Unterstützung

3.1.5

Berstdruck

höchster Druck, der während einer Berstprüfung in einer Flasche erreicht wird

3.1.6

Composite-Umwicklung

Kombination von Fasern (einschließlich Stahldraht) und Matrix

3.1.7

Wicklung mit geregelter Zugspannung

Vorgang, der bei der Herstellung von Composite-Druckbehältern mit metallischen Linern angewendet wird, durch den im drucklosen Zustand Druckspannungen im Liner und Zugspannungen in der Composite-Umwicklung erreicht werden, indem die Verstärkungsfasern mit geregelter Zugspannung gewickelt werden

3.1.8

Zyklus-Amplitude

Verhältnis des Druckanstiegs zum Höchstdruck in einem Druckzyklus, angegeben in %

3.1.9

Auslegungsänderung

Änderung bei der Auswahl von Konstruktionswerkstoffen oder maßliche Änderungen, die über die Grenzabweichungen in den Konstruktionszeichnungen hinausgehen

3.1.10

Außenbeschichtung

Werkstoffschichten, die auf die Flasche aufgetragen werden (z. B. zum Schutz)

ANMERKUNG Die Beschichtung darf mit Klarlack oder pigmentiertem Lack erfolgen.

3.1.11

fertige Druckbehälter

Druckbehälter, die betriebsbereit und für die übliche Produktion typisch sowie vollständig mit Kennzeichnungen und der Außenbeschichtung versehen sind, einschließlich der vom Hersteller festgelegten integrierten Isolierung, jedoch ohne nicht integrierte Isolierung oder Schutz

ANMERKUNG Im Rahmen dieser Norm ist eine Großflasche oder eine Flasche ein fertiger Druckbehälter.

3.1.12

vollständiger Zyklus

Zyklus der Druckamplitude zwischen mindestens dem Wert des höchstzulässigen Betriebsdrucks (MAWP) (siehe 3.1.19) und höchstens 10 % des MAWP

3.1.13

vollumwickelter Composite-Druckbehälter

Druckbehälter mit einer Composite-Umwicklung, der sowohl die Umfangs- als auch die Längsspannung aufnimmt

3.1.14

Undichtigkeit

Freisetzung von Wasserstoff durch einen Riss, eine Pore oder eine ähnliche Fehlstelle

ANMERKUNG Die Permeation durch die Wand eines Druckbehälters vom Typ 4, die geringer ist als die in A.14 beschriebenen Raten, wird nicht als Undichtigkeit betrachtet.

3.1.15

Liner

innerer Teil der Composite-Flasche, bestehend aus einem metallischen oder nichtmetallischen Behälter mit der Funktion, sowohl das Gas aufzunehmen als auch den Gasdruck auf die Fasern zu übertragen

3.1.16

lasttragender Liner

Liner, der einen Berstdruck von mindestens 5 % des Mindestberstdrucks der fertigen Composite-Flasche hat

3.1.17

Matrix

zum Verbinden verwendeter und die Fasern in Position haltender Werkstoff

3.1.18

zulässige Höchsttemperatur

Höchsttemperatur eines beliebigen Teils des Druckbehälters, für die dieser ausgelegt ist (oder bei der seine Verwendung vorgesehen ist, wenn Anhang B eingehalten wird)

ANMERKUNG Für die Instandhaltung können andere Grenzwerte gelten.

3.1.19

höchstzulässiger Betriebsdruck (MAWP)

(en: maximum allowable working pressure)

Höchstdruck, für den das Bauteil ausgelegt ist und der die Grundlage für die Bestimmung der Festigkeit des betrachteten Bauteils bildet (auch als Auslegungsdruck bekannt)

3.1.20

maximaler Energiegehalt

Produkt aus dem Fassungsraum des Druckbehälters in Liter und dem höchstzulässigen Betriebsdruck (MAWP) in MPa

3.1.21

zulässige Mindesttemperatur

Mindesttemperatur eines beliebigen Teils des Druckbehälters, für die dieser ausgelegt ist (oder bei der seine Verwendung vorgesehen ist, wenn Anhang B eingehalten wird)

3.1.22

Betreiber

juristische Person, die rechtlich für den Gebrauch und die Instandhaltung des Behälters verantwortlich ist

3.1.23

druckaktivierte Druckentlastungseinrichtung (PRD)

(en: pressure-activated pressure relief device)

Einrichtung, die so konstruiert ist, dass sie im Notfall oder bei außergewöhnlichen Bedingungen Druck freisetzt, um einen Druckanstieg über einen festgelegten Wert hinaus zu verhindern

ANMERKUNG Druckaktivierte PRD dürfen entweder wieder schließende Einrichtungen (wie z. B. Ventile) oder nicht wieder schließende Einrichtungen (wie z. B. Berstscheiben) sein.

3.1.24

Druckzyklus

Druckschwankung, die aus einer Periode mit gleichförmigem Druckanstieg bis zum Spitzendruck, gefolgt von einer Periode mit gleichförmigem Druckabfall besteht

3.1.25

Druckzyklus-Lebensdauer

maximale Anzahl von Druckzyklen im Wasserstoff-Einsatz, der der Druckbehälter auslegungsgemäß im Betrieb standhalten muss

3.1.26

Vorspannen

Verfahren der Anwendung der Autofrettage oder der Wicklung mit geregelter Zugspannung

3.1.27

Betriebslebensdauer

maximale Dauer (angegeben in Jahren), für die der Druckbehälter auslegungsgemäß eingesetzt werden darf (auf der Grundlage der Ermüdungslebensdauer und Spannungsbrucheigenschaften von Composite-Flaschen)

Anmerkung Die Betriebslebensdauer hängt gewöhnlich vom Druckzyklus oder anderen Betriebsbedingungen und Anforderungen von anwendbaren Normen ab. Bei Composite-Flaschen ist die Lebensdauer in Jahren eine Anforderung, mit der die Zuverlässigkeit unter Spannungsbruchbedingungen behandelt wird, die auch eine grundlegende Basis für die geforderten Spannungsverhältnisse ist.

3.1.28

flacher Druckzyklus

Druckzyklus vom höchstzulässigen Betriebsdruck (MAWP) bis mindestens 70 % des MAWP

3.1.29

flache Druckzyklus-Lebensdauer

maximale Anzahl von flachen Druckzyklen, der der Druckbehälter auslegungsgemäß im Wasserstoff-Einsatz standhalten muss

3.1.30

ortsfeste Lagerung

Lagerung unter Druckbeaufschlagung an einem festen Standort zu einem festgelegten Zweck, ohne Transport während der Druckbeaufschlagung

3.1.31

ortsfester Prüfdruck (TP)

(en: stationary test pressure)

geforderter Druck, mit dem der im ortsfesten Einsatz verwendete Druckbehälter während einer Druckprüfung beaufschlagt wird

ANMERKUNG Wenn Anhang B angewendet wird, sollte das nicht mit dem Prüfdruck P_h verwechselt werden, der z. B. in der Reihe ISO 9809 zu Auslegungszwecken für ortsbewegliche Gasflaschen verwendet wird.

3.1.32

Spannungsverhältnis

Spannung in den Fasern bei dem festgelegten Mindestberstdruck, geteilt durch die Spannung beim höchstzulässigen Betriebsdruck (MAWP)

3.1.33

Prüfdruck

geforderter Druck, der während einer Druckprüfung aufgebracht wird

3.1.34

thermisch aktivierte Druckentlastungseinrichtung

Einrichtung, die aufgrund einer Temperatur eine Druckfreisetzung auslöst und verhindert, dass ein Druckbehälter aufgrund von Brandwirkungen birst, und die unabhängig vom Behälterdruck auslöst

3.1.35

thermoplastische Werkstoffe

Kunststoffe, die durch eine Temperaturerhöhung wiederholt erweicht und durch eine Temperaturabsenkung wiederholt verfestigt werden können

3.1.36

duroplastische Werkstoffe

Kunststoffe, die bei Härtung durch Anwendung von Wärme oder mit chemischen Mitteln dauerhaft zu einem im Wesentlichen unschmelzbaren und unlöslichen Produkt verhärten

3.1.37

Druckbehälter vom Typ 1

gänzlich aus Metall bestehender zylindrischer Druckbehälter

3.1.38

Druckbehälter vom Typ 2

umfangsumwickelter zylindrischer Druckbehälter mit einem lasttragenden Liner aus Metall und einer Composite-Verstärkung nur am zylindrischen Teil

3.1.39

Druckbehälter vom Typ 3

vollumwickelter zylindrischer Druckbehälter mit einem lasttragenden Liner aus Metall und einer Composite-Verstärkung sowohl am zylindrischen Teil als auch an den Wölbungsenden

3.1.40

Druckbehälter vom Typ 4

vollumwickelter zylindrischer Druckbehälter mit einem nicht lasttragenden Liner und einer Composite-Verstärkung sowohl am zylindrischen Teil als auch an den Wölbungsenden

3.1.41

nicht lasttragender Liner

Liner, der einen Berstdruck von weniger als 5 % des Nennberstdrucks der fertigen Composite-Flasche hat

3.1.42

Betriebsdruck

sich in einer vollen Gasflasche einstellender Druck bei einer einheitlichen Temperatur von 15 °C (ISO 11439)

ANMERKUNG Dieser Begriff wird gewöhnlich für ortsbewegliche Gasflaschen verwendet, siehe Anhang B.

3.2 Symbole

ΔP_i	Druckschwankung während eines angegebenen tatsächlichen Druckzyklus (in bar)
$\Delta P_{\max}$	Druckschwankung während der in der Bezugsnorm festgelegten Druckprüfung (in bar)
F	Beanspruchungsfaktor (Verhältnis der gleichwertigen Wandspannung beim Prüfdruck P_h zur Sicherstellung der Mindeststreckgrenze)
Fa	Wasserstoff-Beschleunigungsfaktor (siehe B.2.2.6)
MAWP	höchstzulässiger Betriebsdruck (en: maximum allowable working pressure)
n_{eq}	Anzahl der Zyklen, die vollständigen Zyklen entsprechen (in einer angegebenen Norm garantiert)
n_i	Anzahl der Druckzyklen, die ΔP_i entsprechen
P_h	Prüfdruck (in bar)
P_w	Betriebsdruck (in bar)

4 Festgelegte Betriebsbedingungen

4.1 Höchstzulässiger Betriebsdruck

Der höchstzulässige Betriebsdruck muss vom Druckbehälter-Hersteller festgelegt werden und darf nicht kleiner als 15 MPa und nicht größer als 110 MPa sein.

4.2 Maximal zulässiger Energiegehalt

Der maximal zulässige Energiegehalt eines einzelnen Druckbehälters darf 300 000 MPa × l nicht überschreiten.

4.3 Zulässige Höchst- und Mindesttemperatur

Die zulässige Höchsttemperatur und die zulässige Mindesttemperatur sind vom Hersteller des Druckbehälters festzulegen und auf dem Typenschild zu vermerken.

Der festgelegte Wert für die zulässige Höchsttemperatur darf nicht kleiner als 50 °C und nicht größer als 85 °C sein.

Der festgelegte Wert für die zulässige Mindesttemperatur darf nicht größer als –25 °C und nicht kleiner als –50 °C sein.

Der Hersteller darf eine eindeutige Höchsttemperatur festlegen, die bei der Instandhaltung (z. B. beim Anstreichen) nicht überschritten werden darf.

4.4 Druckzyklus-Lebensdauer

Die Druckzyklus-Lebensdauer für den Wasserstoff-Einsatz muss vom Druckbehälter-Hersteller festgelegt werden.

Der Eigentümer/Betreiber darf sich dafür entscheiden, die Anzahl der zulässigen Zyklen weiter einzuschränken.

Die Druckzyklus-Lebensdauer kann nach dem in A.7 beschriebenen Verfahren oder nach den Anforderungen berechnet werden, die in 8.1.3.5 angegeben sind.

4.5 Flache Druckzyklus-Lebensdauer

Wahlweise darf eine flache Druckzyklus-Lebensdauer vom Druckbehälter-Hersteller oder vom Nutzer festgelegt werden. In diesem Fall muss die flache Druckzyklus-Lebensdauer mindestens der dreifachen Druckzyklus-Lebensdauer entsprechen.

Die flache Druckzyklus Lebensdauer ist nach 4.6.2, 4.6.3, 8.1.3.5 zu berechnen oder nach dem in A.7 beschriebenen Verfahren experimentell zu bestimmen.

4.6 Wirksame Druckzyklus-Anzahl und maximale Anzahl von Druckzyklen, die im Betrieb zulässig ist

4.6.1 Allgemeines

Eines der folgenden Verfahren ist zur Bestimmung der Druckzyklus-Lebensdauer der Gasflasche anzuwenden.

4.6.2 Druckintensitätsfaktor

Der Grenzwert der Zyklus-Lebensdauer ist erreicht, wenn die wirksame Druckzyklus-Anzahl, bei der es sich um die Druckzyklus-Anzahl handelt, die unter Anwendung eines Druckintensitätsfaktors berechnet wurde, die festgelegte Zyklus-Lebensdauer erreicht.

Für alle Arten von Behältern kann die Anzahl der Zyklen, die vollständigen Zyklen entsprechen (garantiert in einer angegebenen Norm) nach der in Anhang B angegebenen Gleichung berechnet werden.

4.6.3 Goodman-Diagramme

Die Zyklus-Lebensdauer darf durch Anwendung eines Goodman-Diagramms und der Minerschen Regel ermittelt werden. Das Goodman-Diagramm muss auf einer Ermüdungsprüfung von ähnlichen Werkstoffen und Bauarten wie denen des zu qualifizierenden Behälters beruhen. Ein Beispiel für diesen Ansatz ist in Anhang F angegeben.

4.7 Betriebs-Lebensdauer

Die Betriebs-Lebensdauer muss vom Druckbehälter-Hersteller festgelegt werden.

Bei Auslegungen vom Typ 2, Typ 3 und Typ 4, die Aramid- oder Glasfasern enthalten, darf die festgelegte Betriebs-Lebensdauer 30 Jahre nicht überschreiten.

Die Dauer des Einsatzes ist auch durch die festgelegte Druckzyklus-Lebensdauer begrenzt. Der Betreiber ist für die Überwachung der Zyklen, mit denen die Druckbehälter beaufschlagt werden, und für ihre Außerbetriebnahme verantwortlich, wenn ihre festgelegte Lebensdauer erreicht wurde.

Der Eigentümer muss Aufzeichnungen über die Gesamtanzahl der Druckzyklen führen, denen der Druckbehälter während seiner Lebensdauer ausgesetzt war.

ANMERKUNG Beispielsweise muss ein Druckbehälter, für den 150 000 Zyklen festgelegt wurden und der jede Stunde einem Druckzyklus ausgesetzt war, nach 17 Jahren außer Betrieb genommen werden.

5 Zusätzliche Betriebsbedingungen

5.1 Umgebungsbedingungen

Der Hersteller muss die Umgebungsbedingungen, für die der Druckbehälter ausgelegt ist, festlegen, und auch jegliche Schutzvorkehrungen, die am Ort der Verwendung vorzusehen sind, wie z. B. äußerer Schutz vor extremer Sonnenstrahlung.

Es sind Vorkehrungen gegen das Herunterfallen oder gegen Schlag zu treffen (insbesondere während des Einbaus). Wenn es zum Herunterfallen oder zu einer Schlageinwirkung kommt, muss eine Überprüfung durchgeführt werden.

Diese Angaben sind in die Betriebserklärung aufzunehmen, die vom Hersteller wie nach 6.2 gefordert bereitgestellt wird.

Für das Eintauchen in Fluide, eine zusätzliche Beschichtung, Schutzschicht oder Mittel, die die Gasflaschen isolieren oder die Rückhaltung von Fluiden jeder Art verursachen, ist die schriftliche Zustimmung des Herstellers erforderlich.

5.2 Brandbedingungen

Der Eigentümer/Betreiber muss das Ergebnis einer Risikoanalyse bewerten, um nachzuweisen, dass die allgemeine Sicherheit im Brandfall aufrechterhalten wird.

Zum Schutz können mehrere Lösungen angewendet werden (z. B. Löschleinrichtungen, flammhemmende Mittel, Druckentlastungseinrichtungen (PRD), Brandschutzanstriche usw.).

Wenn Vorschriften oder eine Risikoanalyse den Einbau einer Druckentlastungseinrichtung fordern, siehe die in Anhang G angegebene empfohlene Auslegung und die Prüfverfahren zur Information.

6 Aufzuzeichnende Angaben

6.1 Allgemeines

Der Hersteller des Druckbehälters muss die hierin festgelegten Angaben aufbewahren. Diese Angaben müssen für die vorgesehene Lebensdauer des Druckbehälters aufbewahrt werden.

6.2 Betriebserklärung

Der Hersteller des Druckbehälters muss für den Nutzer eine Betriebserklärung bereitstellen. Diese Betriebserklärung muss Folgendes enthalten:

- a) den Namen und die Anschrift des Druckbehälterherstellers;
- b) die festgelegten Betriebsbedingungen nach Abschnitt 4 und Abschnitt 5, einschließlich einer Warnung, dass Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die Überschreitung festgelegter Beschränkungen, wie z. B. von Temperaturgrenzwerten und der Zyklus-Lebensdauer, zu verhindern;
- c) eine Erklärung, dass die Auslegung des Druckbehälters für die Anwendung bei den in Abschnitt 4 und Abschnitt 5 vorgesehenen Betriebsbedingungen geeignet ist;

- d) eine Beschreibung der Auslegung des Druckbehälters, einschließlich Durchmesser (mm), Länge (mm), Innenvolumen (l), Leermasse (kg) und Geometrie des Anschlusses;
- e) sofern anwendbar eine Spezifikation der geforderten Druckentlastungsleistung, um bei Brandbeanspruchung ein gewaltsames Bersten zu verhindern, wie in 5.2 festgelegt;
- f) eine Spezifikation bezüglich der Unterstützungsverfahren, des äußeren Schutzes, Schutzbeschichtungen und aller sonstigen Punkte, die gefordert, jedoch nicht mit dem Druckbehälter bereitgestellt werden;
- g) eine Erklärung, dass die Anzahl der Betriebszyklen ermittelt werden muss und dass die tatsächliche Anzahl der Zyklen zu überwachen ist;
- h) alle sonstigen Angaben und Anweisungen, die notwendig sind, um die sichere Verwendung und Überprüfung des Druckbehälters sicherzustellen, einschließlich der nachfolgend festgelegten Angaben, sofern maßgebend:
 - für Auslegungen vom Typ 2, Typ 3 und Typ 4, bei denen der Schutz vor der Beanspruchung mit UV-Emissionen erforderlich ist, muss in den Anweisungen gefordert werden, dass dieser Schutz durch den Einbau bereitgestellt wird;
 - für Auslegungen vom Typ 4 muss der Hersteller:
 - den Mindestrestdruck (MRP) bei Normalbetrieb festlegen. Der festgelegte MRP darf 15 % des MAWP nicht überschreiten;
 - die maximale Druckentlastungsrate bei Normalbetrieb festlegen, die niedriger als 20 MPa/min sein muss;
 - ein Verfahren zur vollständigen Druckentlastung vom MRP bereitstellen, ohne Zusammenbruch des Liners.

ANMERKUNG In Anhang E sind weitere typische Angaben zu den Anweisungen des Herstellers für die Handhabung, den Gebrauch und die Überprüfung von Druckbehältern enthalten.

6.3 Auslegungszeichnungen und -angaben

Alle Zeichnungen der Druckbehälter und die zugehörigen technischen Daten müssen vom Druckbehälterhersteller aufbewahrt werden und die folgenden Angaben enthalten:

- a) Titel, Bezugsnummer, Ausgabedatum und Revisionsnummern mit Ausgabedaten, sofern anwendbar;
- b) den MAWP;
- c) den Temperaturbereich für den Betriebsablauf;
- d) die festgelegten Betriebsbedingungen, zusätzlich zum MAWP, wie in Abschnitt 4 und Abschnitt 5 festgelegt;
- e) vollständige Abmessungen mit Grenزابweichungen, einschließlich Einzelheiten zu Endverschluss-Formen mit Mindestdicke und Öffnungen;
- f) Masse, vollständig mit Grenزابweichung;
- g) Werkstoffspezifikationen, vollständig mit den Mindestanforderungen an die mechanischen und chemischen Eigenschaften sowie Bereichen der Grenزابweichungen und, für Druckbehälter aus Metall, Metall-Liner und Stutzen, der festgelegte Härtebereich und die höchstzulässige Fehlergröße;

- h) Bereich und Dauer des Autofrettagedrucks;
- i) Prüfdruck wie vom Hersteller durchgeführt;

ANMERKUNG In anwendbaren Vorschriften kann ein anderer Wert gefordert werden.

- j) Einzelheiten zur äußeren Schutzbeschichtung.

6.4 Spannungsanalysebericht

Der Hersteller muss wie in 8.1.1.1 gefordert einen Spannungsanalysebericht erstellen, einschließlich einer Tabelle, in der die ermittelten Spannungen zusammengefasst werden. Der Hersteller muss diesen Bericht aufbewahren.

6.5 Daten zu Werkstoffeigenschaften

Der Hersteller muss die folgenden Angaben wie jeweils zutreffend aufbewahren und den Aufsichtsbehörden oder Prüfern auf Anfrage zur Verfügung stellen:

- a) detaillierte Beschreibung der bei der Auslegung verwendeten Werkstoffe und Grenzabweichungen der Werkstoffeigenschaften, einschließlich Prüfdaten, die die mechanischen Eigenschaften und die Eignung der Werkstoffe für den Einsatz unter den in Abschnitt 4 und Abschnitt 5 festgelegten Bedingungen beschreiben;
- b) veröffentlichte Spezifikationen für Verbundwerkstoffe sowie die Empfehlungen des Werkstoffherstellers für Lagerungsbedingungen und Lagerbeständigkeit;
- c) die Bescheinigung des Faserherstellers, dass jede Lieferung den Spezifikationen des Herstellers für das Produkt entspricht.

6.6 Herstellungsdaten

Einzelheiten zu allen Fertigungsprozessen, Grenzabweichungen, zerstörungsfreien Prüfungen, Chargenprüfungen und Produktionsprüfungen sind festzulegen und vom Hersteller aufzubewahren.

Der Hersteller muss den Mindestberstdruck für die Auslegung festlegen. Auf keinen Fall darf der festgelegte Mindestberstdruck kleiner sein als der in dieser Internationalen Norm in Bezug zum MAWP festgelegte Mindestberstdruck.

Die Oberflächenausführung, Einzelheiten der Gewinde, die Annahmekriterien für die zerstörungsfreie Prüfung sowie Losgrößen für Chargenprüfungen sind ebenfalls vom Hersteller festzulegen und aufzubewahren.

Die in 8.1.2.5, 8.1.2.6 und 8.1.2.7 festgelegten Herstellungsdaten sind zusammen mit den Ergebnissen von zerstörungsfreien Prüfungen, Chargenprüfungen und Produktionsprüfungen vom Hersteller aufzubewahren.

6.7 Aufbewahrung der Aufzeichnungen

Die in 6.5, 6.6 und 8.1.4.1 festgelegten Auslegungs- und Herstellungsdaten sind vom Hersteller für eine Dauer von mindestens der Betriebs-Lebensdauer des Druckbehälters zuzüglich fünf Jahren ab dem Herstellungsdatum aufzubewahren.

7 Werkstoffeigenschaften

7.1 Verträglichkeit

Die Auslegung darf keine unverträglichen Werkstoffe, die miteinander in Berührung kommen, enthalten. Alle Werkstoffe, die mit Wasserstoff in Berührung kommen, müssen für die Verwendung mit Wasserstoff nach den Kriterien von ISO 11114-1, ISO 11114-2 und ISO 11114-4 wie jeweils zutreffend geeignet sein.

ANMERKUNG Eine Anleitung zur Wasserstoffverträglichkeit kann den in den Literaturhinweisen aufgeführten Dokumenten entnommen werden.

7.2 Stahl

Stähle für Druckbehälter, nahtlose Liner und Stutzen müssen entweder den Werkstoffanforderungen von ISO 9809-1 für Druckbehälter bis zu einem Fassungsraum von 450 l und von ISO 11120 für Druckbehälter mit einem Fassungsraum von mehr als 450 l sowie von ISO 11114-1 entsprechen oder nach ISO 11114-4 für Wasserstoff geeignet sein.

7.3 Nichtrostende Stähle

Nichtrostende Stähle für Druckbehälter, Liner und Stutzen müssen entweder den besonderen Werkstoffanforderungen von ISO 9809-4 für den Wasserstoffeinsatz und von ISO 11114-1 entsprechen, oder nach ISO 11114-4 für die Verwendung mit Wasserstoff geeignet sein.

7.4 Aluminiumlegierungen

Aluminiumlegierungen für Druckbehälter, Liner und Stutzen müssen den Werkstoffanforderungen von ISO 7866 entsprechen.

Aluminiumlegierungen, die nicht von den Werkstoffanforderungen von ISO 7866 abgedeckt werden, dürfen nur für Stutzen unter der Voraussetzung verwendet werden, dass sie für die Verwendung mit Wasserstoff nach den Kriterien von ISO 11114-1 und ISO 11114-4 geeignet sind.

7.5 Faserwerkstoff

Strukturverstärkende Faserwerkstoffarten müssen Kohlenstofffasern, Aramidfasern oder Glasfasern oder eine Mischung aus diesen sein.

7.6 Harze

Werkstoffe zur Imprägnierung dürfen duroplastische oder thermoplastische Harze sein. Beispiele für geeignete Matrixwerkstoffe sind Epoxidharz, modifiziertes Epoxidharz, Polyester und duroplastische Vinylesterkunststoffe sowie Polyethylen und thermoplastischer Polyamidkunststoff.

Die Glasübergangstemperatur des Harz-Werkstoffs muss nach ISO 11357-2 ermittelt werden. Die Glasübergangstemperatur muss mindestens 15 °C über der zulässigen Höchsttemperatur liegen.

7.7 Werkstoff für Kunststoff-Liner

Der für Kunststoff-Liner verwendete Polymerwerkstoff muss mit den in Abschnitt 4 und Abschnitt 5 festgelegten Betriebsbedingungen verträglich sein.

Für die thermoplastischen Werkstoffe muss die Vicat-Erweichungstemperatur nach ISO 306 mindestens 90 °C und ihre Schmelztemperatur mindestens 100 °C betragen.

8 Allgemeine Anforderungen an die Auslegung

8.1 Anforderungen an neue Auslegungen

8.1.1 Allgemeine Betrachtungen

8.1.1.1 Spannungsanalyse

Für alle Auslegungen muss eine Spannungsanalyse unter Anwendung einer Finite-Elemente-Analyse oder eines ähnlichen validierten numerischen Verfahrens durchgeführt werden, die geometrische und Werkstoff-Nichtlinearitäten einschließt, wie für die Festlegung der Mindestauslegungswanddicke erforderlich, und die bestätigt, dass die in 8.1.1.2.1 festgelegten geforderten Spannungsverhältnisse eingehalten werden. Die Spannungsanalyse muss die Bestimmung der Spannungen in den Linern und Fasern von Composite-Auslegungen einschließen.

Alternativ können für Typ 1 die in der Normenreihe ISO 9809 oder ISO 11120 beschriebenen Verfahren angewendet werden. Für Auslegungen vom Typ 2 und Typ 3 müssen die Spannungen im Verbundwerkstoff und im Liner nach dem Vorspannen bei einem Manometerdruck von Null, beim MAWP, beim Prüfdruck und beim Auslegungsberstdruck berechnet werden. Bei den Berechnungen muss das nichtlineare Werkstoffverhalten des Liners zur Feststellung der Spannungsverteilungen berücksichtigt werden. Die Berechnungen müssen in die Richtung der Fasern bei umfangs- und schraubenförmig gewickelten Schichten umgewandelt werden.

Für Typ 2 und Typ 3 müssen die Grenzwerte, innerhalb derer der Autofrettagedruck abfallen darf, berechnet und festgelegt werden.

Bei Auslegungen vom Typ 4 müssen die Spannungen im Verbundwerkstoff in der tangentialen und in der Längsrichtung des Druckbehälters berechnet werden. Die bei diesen Berechnungen angewendeten Drücke müssen der Manometerdruck von Null, der MAWP, der Prüfdruck und der Auslegungsberstdruck sein. Die Berechnungen müssen die Spannungsverteilung über den Druckbehälter feststellen. Die Berechnungen müssen in die Richtung der Fasern bei umfangs- und schraubenförmig gewickelten Schichten umgewandelt werden.

Spannungsberechnungen müssen Folgendes umfassen:

- a) ein Analyseverfahren, das für nichtlineare Werkstoffe tauglich ist, wie z.B. ein spezielles Computerprogramm für diesen Zweck oder ein Finite-Elemente-Analyseprogramm;
- b) eine geeignete Modellierung der elastisch-plastischen Spannungs-Dehnungs-Kurve für den Linerwerkstoff;
- c) eine geeignete Modellierung der mechanischen Eigenschaften der Verbundwerkstoffe;
- d) Berechnungen beim Autofrettagedruck, beim Manometerdruck von Null nach der Autofrettage, beim MAWP und beim Mindestberstdruck;
- e) Vorspannungen von der Wicklungs-Zugspannung;
- f) im Falle einer hybriden Composite-Umwicklung die Lastverteilung zwischen den verschiedenen Fasern auf der Grundlage der verschiedenen Elastizitätsmoduln der Fasern.

8.1.1.2 Berstdruck und Faserspannungsverhältnis

8.1.1.2.1 Druckbehälter

Der tatsächliche Mindestberstdruck des Druckbehälters darf nicht kleiner als die in Tabelle 1 angegebenen Werte sein. Dieser Druck ist an einer Einheit je Fertigungslos zu verifizieren. Die Prüfung muss nach dem in A.6 beschriebenen Verfahren durchgeführt werden.

Bei Auslegungen vom Typ 2, Typ 3 und Typ 4 muss das Spannungsverhältnis in der Composite-Umwicklung auch die Anforderungen an das Mindestspannungsverhältnis nach Tabelle 1 erfüllen. Verfahren zur Verifizierung von Spannungsverhältnissen sind in Anhang C enthalten.

Bei einer Hybridbauweise müssen die anwendbaren Anforderungen an das Spannungsverhältnis auf eine der folgenden Weisen erfüllt werden:

- a) Wenn die Lastverteilung zwischen den verschiedenen Faserverstärkungswerkstoffen als grundlegender Teil der Auslegung angesehen wird, muss jede Faser die angegebenen Anforderungen an das Spannungsverhältnis erfüllen.
- b) Wenn die Lastverteilung zwischen den Fasern nicht als grundlegender Teil der Auslegung angesehen wird, muss eine der Verstärkungsfasern in der Lage sein, die Anforderungen an das Spannungsverhältnis selbst dann zu erfüllen, wenn alle anderen Faserverstärkungswerkstoffe entfernt werden.

Tabelle 1 — Mindestspannungsverhältnisse und -berstdrücke

Bauart	Mindestspannungsverhältnis ^a			Tatsächlicher Mindestberstdruck ^b			
	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Ganzmetall	—	—	—	2	—	—	—
Glasfaser	2,65	3,5	3,5	—	2,4	3,4	3,5
Aramidfaser	2,25	3,0	3,0	—	2,25	2,9	3,0
Kohlenstofffaser	2,25	2,25	2,25	—	2,25	2,25	2,25
^a Faserspannung beim Mindestberstdruck dividiert durch die Faserspannung beim MAWP.							
^b Berstdrücke werden als Faktor des MAWP angegeben.							

8.1.1.2.2 Liner-Berstdruck eines Behälters vom Typ 2

Bei Auslegungen vom Typ 2 muss der unverstärkte Metallliner einen Mindestberstdruck aufweisen, der dem 1,125fachen des MAWP entspricht, siehe auch Anhang B.

8.1.1.3 Prüfdruck

Für alle Auslegungen muss der Hersteller den Prüfdruck festlegen. Der festgelegte Prüfdruck muss mindestens dem 1,25fachen MAWP entsprechen, siehe auch Anhang B.

Die Durchführung der Prüfung sollte nach A.18 erfolgen.

ANMERKUNG In einigen Vorschriften werden höhere Prüfdrücke gefordert.

8.1.1.4 Maximale Fehlergröße bei metallischen Werkstoffen

Der Hersteller muss die maximal zulässige Fehlergröße in drucktragenden metallischen Werkstoffen (Druckbehälter, Liner oder Stutzen) festlegen. Das Verfahren zur Erkennung der maximal zulässigen Fehlertiefe ist festzulegen (z. B. Normenreihe ISO 9809) und die Fehlertiefe darf nicht mehr als 5 % der Wanddicke betragen.

Jederzeit darf die Wanddicke nicht kleiner sein als die Mindestauslegungsdicke.

Fehler, die größer sind als die festgelegte maximale Größe, müssen mittels einer zerstörungsfreien Prüfung erkennbar sein.

8.1.1.5 Schutz von Liner und Stutzen vor Korrosion

Als allgemeine Anforderung muss der Behälter so ausgelegt sein, dass die Bauteile vor Korrosion aufgrund der Umgebung, in der sie anzuordnen sind, geschützt sind.

Insbesondere muss die Auslegung, wenn eine Kohlenstofffaserverstärkung verwendet wird, Mittel zur Verhinderung galvanischer Korrosion von metallischen Bauteilen des Druckbehälters beinhalten (z. B. eine entsprechende isolierende Beschichtung, innere Glasfaserlage usw.).

Eine innere Glasfaserwicklung und Harzschicht dürfen bei metallischen Linern verwendet werden. Eine Lage aus Glasfasergewebe oder Harz darf zwischen einem metallischen Endstutzen und dem Laminat verwendet werden.

Liner aus Stahl müssen vor der Umwicklung für alle Arten von Fasern vor Korrosion geschützt werden.

8.1.1.6 Beständigkeit gegen UV-Emissionen

Werkstoffe an der Außenseite des Druckbehälters einschließlich des Anstrichs oder einer Polymerbeschichtung, sofern angewendet, oder der Verbundwerkstoff, falls keine Beschichtung aufgebracht ist, müssen gegenüber UV-Emissionen beständig sein. Die Werkstoffe müssen für 1 000 Stunden einer Beanspruchung durch UVA-Strahlung nach ISO 11507 unterzogen werden. Der Glanzverlust muss weniger als 20 % betragen.

8.1.1.7 Feuchtebeständigkeit

Eine Faser-/Harzverstärkung muss gegenüber Feuchte beständig sein, was mittels einer Kurzsegment-scherprüfung zu messen ist, so dass ihre Unversehrtheit über ihre Lebensdauer aufrechterhalten bleibt. Harzsystem-Werkstoffe müssen nach ISO 14130 an einer Stichproben-Prüfplatte geprüft werden, die für die Composite-Umwicklung repräsentativ ist. Nachdem der Verbundwerkstoff 24 Stunden lang in Wasser gekocht wurde, muss seine Scherfestigkeit mindestens 13,8 MPa betragen.

8.1.1.8 Schutzschicht

Eine freigestellte äußere Laminatschicht darf zum Schutz der strukturellen Laminatschicht vor Beschädigungen aufgrund von Schlag, Ultraviolettstrahlung oder sonstigen Umgebungsbeanspruchungen, Brand oder abrasiven Bedingungen vorgesehen werden.

Diese Schicht darf nicht bei der Berechnung der Spannungsniveaus im Behälter berücksichtigt werden und darf nicht auf den für die Qualifikationsprüfung verwendeten Behälter aufgebracht werden.

8.1.2 Bauart und Ausführungsqualität

8.1.2.1 Linerwerkstoffe

Auslegungen vom Typ 1 und Liner vom Typ 2 müssen nahtlos ausgeführt sein unter Verwendung von Kohlenstoffstahl, nichtrostendem Stahl oder Aluminiumlegierungen, die mit den Werkstoffanforderungen in 7.2, 7.3 oder 7.4 wie jeweils anwendbar übereinstimmen.

Liner vom Typ 3 müssen aus Aluminiumlegierungen, Kohlenstoffstahl oder nichtrostenden Stählen aufgebaut und nahtlos sein. Sie müssen mit den Werkstoffanforderungen in 7.2, 7.3 oder 7.4 wie jeweils anwendbar übereinstimmen.

Bei Linern vom Typ 3, die Kaltform- oder Kryoformprozessen unterzogen werden, ist keine Wärmebehandlung der Vorformkomponente erforderlich. Liner, die kaltumgeformt oder kryoumgeformt wurden, dürfen anschließend keiner Wärmebehandlung oder einer zusätzlichen Wärmeanwendung unterzogen werden, wie z. B. Schweißen oder einer Härtung des Verbundwerkstoffs bei einer möglicherweise erhöhten Temperatur, da dies die Eigenschaften des Liners verschlechtert.

Liner vom Typ 4 müssen mit den Werkstoffanforderungen in 7.7 übereinstimmen und dürfen eine nahtlose Konstruktion oder Schweißkonstruktion sein.

8.1.2.2 Öffnungen, Halsgewinde, Ring am oberen Ende, Ring am unteren Ende, Halterung

Druckbehälter dürfen ausschließlich mit einer oder zwei Öffnungen entlang der Mittelachse des Zylinders konstruiert werden.

Öffnungen mit konischen oder zylindrischen Gewinden dürfen verwendet werden. Gewinde müssen glatt geschnitten, gleichmäßig, ohne Oberflächenfehler und lehrenhaltig sein sowie Internationalen Normen entsprechen.

Sind ein Ring am oberen oder unteren Ende oder Halterungen vorgesehen, so müssen sie aus einem Werkstoff bestehen, der mit dem des Druckbehälters verträglich ist, und fest angebracht sein, jedoch nicht durch Schweißen, Hart- oder Weichlöten.

8.1.2.3 Formen

Die unteren Enden von Stahl-Druckbehältern vom Typ 1 und von Stahllinern vom Typ 2 sind durch Warmformen herzustellen, entweder durch Schmieden, Drückverfahren oder Tiefziehblech-Techniken.

Die unteren Enden von Stahl-Druckbehältern, die durch Warmdrückwalzen verschlossen wurden, müssen mittels einer zerstörungsfreien Prüfung oder mittels Verfahren nach ISO 9809-1 oder gleichwertiger Verfahren überprüft werden, und sind zur Bestätigung, dass keine Undichtigkeit vorhanden ist, einer Prüfung zu unterziehen.

Ein Warmdrückwalzprozess wie z. B. Schmelzschweißen darf nicht zum vollständigen Schließen und Abdichten der Enden von Aluminium-Druckbehältern und -Linern angewendet werden.

Zum Schließen der Enden dürfen keine zusätzlichen Metalle verwendet werden. Herstellungsfehler dürfen nicht durch das Hinzufügen von Material korrigiert werden.

Böden von Flaschen, die mittels Warmdrückwalzen oder mit einem anderen Verschlussverfahren verschlossen wurden, müssen einer Dichtheitsprüfung unterzogen werden.

Der Hersteller muss Herstellungsverfahren und Prüfungen anwenden, die zur Zufriedenheit des Prüfers nachweisen, dass die Flaschen nicht undicht sind. Für eine Anleitung, siehe ISO 9809-1 für Stahl liner, ISO 9809-4 für Liner aus nichtrostendem Stahl und ISO 7866 für Liner aus Aluminiumlegierungen.

Vor dem endgültigen Zusammenbau muss jeder Druckbehälter bezüglich der Wanddicke und auf sichtbare Oberflächenfehler untersucht werden. Für eine Anleitung, siehe ISO 9809-1 für Stahlliner, ISO 9809-4 für Liner aus nichtrostendem Stahl und ISO 7866 für Liner aus Aluminiumlegierungen.

Nach dem Formen der Enden sind die Druckbehälter einer Wärmebehandlung zu unterziehen, bei der sie auf eine Härte in dem für die Ausführung angegebenen Bereich gebracht werden. Eine örtliche Wärmebehandlung ist nicht zulässig. Für eine Anleitung, siehe ISO 9809-1 für Stahlliner, ISO 9809-4 für Liner aus nichtrostendem Stahl und ISO 7866 für Liner aus Aluminiumlegierungen.

8.1.2.4 Faserwicklung

Druckbehälter vom Typ 2, Typ 3 und Typ 4 müssen aus einem mit Endlosfaserwicklungen umwickelten Liner hergestellt werden. Die Faserwicklungsvorgänge müssen durch einen Computer oder mechanisch geregelt werden. Die Wicklung der Fasern muss unter geregelter Zugspannung erfolgen.

Während der Wicklung müssen die maßgeblichen Größen überwacht werden, um nachzuweisen, dass sie innerhalb der festgelegten Grenzwerte bleiben. Die Ergebnisse müssen in einem Wicklungsprotokoll dokumentiert werden, dass vom Hersteller des Druckbehälters für die vorgesehene Lebensdauer jeder Druckbehältercharge aufzubewahren ist. Bei diesen Größen kann es sich um die folgenden Größen handeln, weitere Größen sind denkbar:

- a) Faserart einschließlich Bemessung;
- b) Imprägnierungsverfahren;
- c) Wickelzugspannung;
- d) Wickelgeschwindigkeit;
- e) Anzahl der Garne;
- f) Bandbreite;
- g) Art und Zusammensetzung des Harzes;
- h) Temperatur des Harzes;
- i) Temperatur des Liners und
- j) Wickelwinkel.

8.1.2.5 Aushärten duroplastischer Harze

Sofern ein duroplastisches Harz verwendet wird, muss das Harz nach der vollständigen Wicklung der Faser ausgehärtet werden. Duroplastische Harze müssen in einem vorher festgelegten und kontrollierten Zeit-Temperatur-Verlauf durch Erwärmen ausgehärtet werden.

Während des Aushärtens muss der Aushärtezyklus (d. h. der Zeit-Temperatur-Verlauf) dokumentiert und vom Hersteller des Druckbehälters für die vorgesehene Lebensdauer jeder Druckbehältercharge aufbewahrt werden.

Die maximale Aushärtezeit und Temperatur dürfen für Druckbehälter mit Linern aus Aluminiumlegierungen die Eigenschaften des Metalls, des Harzes und der Faser nicht nachteilig beeinflussen.

8.1.2.6 Autofrettage

Sofern Autofrettage angewendet wird, muss diese vor der in 8.1.4.1 g) festgelegten hydraulischen Prüfung durchgeführt werden. Der Autofrettage-Druck muss innerhalb der in 8.1.1.1 festgeschriebenen Grenzen liegen. Der Druckbehälterhersteller muss das Verfahren zur Verifizierung, dass der geeignete Druck aufgebracht wird, festschreiben.

Der Hersteller muss die Wirksamkeit der Autofrettage durch (ein) entsprechende(s) Messverfahren, wie z. B. eine Volumenexpansionsprüfung, überwachen.

Aufzeichnungen über den Autofrettagedruck müssen vom Hersteller des Druckbehälters für die vorgesehene Lebensdauer jeder Druckbehältercharge aufbewahrt werden.

8.1.2.7 Äußerer Schutz gegen Umgebungseinflüsse

Äußerer Schutz darf durch Folgendes bereitgestellt werden:

- a) durch eine Oberflächenausführung, durch die ein angemessener Schutz erreicht wird (z. B. auf Aluminium aufgesprühte Metallbeschichtung, Eloxierung);
- b) durch Verwendung eines geeigneten Faser- und Matrixwerkstoffs (z. B. Kohlenstofffaser in Harz) oder
- c) durch eine Schutzbeschichtung (z. B. organische Beschichtung, Lack).

Sämtliche auf Druckbehälter aufgebrachte Beschichtungen müssen so ausgelegt werden, dass weder die Beschichtung noch das Aufbringungsverfahren die mechanischen Eigenschaften des Druckbehälters nachteilig beeinflusst. Der Hersteller muss eine Anleitung zur Behandlung der Beschichtung während einer Inspektion während des Betriebs bereitstellen, um die Unversehrtheit des Druckbehälters weiterhin sicherzustellen (z. B. Entfernung von Beschichtungen, sofern dies für die Durchführung des Inspektionsverfahrens erforderlich ist).

8.1.3 Qualifizierung neuer Auslegungen

8.1.3.1 Allgemeines

Für den Druckbehälter muss nachgewiesen werden, dass der Werkstoff, die Auslegung, der Herstellungsprozess und die Prüfung für den vorgesehenen Betrieb geeignet sind, indem die Anforderungen der Werkstoffprüfungen und Baumusterprüfungen nach 8.1.3.2 und 8.1.3.3 eingehalten werden.

Für Auslegungen von Druckbehältern, die nach einer anderen Norm qualifiziert wurden, ist die Wiederholung der Prüfungen in diesem Abschnitt nicht erforderlich, sie müssen jedoch Prüfungen unterzogen werden, die bei ihrer vorherigen Qualifizierung nicht enthalten waren. Siehe Anhang B für besondere Anforderungen.

Für jede neue Auslegung müssen Werkstoffprüfungen und Baumusterprüfungen an fertigen Druckbehältern, die für die übliche Produktion repräsentativ und vollständig einschließlich der Kennzeichnungen sind, durchgeführt werden. Sofern mehr Druckbehälter oder Liner den Prüfungen unterzogen werden als gefordert, müssen sämtliche Ergebnisse dokumentiert werden. Alle Druckbehälter, die Baumusterprüfungen unterzogen wurden, müssen nach den Prüfungen unbrauchbar gemacht werden.

Der Druckbehälterhersteller muss die Ergebnisse der Baumusterprüfung für die vorgesehene Betriebs-Lebensdauer der Druckbehälterauslegung aufbewahren. Die Prüfdaten müssen auch die Abmessungen, die Wanddicke und die Massen jedes geprüften Druckbehälters dokumentieren.

8.1.3.2 Werkstoffprüfungen

Sofern in Anhang A nichts anderes zugelassen ist, müssen Auslegungen des Typs 1, Typs 2, Typs 3 und Typs 4 den anwendbaren Baumusterprüfungen unterzogen werden, die in Tabelle 2 aufgeführt und in Anhang A beschrieben sind.

Tabelle 2 — Zusammenfassung der Werkstoffprüfungen

Prüfung		Anzahl der für die Prüfung erforderlichen Druckbehälter	Anwendbar für Typ			
			Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
8.1.3.2.1 bis 8.1.3.2.4	Werkstoffprüfungen für metallische Behälter, Liner und Stutzen	1 Druckbehälter oder Liner oder repräsentativer Prüfring	✓	✓	✓	
8.1.3.2.5	Werkstoffprüfungen für Liner aus Kunststoff	1 Liner				✓
8.1.3.2.6	Eigenschaften des Harzes	Verbundwerkstoff-Proben		✓	✓	✓
8.1.3.2.7	Prüfung von Beschichtungen	Proben der Beschichtungssysteme	✓	✓	✓	✓

8.1.3.2.1 Werkstoff- und Wasserstoffverträglichkeitsprüfungen für Behälter, Liner und Stutzen aus anderem Stahl als nichtrostendem Stahl

Wenn der Druckbehälter, Stutzen oder Liner aus Stahl gefertigt ist, sind für Druckbehälter bis zu einem Fassungsraum von 450 l entsprechende Werkstoffprüfungen nach ISO 9809-1 oder für Druckbehälter mit einem Fassungsraum von mehr als 450 l nach ISO 11120 an einem Behälter, Liner, repräsentativen Prüfring oder Stutzen durchzuführen. Die Zugfestigkeit muss den Auslegungsspezifikationen des Herstellers entsprechen. Bei Auslegungen vom Typ 1 und Typ 2 muss die Dehnung des Stahls mindestens 14 % betragen. Bei Auslegungen vom Typ 3 müssen die Zugfestigkeit und Dehnung den Auslegungsspezifikationen des Herstellers entsprechen.

Die Wasserstoffverträglichkeit von Stählen, die mit Wasserstoff in Berührung kommen, ist nach A.1 nachzuweisen. Stähle, die bei der Anwendung von ISO 9809-1 oder ISO 11120 von der Wasserstoffverträglichkeitsprüfung ausgenommen sind, sind von dieser Prüfung ausgenommen.

8.1.3.2.2 Werkstoff- und Wasserstoffverträglichkeitsprüfungen für Behälter, Liner und Stutzen aus Aluminiumlegierungen

Bei Druckbehältern vom Typ 1 und Linern vom Typ 2, bei denen eine Aluminiumlegierung angewendet wird, sind entsprechende Werkstoffprüfungen wie in ISO 7866 gefordert an einem Druckbehälter oder Liner durchzuführen. Die Werkstoffeigenschaften müssen den Auslegungsspezifikationen des Herstellers entsprechen. Die Dehnung muss mindestens 12 % betragen.

Bei Linern vom Typ 3, bei denen eine Aluminiumlegierung angewendet wird, sind entsprechende Werkstoffprüfungen wie in ISO 7866 gefordert an einem Liner durchzuführen. Die Werkstoffeigenschaften einschließlich der Dehnung müssen den Auslegungsspezifikationen des Herstellers entsprechen.

Die Wasserstoffverträglichkeit von Aluminiumlegierungen, die mit Wasserstoff in Berührung kommen, ist nach A.1 nachzuweisen. Aluminiumlegierungen, die bei der Anwendung von ISO 7866 von der Wasserstoffverträglichkeitsprüfung ausgenommen sind, sind von dieser Prüfung ausgenommen.

8.1.3.2.3 Werkstoff- und Wasserstoffverträglichkeitsprüfungen für Liner und Stutzen aus nichtrostendem Stahl

Für Liner oder Stutzen aus nichtrostendem Stahl verwendete Werkstoffe müssen ISO 9809-4 entsprechen.

Werkstoffe, die für geschweißte Liner aus nichtrostendem Stahl für Druckbehälter vom Typ 4 verwendet werden, müssen die entsprechenden Anforderungen von EN 13322-2 erfüllen.

Die Wasserstoffverträglichkeit von nichtrostenden Stählen, die mit Wasserstoff in Berührung kommen, ist nach A.1 nachzuweisen.

8.1.3.2.4 Wasserstoffempfindlichkeitsfaktor metallischer Werkstoffe von Behältern, Linern und Stutzen

Metallische Werkstoffe, die für Behälter, Liner und Stutzen verwendet werden, müssen nach A.2 geprüft werden, um den Wasserstoffempfindlichkeitsfaktor zu ermitteln, der nach A.7 anzuwenden ist, wenn nicht 8.1.3.5 für Flaschen vom Typ 1 und Typ 2 angewendet wird.

8.1.3.2.5 Werkstoffprüfungen für Liner aus Polymerwerkstoffen

Ein Liner muss den folgenden Anforderungen ausgesetzt werden:

- a) Die Zug-Streckgrenze und die Zug-Bruchdehnung müssen nach A.3 bestimmt werden und die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.
- b) Bei thermoplastischen Werkstoffen muss die Erweichungstemperatur nach A.4 bestimmt werden und die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

8.1.3.2.6 Prüfungen der Eigenschaften des Harzes

Für Auslegungen vom Typ 2, Typ 3 und Typ 4 müssen Proben, die für die Composite-Umwicklung repräsentativ sind, nach A.5 geprüft werden. Die Harzwerkstoffe müssen die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

8.1.3.2.7 Prüfung von Beschichtungen

Wenn eine Schutzbeschichtung Teil der Auslegung ist, müssen die Beschichtungen unter Anwendung der in A.20 angegebenen Prüfverfahren beurteilt werden.

8.1.3.3 Prüfungen der Druckbehälter

Sofern in 8.2 nichts anderes zugelassen ist, müssen Auslegungen des Typs 1, Typs 2, Typs 3 und Typs 4 den anwendbaren Baumusterprüfungen unterzogen werden, die in Tabelle 3 aufgeführt und in Anhang A beschrieben sind.

Tabelle 3 — Zusammenfassung der Prüfungen von Druckbehältern oder Linern

Prüfung		Anzahl der für die Prüfung erforderlichen Druckbehälter	Anwendbar für Typ			
			Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
8.1.3.3.2	Hydrostatische Berstdruckprüfung	3 zuzüglich 1 Liner	✓	✓	✓	✓
8.1.3.3.3	Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur	2 bis 10	✓	✓	✓	✓
8.1.3.3.4	Leck-vor-Bruch-Prüfung (LBB)	2	✓ ⁽¹⁾	✓	✓	✓
8.1.3.3.5	Beschleunigter Zeitstandsversuch	1		✓	✓	✓
8.1.3.3.6	Lastwechselprüfung bei extremen Temperaturen	1		✓	✓	✓
8.1.3.3.7	Kerbschlagbiegeprüfung bei hohen Dehngeschwindigkeiten	1			✓	✓
8.1.3.3.8	Bonfire-Test	1 oder 2	✓ ⁽²⁾	✓ ⁽²⁾	✓ ⁽²⁾	✓ ⁽²⁾
8.1.3.3.9	Fallprüfung	1, 2 oder 3			✓	✓
8.1.3.3.10	Chemische Beanspruchung	1		✓	✓	✓
8.1.3.3.11	Permeationsprüfung	1				✓
8.1.3.3.12	Drehmomentprüfung des Stutzens	1				✓
8.1.3.3.13	Wasserstoffgas-Lastwechselprüfung	1				✓
8.1.3.3.14	Wasser-Dauerbelastungsprüfung	1		✓	✓	✓
⁽¹⁾ LBB ist nur bei Verwendung von hochfestem Aluminium (ISO 7866) oder Stahl (ISO 9809-2) anwendbar. ⁽²⁾ Sofern durch die in 8.1.3.3.8 beschriebene Risikoanalyse gefordert.						

8.1.3.3.1 Verwendung von Einheiten im verkleinerten Maßstab

Wenn angegeben dürfen Prüfungen an Druckbehältern mit einem Durchmesser im Originalmaßstab und einer kürzeren Länge durchgeführt werden; jedoch muss das Verhältnis der Länge zum Durchmesser (*L-D*-Verhältnis) der verkleinerten Einheiten mehr als 2,5 betragen. Wenn das *L-D*-Verhältnis der Flasche im Originalmaßstab kleiner als 2,5 ist, ist eine Flasche im Originalmaßstab erforderlich. Das Wicklungsmuster der Einheit im verkleinerten Maßstab muss dem des Druckbehälters im Originalmaßstab entsprechen.

8.1.3.3.2 Hydrostatische Berstdruckprüfung

Bei Auslegungen vom Typ 2 muss ein Liner einer hydrostatischen Druckbeaufschlagung bis zum Versagen nach A.6 unterzogen werden. Der Berstdruck muss dem 1,125fachen MAWP entsprechen oder diesen Wert überschreiten.

Bei allen Auslegungen müssen drei Druckbehälter einer hydrostatischen Druckbeaufschlagung bis zum Versagen nach A.6 unterzogen werden. Für jeden Druckbehälter muss der Berstdruck den in Tabelle 1 festgelegten Mindestberstdruck überschreiten. Auf keinen Fall darf der Berstdruck geringer sein als der Wert, der erforderlich ist, um die Anforderungen an das Spannungsverhältnis in Tabelle 1 zu erfüllen. Der Mittelwert des Verhältnisses des Berstdrucks zur Faserfestigkeit der drei Druckbehälter ist für eine zukünftige Bezugnahme aufzuzeichnen.

8.1.3.3.3 Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur

Für alle Auslegungsarten müssen zwei bis fünf Druckbehälter einer Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur nach A.7.1 unterzogen werden und die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

Wenn eine flache Druckzyklus-Lebensdauer festgelegt ist, müssen zwei bis fünf zusätzliche Behälter einer Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur nach A.7.2 unterzogen werden und die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

Bei Druckbehältern mit einem Innenvolumen von mindestens 450 l dürfen für diese Prüfung Einheiten im verkleinerten Maßstab nach den Festlegungen in 8.1.3.3.1 verwendet werden.

8.1.3.3.4 Leck-vor-Bruch-Prüfung (LBB)

Für alle Auslegungsarten müssen zwei Druckbehälter nach A.8 geprüft werden und die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

Bei Druckbehältern mit einem Innenvolumen von mindestens 450 l dürfen für diese Prüfung Einheiten im verkleinerten Maßstab nach den Festlegungen in 8.1.3.3.1 verwendet werden.

8.1.3.3.5 Beschleunigter Zeitstandsversuch

Für Auslegungen des Typs 2, Typs 3 und Typs 4 ist ein Druckbehälter nach A.12 zu prüfen und muss die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

Bei Druckbehältern mit einem Innenvolumen von mindestens 450 l dürfen Einheiten im verkleinerten Maßstab wie nachstehend festgelegt verwendet werden:

Werkstoffeigenschaften dürfen nachgewiesen werden, indem eine Einheit im verkleinerten Maßstab verwendet ist, deren Größe geeignet ist, um die Stabilität des Laminats unter thermischer Belastung zu ermitteln. Das Spannungsniveau und das Wicklungsmuster der Einheit im verkleinerten Maßstab müssen denen der Flasche im Originalmaßstab entsprechen. Die Einheit im verkleinerten Maßstab muss ein Innenvolumen haben, das nicht kleiner als 10 % des Innenvolumens der Einheit im Originalmaßstab und nicht kleiner als 150 l ist.

8.1.3.3.6 Lastwechselprüfung bei extremen Temperaturen

Für Auslegungen des Typs 2, Typs 3 und Typs 4 ist ein Druckbehälter nach A.13 zu prüfen und muss die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

Bei Druckbehältern mit einem Innenvolumen von mindestens 450 l dürfen für diese Prüfung Einheiten im verkleinerten Maßstab nach den Festlegungen in 8.1.3.3.1 verwendet werden.

8.1.3.3.7 Kerbschlagbiegeprüfung bei hohen Dehngeschwindigkeiten

Für Auslegungen des Typs 3 und Typs 4 ist ein Druckbehälter nach A.10 zu prüfen und muss die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

Für diese Prüfung dürfen Einheiten im verkleinerten Maßstab nach 8.1.3.3.1 verwendet werden.

8.1.3.3.8 Bonfire-Test

Für alle Auslegungsarten, bei denen PRD (Druckentlastungseinrichtungen) nach 5.2 verwendet werden, müssen ein oder zwei Druckbehälter wie jeweils anwendbar nach A.9 geprüft werden und die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

In einer Risikoanalyse sollte die Notwendigkeit einer Druckentlastungseinrichtung und/oder eines Bonfire-Tests behandelt und das Potenzial für Brände, das Vorhandensein brennbarer Werkstoffe, die Isolierung von Behältern und das Vorhandensein von Brandbekämpfungsanlagen (Feuerlöscher, Flutungsanlagen, Löschschläuche usw.) in Betracht gezogen werden.

8.1.3.3.9 Fallprüfung

Für Auslegungen des Typs 3 und Typs 4 mit einem Fassungsraum von 150 l oder weniger müssen ein oder mehrere fertige Druckbehälter nach A.22 geprüft und die darin festgelegten Anforderungen erfüllt werden.

8.1.3.3.10 Prüfung der chemischen Beanspruchung

Für Auslegungen des Typs 2, Typs 3 und Typs 4 ist ein Druckbehälter nach A.11 zu prüfen und muss die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

Einheiten im verkleinerten Maßstab dürfen wie nachstehend festgelegt verwendet werden:

Werkstoffeigenschaften dürfen nachgewiesen werden, indem eine Einheit im verkleinerten Maßstab verwendet ist, deren Größe geeignet ist, um die Beständigkeit des Laminats und/oder der Schutzbeschichtung gegenüber Umgebungseinflüssen zu ermitteln. Das Spannungsniveau und das Wicklungsmuster der Einheit im verkleinerten Maßstab müssen denen der Flasche im Originalmaßstab entsprechen.

8.1.3.3.11 Permeationsprüfung

Für Auslegungen des Typs 4 ist ein Druckbehälter einer Permeationsprüfung nach A.14 zu unterziehen und muss die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

Für diese Prüfung dürfen Einheiten im verkleinerten Maßstab nach 8.1.3.3.1 verwendet werden.

8.1.3.3.12 Drehmomentprüfung des Stutzens

Für Auslegungen des Typs 4 ist ein Druckbehälter nach A.15 zu prüfen und muss die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

Für diese Prüfung dürfen Einheiten im verkleinerten Maßstab nach 8.1.3.3.1 verwendet werden.

8.1.3.3.13 Wasserstoffgas-Lastwechselprüfung

Bevor mit dieser Prüfung fortgefahren wird, sollte eine Dichtheitsprüfung nach A.19 durchgeführt werden.

Für Auslegungen des Typs 4 ist ein Druckbehälter nach A.16 zu prüfen und muss die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

Für diese Prüfung dürfen Einheiten im verkleinerten Maßstab nach 8.1.3.3.1 verwendet werden.

8.1.3.3.14 Wasser-Dauerbelastungsprüfung

Für Auslegungen des Typs 2, Typs 3 und Typs 4 ist ein Druckbehälter nach A.16 zu prüfen und muss die darin festgelegten Anforderungen erfüllen.

Für diese Prüfung dürfen Einheiten im verkleinerten Maßstab nach 8.1.3.3.1 verwendet werden.

8.1.3.4 Qualifizierung von Auslegungsänderungen

Änderungen der Auslegung dürfen durch ein reduziertes Prüfprogramm wie in Tabelle 4 festgelegt qualifiziert werden. Änderungen der Auslegung, die über die in Tabelle 4 festgelegten Änderungen hinausgehen, müssen durch ein vollständiges Prüfprogramm qualifiziert werden.

Eine Faser muss als neue Faserart betrachtet werden, wenn eine der folgenden Bedingungen zutrifft:

- a) die Faser gehört einer anderen Klassifizierung an, z. B. Glas, Aramid, Kohlenstoff;
- b) die Faser wird aus einem anderen Präkursor (Ausgangswerkstoff) hergestellt, z. B. Polyacrylnitril (PAN), Pech für Kohlenstoff;
- c) der vom Hersteller der Faser festgelegte Nenn-Faser-Modul weicht um mehr als $\pm 5\%$ von dem in der Baumusterprüfung der Auslegung festgelegten Wert ab;
- d) die vom Hersteller der Faser festgelegte Nennfestigkeit der Faser weicht um mehr als $\pm 5\%$ von dem in der Baumusterprüfung der Auslegung festgelegten Wert ab.

Eine Auslegung, die durch eine reduzierte Prüfreihe genehmigt wurde (eine Auslegungsänderung), darf nicht als Grundlage für eine zweite Genehmigung einer Auslegungsänderung mit einer reduzierten Prüfreihe verwendet werden (d. h. mehrere Änderungen einer genehmigten Auslegung sind nicht zulässig). Wenn eine Prüfung an einer Auslegungsänderung (A) durchgeführt wurde, die den Prüfanforderungen für eine zweite Auslegungsänderung (B) unterliegt, kann das Ergebnis für (A) für das Prüfprogramm der neuen Auslegungsänderung (B) angewendet werden. Jedoch kann die Auslegungsänderung (A) nicht als Bezug für die Ermittlung der Prüfungen herangezogen werden, die für eine neue Auslegungsänderung erforderlich sind.

Zuvor ausgenommene Prüfungen bleiben ausgenommen.

Tabelle 4 — Qualifizierungsprüfungen für Auslegungsänderungen

Auslegungsänderung																		
Prüfung Nr.	Prüfung	Hersteller der Faser	Werkstoffe				Länge		Durchmesser ^a		MAWP ^a ≤ 20 %	Form der Wölbung	Form der Unterseite	Größe der Öffnungen	Beschichtung	Anschlussstutzen ^b	Festgelegter Durchmessertlastungseinrichtung und Haltezeit	Herstellungsprozess ^c
			Faser	Harz	Druckbehälter, Liner oder Stutzen aus Metall	Kunststoff-Liner	≤ 50 %	> 50 %	≤ 20 %	> 20 %								
8.1.3.3.2	Berstprüfung	X	X		X		X ^h	X	X	X	X	X	X	X				X
8.1.3.3.3	Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur	X	X		X	X	X ^h	X ^h	X	X	X	X	X					X
8.1.3.3.4	LBB	X	X		X ^g				X	X			X					
8.1.3.3.8	Bonfire-Test ⁱ		X	X	X	X		X		X							X ^e	
8.1.3.3.9	Fallprüfung		X	X	X				X ^d	X								
8.1.3.3.10	Prüfung der chemischen Beanspruchung		X	X	X	X									X			
8.1.3.3.5	Beschleunigter Zeitstandsversuch	X	X	X	X													
8.1.3.3.6	Prüfung bei extremen Temperaturen	X	X	X	X	X			X	X								
8.1.3.3.7	Kerbschlagbiegeprüfung bei hohen Dehngeschwindigkeiten	X	X	X	X				X	X								
8.1.3.3.11	Permeationsprüfung					X						X ^f				X		
8.1.3.3.12	Drehmomentprüfung des Stutzens					X						X				X		
8.1.3.3.13	Wasserstoffgas-Lastwechselprüfung					X						X				X		

Auslegungsänderung																		
Prüfung Nr.	Prüfung	Hersteller der Faser	Werkstoffe				Länge		Durchmesser ^a		MAW ^{pa} ≤ 20 %	Form der Wölbung	Form der Unterseite	Größe der Öffnungen	Beschichtung	Anschlussstutzen ^b	Festgelegter Durchmesser der Druckentlastungseinrichtung und Haltezeit	Herstellungsprozess ^c
			Faser	Harz	Druckbehälter, Liner oder Stutzen aus Metall	Kunststoff-Liner	≤ 50 %	> 50 %	≤ 20 %	> 20 %								
8.1.3.2.1/ 8.1.3.2.2	Prüfung der Wasserstoffverträglichkeit				X													
8.1.3.2.4	Prüfung der Wasserstoffempfindlichkeit				X													
8.1.3.2.5 bis 8.1.3.2.7	Sonstige Werkstoffe (wie jeweils anwendbar)	X	X	X	X	X									X			

^a Nur erforderlich, wenn Änderungen der Wanddicke proportional zur Änderung des Durchmessers und/oder des Druckes erfolgen, andernfalls wird eine neue Auslegung qualifiziert.

^b Die Prüfung ist nicht erforderlich, wenn die Spannungen im Hals den ursprünglichen oder durch die Auslegungsänderung verringerten Spannungen (z. B. Verringerung des Durchmessers von Innengewinden oder Änderung der Stutzenlänge) entsprechen, die Schnittstelle zwischen Liner und Stutzen nicht beeinträchtigt wird und für den Stutzen, den Liner und Dichtungen die ursprünglichen Werkstoffe verwendet werden.

^c Alle Abweichungen von den Herstellungsparametern nach 6.6 stellen eine Änderung im Herstellungsprozess dar.

^d Erforderlich, wenn sich der Durchmesser verringert.

^e Erforderlich, wenn für die Druckentlastung mehr Zeit zur Verfügung steht.

^f Nur erforderlich, wenn sich die Schnittstelle Stutzen/Liner ändert.

^g Nicht erforderlich bei Änderungen des Werkstoffs des Stutzens.

^h Nicht erforderlich für Typ 1 und Typ 2.

ⁱ Sofern durch die in 8.1.3.3.8 beschriebene Risikoanalyse gefordert.

8.1.3.5 Qualifizierung der Auslegung aufgrund der Bruchmechanik

Als alternatives Verfahren zur Qualifizierung neuer Auslegungen können Ansätze herangezogen werden, die auf der Bruchmechanik basieren. Wenn die Zyklus-Lebensdauer des Druckbehälters nach den Regeln in 8.1.3.5 ermittelt wird, sind 8.1.3.2.4 und A.7 zu vernachlässigen.

Bei der Bruchmechanik wird angenommen, dass im Druckbehälter ein anfänglicher Riss vorhanden ist. Der Riss breitet sich aufgrund der zyklischen Schwankung des Innendrucks aus, und es wird davon ausgegangen, dass es zum Versagen kommt, wenn ein gültiger Bruchmechanik-Parameter (z. B. der elastische Spannungsintensitätsfaktor K) einen kritischen Schwellenwert erreicht.

8.1.3.5.1 Prüfungen der Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeit

Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeiten sind nach den Normen ASTM E647 oder ISO 12108 mit den folgenden Ausnahmen zu messen:

- Die Prüffrequenz darf nicht mehr als 1 Hz betragen. Höhere Frequenzen dürfen unter der Voraussetzung angewendet werden, dass eindeutig nachgewiesen wird, dass die Daten der Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeit nicht von der Frequenz im untersuchten ΔK -Bereich beeinträchtigt werden.

ANMERKUNG Es ist bekannt, dass diese Frequenz für ferritische Stähle gilt. Für andere metallische Werkstoffe, wie z. B. austenitische nichtrostende Stähle oder Aluminiumlegierungen können andere Prüffrequenzen erforderlich sein.

- Bei der Wellenform muss es sich entweder um eine Dreieck- oder eine Sinus-Wellenform handeln.
- Das Spannungsverhältnis muss mit dem Spannungsverhältnis übereinstimmen, dem der Druckbehälter während seiner Lebensdauer ausgesetzt ist. Als obere Grenze für die Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeit ist ein Spannungsverhältnis von $R = 0,8$ anzusehen.

ANMERKUNG Ein einziger linearer Zusammenhang in der Form $da/dN = C \cdot \Delta K_m$ kann nicht erhalten werden, da in Abhängigkeit von dem angewendeten ΔK -Niveau verschiedene Bereiche mit verschiedenen Parametern vorhanden sind. Die Verwendung mehrerer $da/dN = C \cdot \Delta K_m$ -Beziehungen für die Berechnung der Zyklus-Lebensdauer von Druckbehältern ist zulässig.

ANMERKUNG Der Druckbehälter kann verschiedenen zyklischen Bereichen unterzogen werden. Die Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeiten können den verschiedenen Spannungsbereichen folgen.

Es sind mindestens drei Prüfungen durchzuführen.

Der Prüfdruck darf nicht kleiner als der vorgesehene Betriebsdruck sein.

Prüflinge sind mit einer Quer-Längs-Ausrichtung herzustellen, was bedeutet, dass der zu prüfende Probekörper eine Bruchebene hat, deren Normale in der Querrichtung des Druckbehälters liegt, und dass die erwartete Rissausbreitungsrichtung die Längsrichtung des Druckbehälters ist.

Der für die Prüfung verwendete Wasserstoff muss den in ISO 11114-4 aufgeführten Anforderungen entsprechen.

8.1.3.5.2 Prüfung der Rissbruchzähigkeit

Das Prüfverfahren ermöglicht die Bestimmung des Erreichens eines kritischen Schwellenwerts für eine wasserstoffunterstützte Rissbildung.

Eine Anleitung zu diesem Prüfverfahren ist in der Norm ANSI/CSA CHMC 1-2014 enthalten.

Es sind mindestens zwei Prüfungen durchzuführen.

Der Prüfdruck darf nicht kleiner als der vorgesehene Betriebsdruck sein.

Für Auslegungszwecke sind die unteren Grenzwerte der Rissbruchzähigkeit zu berücksichtigen.

8.1.3.5.3 Zulässige Anzahl der Zyklen

Die zulässige Zyklenanzahl entspricht der Hälfte der Zyklenanzahl, die zur Erreichung der endgültigen Risstiefe erforderlich ist, welche als Rissgröße festgelegt ist, bei der der Spannungsintensitätsfaktor die Werkstoff-Rissbruchzähigkeit erreicht.

ANMERKUNG Art. KD-4 und KD-10 geben eine Anleitung zur Beurteilung der Bruchmechanik.

8.1.3.5.4 Qualifizierung des Werkstoffs

Die Prüfergebnisse von 8.1.3.5.1 und 8.1.3.5.2 gelten nur für eine Werkstoffcharge, aus der Prüflinge entnommen wurden.

Der Zweck dieses Unterabschnitts ist die Qualifizierung eines Werkstoffs, indem zwei Werkstoffchargen je wärmebehandeltem Zustand geprüft werden.

Prüflinge für die Wasserstoffprüfungen müssen sich im endgültigen wärmebehandelten Zustand befinden, der beim Bau der Druckbehälter anzuwenden ist und müssen aus mindestens zwei Chargen stammen, die für die Werkstoffspezifikation repräsentativ sind. Insbesondere darf die aufgrund der Spezifikation zulässige maximale Zugfestigkeit 5 % der Charge mit der höchsten Festigkeit nicht überschreiten.

Eine Reihe von mindestens drei Prüflingen je Charge ist nach 8.1.3.5.1 zu prüfen, damit die Untersuchung eines ausreichenden ΔK -Bereichs ermöglicht wird. Für jeden untersuchten ΔK -Bereich sind die Daten der Kurve der oberen Grenze der Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeit für die Berechnung in 8.1.3.5.3 zu verwenden.

Eine Reihe von mindestens zwei Prüflingen je Charge ist nach 8.1.3.5.2 zu prüfen. Die Daten der unteren Grenze der Rissbruchzähigkeit sind für die Berechnung in 8.1.3.5.3 zu verwenden.

Die unter a) erhaltenen Daten dürfen für andere Druckbehälter angewendet werden, die aus dem gleichen Werkstoff der gleichen Qualität hergestellt wurden, und über die gleiche Nennzusammensetzung verfügen und sich im gleichen wärmebehandelten Zustand befinden, vorausgesetzt, die Zugfestigkeit des Werkstoffs überschreitet die Werte des Werkstoffs, der für die Qualifizierungsprüfungen verwendet wurde, um nicht mehr als 5 %.

8.1.4 Produktions- und Losprüfungen

8.1.4.1 Produktionsprüfungen

Produktionskontrollen und -prüfungen sind wie folgt an allen Druckbehältern eines Produktionsloses durchzuführen. Sofern erforderlich sollten alle Sichtprüfungen nach ISO 11623 erfolgen.

Jeder Druckbehälter muss während der Herstellung oder nach der Fertigstellung den folgenden Verifizierungen unterzogen werden:

- a) zerstörungsfreie Prüfung aller nahtlosen metallischen Stahldruckbehälter und -Liner in Übereinstimmung mit den entsprechenden Anforderungen von ISO 9809-1 an Druckbehälter bis zu einem Fassungsraum von 450 l oder von ISO 11120 für Druckbehälter mit einem Fassungsraum von mehr als 450 l, oder nach einem nachweislich gleichwertigen Verfahren zur Bestätigung, dass die maximale Fehlergröße die in der nach 8.1.1.4 bestimmten Auslegung angegebene Größe nicht überschreitet. Das Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung muss in der Lage sein, die maximal

zulässige Fehlergröße zu erkennen. Für Liner aus Aluminiumlegierungen sollte die zerstörungsfreie Prüfung nach dem in ISO 10461 aufgeführten Verfahren durchgeführt werden;

- b) Überprüfung von Kunststofflinern, um zu bestätigen, dass die vorhandene maximale Fehlergröße kleiner ist als in der Auslegung angegeben;
- c) Nachprüfung, um festzustellen, ob bei den entscheidenden Abmessungen und der Masse der fertigen Druckbehälter, Liner und der Umhüllung die Grenzwerte für die Auslegung eingehalten werden;
- d) Nachprüfung, um festzustellen, ob die vom Hersteller angegebene Oberflächenbeschaffenheit eingehalten wurde, wobei besonders auf tiefgezogene Oberflächen und Falze oder Überlappungen an Hals oder Schulter von geschmiedeten oder mit Druckverfahren hergestellten Enden oder Öffnungen zu achten ist;
- e) Verifizierung der Kennzeichnungen;
- f) Härteprüfungen oder gleichwertige Prüfungen von metallischen Druckbehältern und Linern nach A.17 nach der abschließenden Wärmebehandlung. Die dadurch bestimmten Werte müssen im für die Auslegung festgelegten Bereich liegen;
- g) hydraulische Prüfung der fertigen Druckbehälter nach A.18:

Wahlweise darf der Hersteller für Auslegungen vom Typ 3 und vom Typ 4 den geeigneten Grenzwert der elastischen Dehnung beim Prüfdruck für den verwendeten Prüfdruck angeben, wobei jedoch keinesfalls die elastische Dehnung bei einem Druckbehälter den Mittelwert für das Los um mehr als 10 % übersteigen darf;

- h) Dichtheitsprüfung an Druckbehältern oder Linern vom Typ 4 nach A.19 mit der Ausnahme, dass der angewendete Druck kleiner als der MAWP sein darf;
- i) Überprüfung von Verbundwerkstoff-Oberflächen hinsichtlich der Einhaltung der Anforderungen an Oberflächenfehler.

8.1.4.2 Losprüfungen

8.1.4.2.1 Allgemeine Anforderungen

An jedem Los von Druckbehältern müssen Losprüfungen durchgeführt werden.

Losprüfungen müssen an fertigen Linern und Druckbehältern, die für die übliche Produktion repräsentativ und vollständig einschließlich der Kennzeichnungen sind, durchgeführt werden. Die für die Prüfungen erforderlichen Druckbehälter und Liner müssen für Behältergrößen bis 450 l willkürlich aus jedem Los ausgewählt werden. Die erste Einheit des Loses von Druckbehältern und Linern darf für die Prüfung von Behältergrößen von mehr als 450 l ausgewählt werden. Sofern mehr Druckbehälter den Prüfungen unterzogen werden als gefordert, müssen sämtliche Ergebnisse dokumentiert werden.

Lose von Druckbehältern müssen sich als für ihren vorgesehenen Betrieb geeignet erweisen, indem sie die in 8.1.4.2.2 festgelegten Anforderungen an die Losprüfungen erfüllen. Der Hersteller der Druckbehälter muss die Ergebnisse der Losprüfung und die maßgebenden Daten für jedes Los (z. B. Anzahl der Schmelzen) für die vorgesehene Lebensdauer der Druckbehälter in dem Los aufbewahren. Alle Druckbehälter, die Losprüfungen unterzogen wurden, müssen nach den Prüfungen unbrauchbar gemacht werden.

8.1.4.2.2 Anforderungen an das Los

- a) Ein Los von Druckbehältern vom Typ 3 oder Typ 4 muss auf eine Anzahl von bis zu 200 fertigen Druckbehältern zuzüglich Prüfeinheiten begrenzt werden, die mit der gleichen oder einer gleichwertigen Ausrüstung im gleichen Werk hergestellt wurden, wobei gleichwertige Ausrüstung bedeutet, dass die Grundausslegung, das Leistungsvermögen und das Steuersystem gleich sind.
- b) Ein Los von Druckbehältern vom Typ 1 und Typ 2 mit einem Fassungsraum von mehr als 450 l muss auf eine Anzahl von bis zu 30 fertigen Druckbehältern zuzüglich Prüfeinheiten begrenzt werden, die mit der gleichen oder einer gleichwertigen Ausrüstung im gleichen Werk hergestellt wurden, wobei gleichwertige Ausrüstung bedeutet, dass die Grundausslegung, das Leistungsvermögen und das Steuersystem gleich sind.
- c) Ein Los von Druckbehältern vom Typ 1 und Typ 2 mit einem Fassungsraum von weniger als 450 l muss auf eine Anzahl von bis zu 200 fertigen Druckbehältern zuzüglich Prüfeinheiten begrenzt werden, die mit der gleichen oder einer gleichwertigen Ausrüstung im gleichen Werk hergestellt wurden, wobei gleichwertige Ausrüstung bedeutet, dass die Grundausslegung, das Leistungsvermögen und das Steuersystem gleich sind.
- d) Ein Behälter-Los darf diskontinuierlich sein, d. h. es darf durch anderweitige Produktion oder Zeiträume ohne Produktion unterbrochen werden, vorausgesetzt, es sind Steuerungen vorhanden, um sicherzustellen, dass die Kontinuität der Herstellung der Behälter und ihre Leistungsfähigkeit innerhalb des Loses aufrechterhalten werden, sobald die Produktion wiederaufgenommen wird.
- e) Ein Los von fertigen Composite-Druckbehältern darf verschiedene Lose von Linern, Fasern und Matrix-Werkstoffen enthalten, vorausgesetzt, es sind Steuerungen vorhanden, um sicherzustellen, dass die Kontinuität der Herstellung der Behälter und ihre Leistungsfähigkeit innerhalb des Loses aufrechterhalten werden.
- f) Ein Los von fertigen Druckbehältern des Typs 1, Typs 2 oder Typs 3 muss aus einer Metallschmelze gebildet werden.
- g) Behälter innerhalb des Loses müssen den gleichen Nenndurchmesser, die gleiche Dicke, die gleiche Auslegung und Härtung oder Wärmebehandlung wie jeweils zutreffend haben und die gleiche Nennlänge aufweisen, ausgenommen die Anmerkungen unter h).
- h) Ein Los aus Metallbehältern vom Typ 1 und Behältern vom Typ 2 mit Umfangsverstärkung darf Behälter verschiedener Länge enthalten, vorausgesetzt, es sind Steuerungen vorhanden, um sicherzustellen, dass die Kontinuität der Herstellung der Behälter und ihre Leistungsfähigkeit innerhalb des Loses aufrechterhalten und nicht durch den Längenunterschied beeinträchtigt werden.

8.1.4.2.3 Geforderte Prüfungen

Ein Druckbehälter ist der hydrostatischen Berstdruckprüfung nach A.6 zu unterziehen. Der Berstdruck des Druckbehälters muss den festgelegten Mindestberstdruck und die in Tabelle 1 festgelegte Anforderung an das Spannungsverhältnis überschreiten.

Ein Druckbehälter ist der Lastwechselprüfung nach den Anforderungen in 8.1.4.2.4 zu unterziehen. Der für die Lastwechselprüfung nach 8.1.4.2.4 verwendete Druckbehälter darf auch für die Berstdruckprüfung verwendet werden.

Für Auslegungen vom Typ 1, Typ 2 und Typ 3 muss ein weiterer Druckbehälter, Liner oder eine für einen fertigen Druckbehälter oder Liner repräsentative Probe den folgenden Prüfungen unterzogen werden:

- a) Verifizierung der entscheidenden Abmessungen der Auslegung;

- b) Zugprüfungen für Druckbehälter oder Liner aus Stahl nach den entsprechenden Anforderungen von ISO 9809-1 für Druckbehälter bis zu 450 l Fassungsraum oder von ISO 11120 für Druckbehälter mit einem Fassungsraum von mehr als 450 l. Zugprüfungen für Druckbehälter oder Liner aus Aluminiumlegierungen nach den entsprechenden Anforderungen von ISO 7866. Zugprüfungen für Liner aus nichtrostendem Stahl nach den entsprechenden Anforderungen von ISO 9809-4.
- c) Stoßprüfungen für Druckbehälter oder Liner aus Stahl nach den entsprechenden Anforderungen von ISO 9809-1 für Druckbehälter bis zu 450 l Fassungsraum oder von ISO 11120 für Druckbehälter mit einem Fassungsraum von mehr als 450 l, wie jeweils zutreffend, und Übereinstimmung mit den darin festgelegten Anforderungen. Stoßprüfungen für Liner aus nichtrostendem Stahl nach den entsprechenden Anforderungen von ISO 9809-4 und Übereinstimmung mit den darin festgelegten Anforderungen.
- d) Wenn eine Schutzbeschichtung nach 8.1.2.7 Teil der Auslegung ist, muss eine Losprüfung der Beschichtung nach A.21 durchgeführt werden. Wenn die Beschichtung die Anforderungen von A.21 nicht erfüllt, muss das Los dahingehend zu 100 % überprüft werden, dass auf ähnlich fehlerhafte Weise beschichtete Druckbehälter entfernt werden. Die Beschichtung sämtlicher fehlerhaft beschichteter Druckbehälter muss unter Anwendung eines Verfahrens, das die Unversehrtheit der Composite-Umwicklung nicht beeinträchtigt, entfernt, und dann wieder aufgebracht werden. Die Losprüfung der Beschichtung ist anschließend zu wiederholen.

Für Auslegungen vom Typ 4 muss ein weiterer Druckbehälter oder Liner oder eine für einen fertigen Druckbehälter repräsentative Probe den folgenden Prüfungen unterzogen werden:

- a) Verifizierung der entscheidenden Abmessungen der Auslegung;
- b) Streckgrenze und Bruchdehnung des Liner-Kunststoffs sind nach A.3 zu ermitteln und müssen die darin festgelegten Anforderungen erfüllen;
- c) die Erweichungstemperatur des Kunststoffliners ist nach A.4 zu prüfen und muss die Anforderungen der Auslegung erfüllen;
- d) wenn eine Schutzbeschichtung nach 8.1.2.7 Teil der Auslegung ist, muss eine Losprüfung der Beschichtung nach A.21 durchgeführt werden. Wenn die Beschichtung die Anforderungen von A.21 nicht erfüllt, muss das Los dahingehend zu 100 % überprüft werden, dass auf ähnlich fehlerhafte Weise beschichtete Druckbehälter entfernt werden. Die Beschichtung sämtlicher fehlerhaft beschichteter Druckbehälter muss unter Anwendung eines Verfahrens, das die Unversehrtheit der Composite-Umwicklung nicht beeinträchtigt, entfernt, und dann wieder aufgebracht werden. Die Losprüfung der Beschichtung ist anschließend zu wiederholen.

Bei allen Druckbehältern und Linern, die durch eine Losprüfung repräsentiert werden, die die festgelegten Anforderungen nicht erfüllt, muss nach den in 8.1.4.3 festgelegten Verfahren vorgegangen werden.

8.1.4.2.4 Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur

Außer bei Auslegungen nach 8.1.3.5 muss ein Druckbehälter je Los fertiger Behälter einer Ermüdungsprüfung nach den Anforderungen von A.7 unterzogen werden. Für die Produktionsprüfung dürfen alle Druckzyklen bei Umgebungstemperatur ausgeführt werden. Der Hersteller muss mindestens einen Druckbehälter je Jahr nach A.7 prüfen, wenn die Produktionsrate weniger als 200 Behälter je Jahr beträgt.

Die Los-Lastwechselprüfung nach A.7 ist nicht mehr bei jedem Los erforderlich, sobald nachgewiesen wurde, dass die Auslegung und Werkstoffe des Druckbehälters nicht gegenüber Ermüdungslastwechseln empfindlich sind, indem sie die Los-Lastwechselprüfung an insgesamt 5 Druckbehältern mit der Zyklusanzahl nach A.7 bestehen und keine Undichtigkeiten aufweisen, entweder in der ersten Reihe von „N“ Zyklen, oder in der zweiten Reihe von „N“ Zyklen (wobei eine Undichtigkeit ansonsten zulässig wäre, nicht

jedoch ein Bruch), über insgesamt die 5,2fache Auslegungs-Lebensdauer, wenn die Lastwechselbeanspruchung bei Nennbetriebsdruck oder einer gleichwertigen Spanne bei Lastwechseln mit erhöhtem Druck nach A.7 erfolgt. Die Los-Lastwechselprüfung muss jedoch mindestens einmal alle drei Jahre wiederholt werden. Wenn während einer Losprüfung eine Undichtigkeit oder ein Bruch auftritt, müsste die Losprüfung erneut eingeleitet werden, bis erneut insgesamt 5 Druckbehälter die Lastwechsel-Anforderungen nach A.7 ohne Undichtigkeiten bestehen.

8.1.4.3 Nichterfüllung der Anforderungen an die Los- und Produktionsprüfung

Im Falle der Nichterfüllung der Prüfanforderungen muss eine Wiederholungsprüfung oder eine erneute Wärmebehandlung und Wiederholungsprüfung wie folgt durchgeführt werden:

- a) sofern nachweislich ein Fehler bei der Durchführung einer Prüfung oder ein Messfehler aufgetreten ist, muss eine weitere Prüfung der gleichen Art durchgeführt werden. Sofern das Ergebnis dieser Prüfung zufriedenstellend ist, muss die erste Prüfung verworfen werden;
- b) sofern die Prüfung in einer zufriedenstellenden Art und Weise durchgeführt worden ist, muss die Ursache des Versagens bei der Prüfung ermittelt werden.
 - 1) Sofern das Versagen als auf die angewendete Wärmebehandlung rückführbar betrachtet wird, darf der Hersteller sämtliche Metall-Druckbehälter oder -Liner mit diesem Versagen einer erneuten Wärmebehandlung unterziehen, d. h. wenn das Versagen in einer Losprüfung auftritt, erfordert dieses Versagen bei der Prüfung eine erneute Wärmebehandlung sämtlicher das Los repräsentierender Metall-Druckbehälter oder -Liner vor der Wiederholungsprüfung; tritt das Versagen hingegen sporadisch bei einer Produktionsprüfung auf, ist eine erneute Wärmebehandlung und Wiederholungsprüfung nur bei denjenigen Metall-Druckbehältern oder -Lindern erforderlich, die die Prüfung nicht bestanden haben.

Nur die entsprechenden Losprüfungen, die für den Nachweis der Annehmbarkeit des neuen Loses erforderlich sind, müssen erneut durchgeführt werden. Sofern sich eine oder mehrere Prüfung(en) als nicht zufriedenstellend erweist/erweisen, müssen sämtliche Metall-Druckbehälter oder -Liner des Loses zurückgewiesen werden.
 - 2) Sofern das Versagen nicht auf die angewendete Wärmebehandlung zurückführbar ist, müssen sämtliche fehlerhafte Metall-Druckbehälter oder -Liner entweder zurückgewiesen oder repariert werden. Reparierte Metall-Druckbehälter oder -Liner, welche die für die Reparatur erforderlichen Prüfung(en) bestehen, müssen als ein gesondertes neues Los behandelt werden.

8.1.5 Kennzeichnungen

Der Hersteller muss auf jedem Druckbehälter eindeutige dauerhafte Kennzeichnungen anbringen. Die für die Kennzeichnungen verwendete Schriftgröße muss bei Druckbehältern mit einem Durchmesser von mindestens 140 mm mindestens 5 mm hoch und bei Druckbehältern mit einem Durchmesser von weniger als 140 mm mehr als 2,5 mm hoch sein. Die Kennzeichnung muss nach der gängigen Industrienorm (z. B. PED, ASME, JSME) oder durch in die Harzbeschichtungen eingearbeitete Etiketten, durch aufgeklebte Etiketten, durch spannungsarm aufgebrachte Stempelungen auf den verdickten Enden von Auslegungen des Typs 1 und des Typs 2 oder durch eine beliebige Kombination der vorstehend genannten Möglichkeiten erfolgen. Haftetiketten und ihre Anwendung müssen ISO 7225 entsprechen. Mehrere Etiketten dürfen verwendet werden und sollten so angeordnet werden, dass sie nicht durch Halterungen verdeckt werden.

Jeder Druckbehälter muss dauerhaft mit den folgenden Angaben gekennzeichnet werden:

- a) „NUR FÜR DIE ORTSFESTE H₂-VERWENDUNG“
- b) „NICHT ZU VERWENDEN NACH YYYY-MM“, wobei YYYY das Jahr und MM den Monat des Ablaufdatums angibt;

- c) das Herstellerkennzeichen;
- d) das Kennzeichen des Druckbehälters (Modell und die für jeden Druckbehälter eindeutige Seriennummer);
- e) der Fassungsraum des Druckbehälters in Liter;
- f) der höchstzulässige Betriebsdruck (MAWP) in MPa;
- g) der Prüfdruck in MPa;
- h) die Verweisung auf diese Internationale Norm;
- i) die Art des Druckbehälters, dargestellt als T1 (Typ 1), T2 (Typ 2), T3 (Typ 3) oder T4 (Typ 4);
- j) die zulässige Mindesttemperatur in °C;
- k) die zulässige Höchsttemperatur in °C;
- l) die Auslegungs-Zykluslebensdauer als Anzahl der Referenzzyklen;
- m) die flache Auslegungs-Zykluslebensdauer, sofern anwendbar, als Anzahl der Referenzzyklen;
- n) bei Behältern vom Typ 3 und vom Typ 4 sowie bei Behältern vom Typ 1 und Typ 2, bei denen Druckentlastungseinrichtungen in der Auslegung durch den Behälterhersteller enthalten sind, die folgende Anmerkung: „ERFORDERT DEN SCHUTZ DURCH EINE THERMISCH AKTIVIERTE DRUCKENTLASTUNGSANLAGE, DIE DIE ANGEGEBENE DRUCKENTLASTUNG BIETET“;
- o) das Datum der Herstellung (Jahr in vier Ziffern und Monat in zwei Ziffern).

Wenn Etiketten verwendet werden, gibt es eine zusätzliche Anforderung einer eindeutigen Kennnummer und der Identifizierung des Herstellers, die dauerhaft auf einer freiliegenden metallischen Fläche anzubringen sind, um im Falle der Zerstörung des Etiketts eine Rückverfolgung zu ermöglichen;

Das Ablaufdatum darf auf den Druckbehältern zum Zeitpunkt des Versands angebracht werden, vorausgesetzt, die Druckbehälter wurden drucklos an einem trockenen Ort gelagert. Die Zeitdauer zwischen dem Versanddatum und dem Ablaufdatum darf die festgelegte Betriebslebensdauer nicht überschreiten.

Die Kennzeichnungen müssen in der angegebenen Reihenfolge erfolgen, jedoch darf die spezielle Anordnung je nach dem verfügbaren Platz variiert werden. Folgendes ist ein annehmbares Beispiel.

NUR FÜR H₂

NICHT VERWENDEN NACH 2042-03

Hersteller/Modell/Seriennummer

500 l Fassungsraum

MAWP 95 MPa – TP 119 MPa

ISO 19884_T3_-40 °C/85 °C

NICHT VERWENDEN NACH 15 000 Zyklen @ 100 % MAWP/100 000 Zyklen @ 30 % MAWP

ERFORDERT DEN SCHUTZ DURCH EIN TERMISCHES SCHUTZSYSTEM, DAS DIE ANGEGEBENE DRUCKENTLASTUNG BIETET 2012-03

ANMERKUNG Es wird darauf hingewiesen, dass es in maßgebenden Vorschriften Anforderungen an die Kennzeichnung geben kann, die die Anforderungen dieser Internationalen Norm außer Kraft setzen könnten.

8.1.6 Vorbereitung für den Versand

Vor dem Versand muss der Hersteller sicherstellen, dass jeder Druckbehälter auf geeignete Weise gereinigt wurde, um die Verunreinigung des in den Behälter aufzunehmenden Fluids zu verhindern. Der Druckbehälter muss nach den Festlegungen des Eigentümers/Betreibers innen gereinigt und getrocknet, abgedichtet und als „gereinigt für den Wasserstoffeinsatz“ gekennzeichnet werden.

Bei Druckbehältern, die nicht sofort durch Anbringen eines Ventils verschlossen werden, und bei Sicherheitseinrichtungen, sofern zutreffend, müssen sämtliche Öffnungen zur Verhinderung des Eindringens von Feuchte und zum Schutz der Gewinde mit Stopfen verschlossen werden.

Das Typenschild jedes Druckbehälters muss bezüglich der entsprechenden Kennzeichnungen überprüft werden.

Die Betriebserklärung des Herstellers und alle erforderlichen Angaben und Anweisungen, die die einwandfreie Handhabung, Verwendung und die Inspektion während des Betriebs des Druckbehälters sicherstellen, müssen dem Eigentümer/Betreiber übergeben werden.

Die Betriebserklärung muss 6.2 entsprechen.

8.2 Anforderungen an vorhandene Auslegungen

Die Anforderungen an vorhandene Auslegungen sind in Anhang B angegeben.

Anhang A (normativ)

Prüfverfahren und Annahmekriterien

A.1 Prüfungen der Wasserstoffverträglichkeit

Die Wasserstoffverträglichkeit der Werkstoffe von Druckbehältern, Linern und Stutzen, die aus Stahl bestehen, ist nach ISO 11114-4 nachzuweisen.

A.2 Prüfungen der Wasserstoffempfindlichkeit

Ein Wasserstoffempfindlichkeitsfaktor (F_{hs}) ist wie folgt für die Werkstoffe des Druckbehälters, Liners und Stutzens unter Verwendung des Bauteilwerkstoffs oder eines gleichwertigen Werkstoffs sowie von Verfahren 1 oder Verfahren 2 zu ermitteln.

A.2.1 Prüfverfahren 1 — Ermüdungsprüfung von Zugproben

A.2.1.1 Prüfungen der Ermüdungslebensdauer

Dieses Prüfverfahren wird zur Beurteilung der Gesamt-Ermüdungslebensdauer angewendet, welche die Einleitung und Fortpflanzung von Rissen bis zum Bruch bei metallischen Werkstoffen, die einer Umgebung mit gasförmigem Wasserstoff ausgesetzt sind, umfasst.

A.2.1.2 Prüfumgebung

Die Prüfungen sind bei einem Druck durchzuführen, der mindestens dem höchstzulässigen Betriebsdruck (MAWP) entspricht, und die Ergebnisse gelten für alle Drücke, die gleich oder kleiner sind als der bei den Prüfungen angewendete Druck.

Der für die Prüfung verwendete Wasserstoff muss den in ISO 11114-4 aufgeführten Anforderungen entsprechen.

Die Temperatur muss so gewählt werden, dass das Auftreten von Wasserstoffversprödung am größten ist.

ANMERKUNG Bei Kohlenstoffstahl, niedrig legiertem Stahl und Aluminiumlegierungen tritt die größte Wasserstoffversprödung bei Raumtemperatur auf. Bei anderen Stählen (z. B. nichtrostenden Stählen) und metallischen Werkstoffen kann die Ermittlung anderer Temperaturen erforderlich sein.

A.2.1.3 Probenvorbereitung

Prüflinge sind nach Bild A.1 mit einer Quer-Längs-Ausrichtung herzustellen, was bedeutet, dass der zu prüfende Probekörper eine Bruchebene hat, deren Normale in der Querrichtung des Druckbehälters liegt, und dass die erwartete Rissausbreitungsrichtung die Längsrichtung des Druckbehälters ist.

Wenn der Probekörper nicht nach Bild A.1 aus der Wanddicke des Druckbehälters maschinell hergestellt werden kann, dürfen geringere Dicken zugelassen werden, vorausgesetzt, die Probekörper haben eine Wanddicke, die mindestens 85 % der ursprünglichen Wanddicke des Druckbehälters beträgt.

Wenn eine Quer-Längs-Ausrichtung nicht erreicht werden kann, ist eine Längs-Quer-Ausrichtung zulässig.

ANMERKUNG Zur Herstellung der Kerbe wird ein Elektroerosions-Verfahren empfohlen.

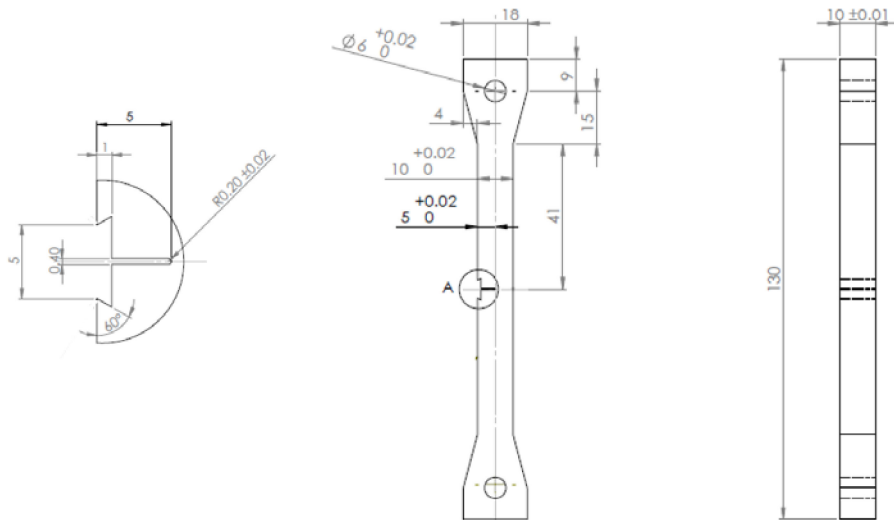


Bild A.1 — Probekörper für die Ermüdungsprüfung

A.2.1.4 Durchführung der Prüfung

Es werden mindestens acht Ermüdungsprüfungen in Wasserstoff und in Luft oder einer inerten Umgebung durchgeführt.

Es sind mindestens vier Prüfungen bis zum Versagen in Luft oder einer inerten Umgebung durchzuführen, wobei Lastamplituden aufgebracht werden (maximale Kraft abzüglich der Mindestkraft geteilt durch zwei mit einem positiven Spannungsverhältnis von 0,1 oder niedriger), die zu Zyklen bis zum Versagen führen, die mehr als 10^5 Zyklen umfassen.

Es sind mindestens vier Prüfungen bis zum Versagen in gasförmigem Wasserstoff nach A.2.1.2 durchzuführen, wobei die gleichen Lastamplituden und das gleiche Spannungsverhältnis angewendet werden, die bei den Prüfungen in Luft oder einer inerten Umgebung verwendet wurden.

Bei Prüfungen in gasförmigem Wasserstoff darf die Frequenz nicht mehr als 1 Hz betragen.

Der Wasserstoffempfindlichkeitsfaktor F_{hs} ist das Verhältnis zwischen der mittleren Anzahl der Zyklen bis zum Bruch in Luft oder einer inerten Umgebung und in gasförmigem Wasserstoff.

ANMERKUNG Der Wasserstoffempfindlichkeitsfaktor für höhere R-Verhältnisse, der flache Zyklusbedingungen abbilden kann, kann niedriger sein als derjenige, der bei einem Spannungsverhältnis von 0,1 erhalten wird, jedoch liegen gegenwärtig nicht genügend Forschungsergebnisse zur Wirkung des Spannungsverhältnisses vor, um diese Entwicklung quantitativ zu bestätigen.

A.2.1.5 Qualifizierung des Werkstoffs

Die Prüfergebnisse von A.2.1.4 gelten nur für eine Werkstoffcharge, aus der Prüflinge entnommen wurden.

- 1) Der Zweck dieses Unterabschnitts ist die Qualifizierung eines Werkstoffs, indem zwei Werkstoffchargen je wärmebehandeltem Zustand geprüft werden.

Prüflinge für die Wasserstoffprüfungen müssen sich im endgültigen wärmebehandelten Zustand befinden, der beim Bau der Druckbehälter anzuwenden ist und müssen aus mindestens zwei Chargen stammen, die für die Werkstoffspezifikation repräsentativ sind. Insbesondere darf die aufgrund der Spezifikation zulässige maximale Streckgrenze 5 % der Charge mit der höchsten Festigkeit nicht überschreiten.

Der größte Wasserstoffempfindlichkeitsfaktor, der bei allen Prüfungen ermittelt wurde, ist zu verwenden.