

DIN EN 13445-11



ICS 23.020.30

Einsprüche bis 2019-01-23

Entwurf

**Unbefeuerte Druckbehälter –
Teil 11: Zusätzliche Anforderungen an Druckbehälter aus Titan und
Titanlegierungen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 13445-11:2018**

Unfired pressure vessels –

Part 11: Additional requirements for pressure vessels of titanium and titanium alloys;
German and English version prEN 13445-11:2018

Récipients sous pression non soumis à la flamme –

Partie 11: Exigences complémentaires pour les récipients sous pression en titan et alliages de
titan;

Version allemande et anglaise prEN 13445-11:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-11-23 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 fnca@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

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

Gesamtumfang 64 Seiten

DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13445-11:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 54 „Unbefeuerte Druckbehälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Unterausschuss NA 012-00-05-02 UA „Werkstoffe, Herstellung und Prüfung“ im DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA) verantwortlich.

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.

Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 11: Zusätzliche Anforderungen an Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen

Réipients sous pression non soumis à la flamme — Partie 11: Exigences complémentaires pour les réipients sous pression en titan et alliages de titan

Unfired pressure vessels — Part 11: Additional requirements for pressure vessels of titanium and titanium alloys

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe, Symbole und Einheiten.....	6
4 Allgemeine Anforderungen	6
5 Werkstoffe	6
5.1 Allgemeines	6
5.2 Werkstoffspezifikation	6
5.3 Werkstoffgruppierungssystem.....	7
5.4 Werkstoffdokumentation.....	7
5.5 Vermeidung von Sprödbruch	7
5.6 Lamellenriss.....	7
6 Gestaltung	7
6.1 Allgemeines	7
6.2 Korrosion, Erosion und Schutz	7
6.3 Schweißnahtfaktor	8
6.4 Zeitunabhängige Berechnungsnennspannung	8
6.5 Berücksichtigung des Kriechverhaltens	8
6.6 Hüllen unter äußerer Druckeinwirkung	9
6.7 Flansche	9
6.8 Ermüdungsfeste Gestaltung	10
7 Herstellung	10
7.1 Allgemeines	10
7.2 Zusatzwerkstoffe	10
7.3 Verbindung ungleicher Metalle.....	11
7.4 Einlegestreifen, Sickenstöße und nicht vollständig durchgeschweißte Nähte.....	11
7.5 Qualifizierung der Schweißverfahrens-Spezifikationen (WPQR).....	11
7.6 Qualifizierung von Schweißern und Bedienern von Schweißeinrichtungen	11
7.7 Vorbereitung der Verbindung.....	11
7.8 Ausführen von Schweißnähten	12
7.9 Vorheizen	12
7.10 Produktionsprüfungen, Bezugskriterien	12
7.11 Prüfungsumfang.....	13
7.12 Ausführung der Prüfung und Abnahmekriterien	13
7.13 Umformverfahren	13
7.13.1 Kaltumformen.....	13
7.13.2 Warmumformen	13
7.14 Wärmebehandlung nach dem Umformen	14
7.14.1 Allgemeines	14
7.14.2 Wärmebehandlung von flachen Produkten nach dem Kaltumformen.....	14
7.14.3 Wärmebehandlung von Rohrprodukten nach dem Kaltumformen	14
7.14.4 Wärmebehandlung nach dem Warmumformen	15
7.14.5 Glühen	15
7.15 Probenahme umgeformter Produkte.....	16
7.15.1 Kaltumgeformte Produkte ohne Wärmebehandlung.....	16

7.15.2	Warmumgeformte oder kaltumgeformte Produkte mit Wärmebehandlung	16
7.16	Prüfungen	16
7.16.1	Ausgangswerkstoff	16
7.16.2	Stumpfschweißungen	16
7.17	Wärmenachbehandlung nach dem Schweißen (PWHT)	17
7.18	Instandsetzungen	17
8	Inspektion und Prüfung	17
8.1	Allgemeines	17
8.2	Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen	17
8.2.1	Allgemeines	17
8.3	Bestimmung des Umfangs der zerstörungsfreien Prüfung	18
8.4	Auswahl zerstörungsfreier Prüfungsverfahren für innere Mängel	21
8.5	Auswahl zerstörungsfreier Prüfungsverfahren für Oberflächenmängel	21
8.6	Bewertung von Fehlern	21
8.7	Hydrostatische Standardprüfung	21
9	Abschließende Fertigungsschritte	21
Anhang A (normativ)	Gruppierungssystem für Titan und Titanlegierungen	22
Anhang B (informativ)	Tabelle B.1 enthält Informationen zu Europäischen und Internationalen Normen für Titan und Titanlegierungen für Druckanwendungen	23
Anhang C (normativ)	Ausgangswerkstoffe	24
Anhang D (informativ)	Physikalische Eigenschaften von Titan und Titanlegierungen	26
D.1	Begriffe	26
D.1.1	Dichte	26
D.1.2	Poissonzahl	26
D.2	Physikalische Eigenschaften von Titan und Titanlegierungen	26
D.2.1	Polynomische Koeffizienten	26
D.2.2	Bilder für physikalische Eigenschaften von Titan und Titanlegierungen	27
Anhang E (informativ)	Kriechdaten für Titan-Sauerstoff-Legierungen	29
Annex ZA (informativ)	Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 2014/68/EU, deren Einhaltung angestrebt wird	30
Literaturhinweise		31

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13445-11:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 54 „Unbefeuerte Druckbehälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

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

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

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil 11 dieser Europäischen Norm legt die Anforderungen an unbefeuerte Druckbehälter und ihre Teile aus Titan oder Titanlegierungen zusätzlich zu den allgemeinen Anforderungen an unbefeuerte Druckbehälter nach EN 13445:2014, Teile 1 bis 5 fest.

ANMERKUNG 1 Gusswerkstoffe, HIP und additive Fertigung sind nicht in dieser Version enthalten. Einzelheiten zu diesen Werkstoffen werden einer Änderung oder Revision dieser Europäischen Norm unterliegen.

ANMERKUNG 2 Werkstoffe der Gruppen 51.4 und 54 sind nicht in dieser Version enthalten.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 764-5:2014, *Druckgeräte — Teil 5: Prüfbescheinigungen für metallische Werkstoffe und Übereinstimmung mit der Werkstoffspezifikation*

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

EN 13445-1:2014, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 1: Allgemeines*

EN 13445-2:2014, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 2: Werkstoffe*

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

EN 13445-4:2014, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 4: Herstellung*

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

EN ISO 9606-5:2000, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 5: Titan und Titanlegierungen, Zirkonium und Zirkoniumlegierungen (ISO 9606-5)*

EN ISO 15614-5:2004, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 5: Lichtbogenschweißen von Titan, Zirkonium und ihren Legierungen (ISO 15614-5:2004)*

EN ISO 15614-8:2016, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 8: Einschweißen von Rohren in Rohrböden (ISO 15614-8:2016)*

CEN ISO/TR 15608:2017, *Schweißen — Richtlinien für eine Gruppeneinteilung von metallischen Werkstoffen (ISO/TR 15608:2017)*

ASME Section II Part D — 2017, *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section II — Materials, Part D — Properties 2017 edition*

ASME SB-265 / ASTM B265, *Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Strip, Sheet, and Plate*

ASME SB-338 / ASTM B338, *Standard Specification for Seamless and Welded Titanium and Titanium Alloy Tubes for Condensers and Heat Exchangers*

ASME SB-348 / ASTM B348, *Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Bars and Billets*

ASME SB-363 / ASTM B363, *Standard Specification for Seamless and Welded Unalloyed Titanium and Titanium Alloy Welding Fittings*

ASME SB-381 / ASTM B381, *Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Forgings*

ASME SB-861 / ASTM B861, *Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Seamless Pipe*

DIN 17850, *Titan; Chemische Zusammensetzung*

DIN 17851, *Titanlegierungen; Chemische Zusammensetzung*

DIN 17860, *Bänder und Bleche aus Titan und Titanlegierungen — Technische Lieferbedingungen*

DIN 17861, *Nahtlose kreisförmige Rohre aus Titan und Titanlegierungen; Technische Lieferbedingungen*

DIN 17862, *Stangen aus Titan und Titanlegierungen — Technische Lieferbedingungen*

DIN 17864, *Schmiedestücke aus Titan und Titan-Knetlegierungen (Freiform- und Gesenkschmiedeteile) — Technische Lieferbedingungen*

3 Begriffe, Symbole und Einheiten

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die Begriffe, Symbole und Einheiten nach EN 13445:2014, Teile 1 bis 5.

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

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

4 Allgemeine Anforderungen

Es gelten die allgemeinen Anforderungen nach EN 13445-1:2014.

5 Werkstoffe

5.1 Allgemeines

Die allgemeinen Anforderungen nach EN 13445-2:2014 gelten mit den folgenden Ergänzungen/Ausschlüssen in 5.2 bis 5.6.

Die in Anhang C aufgelisteten Ausgangswerkstoffe, die zusätzlich mit den besonderen Anforderungen im Haupttext dieser Europäischen Norm festgelegt sind, sind für Druckbehälter nach EN 13445-11 geeignet und können für ihre Herstellung verwendet werden.

ANMERKUNG Nicht in Anhang C aufgelistete Werkstoffe können nicht ohne europäische Genehmigung von Druckgerätestoffen (EAM) oder ein Werkstoff-Einzelgutachten (PMA) verwendet werden.

5.2 Werkstoffspezifikation

Die Werkstoffspezifikation muss die Zusammensetzungsgrenzen für alle Bestandteile, die Wärmebehandlung und die geeigneten mechanischen Eigenschaften für die Abnahme und andere Zwecke festlegen.

Nur Werkstoffe mit einer Mindestbruchdehnung von nicht weniger als 10 % im endbearbeiteten Zustand dürfen für die Konstruktion von Druckbehältern verwendet werden.

ANMERKUNG Um dies zu erreichen, kann es erforderlich sein, mit einer höheren Dehnung wie etwa 14 % vor dem Kaltumformen zu beginnen.

5.3 Werkstoffgruppierungssystem

Anhang A von EN 13445-2:2014 gilt nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen und wird durch Anhang A dieses Teils 11 von EN 13445 ersetzt.

Das Gruppierungssystem für Titan und seine Legierungen in Tabelle A.1 in diesem Teil 11 von EN 13445 basiert auf ISO/TR 15608:2017. Nur die in Anhang C enthaltenen Sorten gelten jedoch als für geschweißte Druckbehälterkonstruktionen geeignet.

5.4 Werkstoffdokumentation

Werkstoffe für druckhaltende Teile in Übereinstimmung mit den Anforderungen dieser Europäischen Norm müssen von der Inspektionsdokumentation nach EN 10204:2004 begleitet sein.

Die Art des Inspektionsdokuments muss die Anforderungen nach EN 764-5:2014 erfüllen und eine Erklärung über die Konformität mit der Werkstoffspezifikation beinhalten.

5.5 Vermeidung von Sprödbruch

Es bestehen keine allgemeinen Anforderungen an Titan und Titanlegierungen bei Temperaturen bis

- -100 °C für die Gruppen 51.1 und 51.2 und
- -60 °C für alle anderen Gruppen.

Unterhalb dieser Temperaturen muss eine ausreichende Härte durch Schlagprüfung nachgewiesen werden, hierbei ist ein Mittelwert von 27 Joule für den Ausgangswerkstoff, die Schweißnähte und wärmebeeinflusste Bereiche zu erzielen. Alternativ darf ein Bruchmechanik-Ansatz nach EN 13445-2:2014, Anhang B, Verfahren 3 angewendet werden.

5.6 Lamellenriss

Es gelten keine spezifischen Anforderungen an den Lamellenriss von Druckbehältern aus Titan und seinen Legierungen.

6 Gestaltung

6.1 Allgemeines

Alle Anforderungen nach EN 13445-3:2014 gelten mit den folgenden Ergänzungen in 6.2 bis 6.7.

Die physikalischen Eigenschaften von Titan und Titanlegierungen sind in Anhang D angegeben.

6.2 Korrosion, Erosion und Schutz

Handelsübliche(s) reines Titan und Titanlegierungen weisen eine außergewöhnliche Beständigkeit gegen eine Vielzahl reduzierender, neutraler und oxidierender korrosiver Medien auf. Grundsätzlich ist keine Vorgabe für Lochfraß oder allgemeine Korrosion erforderlich.

Vorsicht ist bei der Gestaltung von Nähten und der Auswahl von Dichtungswerkstoffen erforderlich, wenn Spaltkorrosion auftreten könnte.

6.3 Schweißnahtfaktor

Der Schweißnahtfaktor z für Normalbetriebslastfälle ist in Tabelle 6.3-1 angegeben. Dieser Wert bezieht sich auf die Prüfgruppe der vorherrschenden Schweißverbindungen.

Prüfgruppen sind in 8.2 dieses Teils 11 von EN 13445 festgelegt.

Tabelle 6.3-1 — Schweißnahtfaktor und entsprechende Prüfgruppe

z	1	0,8
Prüfgruppe	1	3

6.4 Zeitunabhängige Berechnungsnennspannung

Die Berechnungsspannung für Titan und Titanlegierungen, die im geglühten Zustand nach Entnahme der Probebleche im Werk des Werkstoffherstellers in Betrieb genommen werden, sind in Übereinstimmung mit Tabelle 6.4-1 zu beurteilen.

Tabelle 6.4-1 — Maximal zulässige Berechnungsnennspannungswerte für Titan und Titanlegierungen für Druckteile

Sorte/Gruppe	Berechnungsspannung für Normalbetriebslastfälle (MPa)	Berechnungsspannung für Prüf- und außergewöhnliche Lastfälle (MPa)
51.1 und 51.2	$f_d = \min\left(\frac{R_{p1,0/T}}{1,5}; \frac{R_{m/T}}{3}\right)$	$f_{test} = \left(\frac{R_{p1,0/T_{test}}}{1,05}\right)$
Alle übrigen	$f_d = \min\left(\frac{R_{p0,2/T}}{1,5}; \frac{R_{m/T}}{3}\right)$	$f_{test} = \left(\frac{R_{p0,2/T_{test}}}{1,05}\right)$

Für Bemessungstemperaturen bis 50 °C darf der Wert der bei 20 °C beurteilten Berechnungsspannung verwendet werden.

ANMERKUNG Sofern die Werte für $R_{p1,0/T}$ nicht verfügbar sind, können $R_{p0,2/T}$ Werte verwendet werden.

Zug- und andere Festigkeitswerte bei Raumtemperatur dürfen bei Temperaturen unter 20 °C verwendet werden. Hierbei sind jedoch die besonderen Anforderungen an die einzelnen PMA oder nach Anhang C zu berücksichtigen.

6.5 Berücksichtigung des Kriechverhaltens

Wenn garantierte Zeitstandfestigkeitsdaten für die vorgesehene Lebensdauer des Behälters in der Werkstoffspezifikation oder durch den Werkstoffhersteller verfügbar sind, sind die Berechnungsspannungen für Normalbetriebslastfälle aus Tabelle 6.5-1 zu entnehmen.

Falls keine Zeitstandfestigkeitsdaten verfügbar sind, kann eine sichere Gestaltung durch Anwendung der Berechnungsspannungen in Tabelle 6.4-1 unter Verwendung von $R_{p0,2/T}$ anstelle von $R_{p1,0/T}$ erreicht werden.

Tabelle 6.5-1 — Maximal zulässige Berechnungsnennspannungswerte für Titan und Titanlegierungen für Druckteile für die Zeitstandfestigkeitsgestaltung, wenn garantierte Zeitstandfestigkeitsdaten vorliegen

Sorte/Gruppe	Berechnungsspannung für Normalbetriebslastfälle (MPa)
Alle	$f_d = \min\left(\frac{R_{p0,2/T}}{1,5}; \frac{R_{m/T/t}}{1,5}\right)$
$R_{m/T/t}$ ist die mittlere Zeitstandfestigkeit bei einer Berechnungstemperatur T und einer Lebensdauer t (EN 13445-3:2014, 19.3)	

Handelsübliche(s) reines Titan und Titanlegierungen können eine zeitabhängige Verformung aufweisen, wenn Lasten über längere Zeit nahe des Streckgrenzenwerts getragen werden. Der informative Anhang E enthält typische Eigenschaften.

ANMERKUNG Die zeitabhängige Verformung ist besonders relevant, wenn die Gestaltungsbedingungen zu $R_{m/T/t/3}$ von mehr als 70 % von $R_{p0,2/T}$ führen. Unter diesen Umständen sollte der Gestalter die Auswirkung dieser Eigenschaften, die die zeitabhängige Verformung beeinflussen, berücksichtigen und sich gegebenenfalls an einen Metallurgie-Experten werden.

6.6 Hüllen unter äußerer Druckeinwirkung

Die Anforderungen des Abschnitts 8 von EN 13445-3:2014 gelten mit den folgenden in Tabelle 6.6-1 angegebenen Änderungen:

Tabelle 6.6-1 — Zulässige Elastizitätsgrenze

Sorte/Gruppe	Elastizitätsgrenze von Hüllen (MPa)	Elastizitätsgrenze von Versteifungen (MPa)
51.1 und 51.2	$\sigma_e = \left(\frac{R_{p1,0/T}}{1,25}\right)$	$\sigma_{es} = \left(\frac{R_{p1,0/T,s}}{1,25}\right)$
Alle übrigen	$\sigma_e = \left(\frac{R_{p0,2/T}}{1,25}\right)$	$\sigma_{es} = \left(\frac{R_{p0,2/T,s}}{1,25}\right)$

ANMERKUNG Sofern die Werte für $R_{p1,0/T}$ nicht verfügbar sind, können $R_{p0,2/T}$ Werte verwendet werden.

Die Werte des Elastizitätsmoduls E in Abhängigkeit von der Temperatur sind in Anhang D dieses Teils 11 von EN 13445 angegeben.

6.7 Flansche

Die Anforderungen in Abschnitt 11 oder Anhang G von EN 13445-3:2014 gelten mit den folgenden Änderungen:

Dichtungen aus Polymeren oder polymerhaltigen Werkstoffen, die Fluoride bei thermischer oder säureinduzierter Zersetzung freisetzen können, dürfen nicht verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Aufgrund der hohen elastischen Verformung von Titan und Titanlegierungen wird die Anwendung des Anhangs G von EN 13445-3:2014 gegenüber Abschnitt 11 von EN 13445-3:2014 bevorzugt, um die Dichtigkeit von aus solchen Werkstoffen hergestellten Flanschen sicherzustellen.

ANMERKUNG 2 Aktuelle Europäische Normen für Rohrleitungsflansche enthalten keine Bewertungstabellen für Titan und Titanlegierungen, sodass die Anwendung von Standardflanschen ohne Berechnung nicht möglich ist.

6.8 Ermüdungsfeste Gestaltung

Für Lasten bis zu 500 gleichen Volldruckzyklen ist keine Ermüdungsanalyse erforderlich. Bei mehr als 500 Zyklen gelten die Anforderungen des Abschnitts 17 EN 13445-3:2014 mit den folgenden Änderungen:

Die Anwendung des Abschnitts 17 (siehe 17.4.4 von EN 13445-3:2014) auf Titan und Titanlegierungen ist auf Temperaturen von nicht mehr als 150 °C zu begrenzen.

Der Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Temperatureinflusses auf die Ermüdungsbeständigkeit (siehe 17.6.2.2 von EN 13445-3:2014) beträgt:

Für $T^* \geq 100$ °C:

$$C_T = 0,518 - 9,41 \times 10^{-5} T^* - 8,46 \times 10^{-7} (T^*)^2 \quad (6.7-1)$$

Für $T^* < 100$ °C, $C_T = 0,5$.

Die Anforderungen des Abschnitts 18 von EN 13445-3:2014 gelten mit den folgenden Änderungen:

Die Anwendung des Abschnitts 18 (siehe 18.4.3 von EN 13445-3:2014) auf Titan und Titanlegierungen ist auf Temperaturen von nicht mehr als 150 °C zu begrenzen.

Der Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Temperatureinflusses auf die Ermüdungsbeständigkeit f_{T^*} (siehe 18.10.6.2 von EN 13445-3:2014) ist gegeben durch:

Für $T^* \geq 100$ °C:

$$f_{T^*} = 0,518 - 9,41 \times 10^{-5} T^* - 8,46 \times 10^{-7} (T^*)^2 \quad (6.7-2)$$

Für $T^* < 100$ °C, $f_{T^*} = 0,5$.

7 Herstellung

7.1 Allgemeines

EN 13445-4:2014 gilt mit den folgenden Änderungen in 7.2 bis 7.18.

ANMERKUNG Nicht alle Schweißprozesse sind für alle Titanlegierungen geeignet.

7.2 Zusatzwerkstoffe

In allen Fällen, in denen die Zusatzwerkstoffe nicht mit dem Grundwerkstoff übereinstimmen, müssen die verwendeten Zusatzwerkstoff-Kombinationen für die Betriebsbedingungen geeignet sein.

ANMERKUNG Schweißverbrauchsmaterialien dürfen aus EN ISO 24034:2010 ausgewählt werden.

7.3 Verbindung ungleicher Metalle

Verbindungen ungleicher Metalle sind grundsätzlich nicht für das Fusionsschweißen mit den meisten handelsüblichen Titanlegierungen geeignet.

7.4 Einlegestreifen, Sickenstöße und nicht vollständig durchgeschweißte Nähte

Dauerhafte Einlegestreifen und Sickenstöße dürfen nicht verwendet werden. Nicht vollständig durchgeschweißte Nähte dürfen nicht für Längs- oder Umfangsschweißnähte druckhaltender Teile verwendet werden.

7.5 Qualifizierung der Schweißverfahrens-Spezifikationen (WPQR)

Die Anforderungen des Abschnitts 7.3 von EN 13445-4:2014 gelten mit den folgenden Änderungen:

Die Abnahmeprüfung von Fusionsschweißverfahren ist nach EN ISO 15614-5:2004 oder gegebenenfalls EN ISO 15614-8:2016 durchzuführen, aufzuzeichnen und zu dokumentieren.

Anhang B von EN 13445-2:2014 ist nicht anwendbar.

Schlagprüfungen sind normalerweise nicht erforderlich bei Druckbehältern aus Titan und Titanlegierungen bei Temperaturen bis -100 °C für die Gruppen 51.1 und 51.2 sowie -60 °C für alle anderen Gruppen (siehe 5.5).

7.6 Qualifizierung von Schweißern und Bedienern von Schweißeinrichtungen

Die Anforderungen des Abschnitts 7.4 von EN 13445-4:2014 gelten mit den folgenden Änderungen:

Die Verweisung auf EN ISO 9606-1 wird durch EN ISO 9606-5:2000 ersetzt.

7.7 Vorbereitung der Verbindung

Zusätzlich zu den Anforderungen nach 7.6 in EN 13445-4:2014 gilt Folgendes für Druckbehälter aus Titan und seinen Legierungen:

Alle Werkstoffe müssen vorzugsweise durch nicht-thermische Prozesse wie maschinelle Bearbeitung oder Wasserstrahlschneiden auf Maß geschnitten und geformt werden.

Durch Scherschneiden und thermische Prozesse wie Brennschneiden, Plasmaschneiden und Laserschneiden geschnittene Oberflächen müssen mechanisch abgerichtet werden.

Durch thermische Prozesse geschnittene Kanten, die zu verschweißen sind, müssen um einen Abstand von 1,5 mm für Laserschneiden und Scherschneiden und 5 mm für alle anderen Prozesse abgerichtet werden, sofern der Hersteller nicht nachweisen kann, dass der Werkstoff durch den Schneidprozess nicht beeinträchtigt wurde.

ANMERKUNG 1 Feuersicherheitsverfahren sollten bei der Handhabung und Kontrolle von Feingut und Spänen angewendet werden.

Alle zu verschweißenden Oberflächen müssen gründlich an beiden Seiten der Naht über einen Abstand von 50 mm zu jeder Schweißkante gereinigt werden. Die Reinigung muss durch Entfetten mit einem geeigneten Lösungsmittel wie Aceton auf einem faserfreien Tuch vor und nach dem Edelstahl- oder Titan-Drahtbürsten erfolgen. Die Oberflächen müssen trocken sein, bevor mit dem Schweißen begonnen wird.

ANMERKUNG 2 Reinigungsflüssigkeiten, die Methylalkohol oder Schwefel enthalten, sollten nicht verwendet werden.

7.8 Ausführen von Schweißnähten

Zusätzlich zu den Anforderungen nach 7.7 in EN 13445-4:2014 gilt Folgendes für Druckbehälter aus Titan und seinen Legierungen:

Jede Schweißmetalllage muss gründlich gereinigt werden, bevor die nächste Lage aufgetragen wird. Bürsten müssen entweder aus Edelstahl oder aus Titan bestehen und dürfen nur auf Titan oder Titanlegierungen verwendet werden.

Wenn das Schweißverfahren das Entfernen der Wurzel erfordert, muss vor dem Schweißen der zweiten Seite doppelseitiger Nähte das Metall auf der Unterseite der ersten Seite durch maschinelle Bearbeitung oder Feilen auf sauberes Metall zurückgeschnitten werden.

Wenn Zündstellen eine inakzeptable Oxidverfärbung aufweisen (siehe Tabelle 8.6-1), ist der betroffene Bereich zu entfernen und gegebenenfalls durch ein genehmigtes Schweißverfahren zu reparieren.

Um eine Verunreinigung der erhitzten Oberflächen durch Sauerstoff, Wasserstoff oder Stickstoff zu vermeiden, muss das Schweißverfahren wie folgt ausgeführt werden:

- a) in einer geeigneten Argon enthaltenden Kammer oder
- b) durch Verwendung nachlaufender und lüftender Argonabschirmungen.

Schweißwülste und der umgebende Bereich müssen geschützt werden, bis die Schweißwulst auf weniger als 250 °C abgekühlt ist.

Schweißdraht muss vor dem Schweißen gründlich entfettet werden. Wenn der Schweißdraht während oder nach dem Schweißen aus dem Gasschutz entfernt wird, müssen die ersten 20 mm vor dem Fortsetzen des Schweißvorgangs entfernt werden.

Wenn der Schweißvorgang aus irgendeinem Grund unterbrochen wird, muss bei der Fortsetzung auf eine ausreichende Gasabschirmung des Schweißbereichs mit angemessener Fusion und Eindringung in den Grundwerkstoff geachtet werden.

7.9 Vorheizen

Das Vorheizen von Titan und Titanlegierungen ist aus metallurgischen Gründen nicht erforderlich und daher nicht zwingend vorgeschrieben. Vorheizen kann aus praktischen Gründen durch den Hersteller angewendet werden, z. B. kann eine Erhitzung auf etwa 50 °C die Beseitigung von Wasserrückständen erleichtern.

7.10 Produktionsprüfungen, Bezugskriterien

Die Anforderungen des Abschnitts 8.2 von EN 13445-4:2014 gelten mit den folgenden Änderungen:

Bei Temperaturen von nicht weniger als -100 °C für die Gruppen 51.1 und 51.2 und -60 °C für alle anderen Gruppen gelten die Anforderungen an die Schlagprüfung von Produktionsprüfplatten nicht für Titan und seine Legierungen; 8.2 a) von EN 13445-4:2014 ist nicht anwendbar.

Produktionsprüfplatten für Behälter aus Titan und Titanlegierungen der Gruppe 51 sind in Übereinstimmung mit 8.2 d) von EN 13445-4:2014 auszuführen.

Produktionsprüfplatten für Behälter aus Titan und Titanlegierungen der Gruppe 52 und 53 sind in Übereinstimmung mit 8.2 e) von EN 13445-4:2014 auszuführen.

7.11 Prüfungsumfang

Die Anforderungen des Abschnitts 8.3 von EN 13445-4:2014 gelten mit den folgenden Änderungen:

Tabelle 8.3-1 ist durch Tabelle 7.11-1 unten zu ersetzen:

Tabelle 7.11-1 — Prüfung von Produktionsprüfplatten

Werkstoffgruppe	Dicke der Prüfplatte e^a mm	Prüfkörper ^b
Alle	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma
	$12 < e$	2 SB ^c , 1 TT, 1 Ma
^a Geringere Plattendicke. ^b Die Symbole für Tabelle 7.11-1 sind in Tabelle 8.3-2 von EN 13445-4:2014 angegeben. ^c SB = Seitenbiegungen.		

7.12 Ausführung der Prüfung und Abnahmekriterien

Es gelten die Anforderungen nach 8.4.1, 8.4.2, 8.4.5, 8.4.6, 8.4.9 und 8.4.10 von EN 13445-4:2014.

7.13 Umformverfahren

7.13.1 Kaltumformen

Die Anforderungen nach 9.3.1 von EN 13445-4:2014 gelten nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen.

Das Kaltumformen von Titan- und Titanlegierungswerkstoffen muss bei Temperaturen unter 200 °C erfolgen.

ANMERKUNG Es wurde vorgeschlagen, die Grenztemperatur für das Kaltumformen von 200 °C auf 300 °C zu erhöhen, da bei dieser Temperatur keine metallurgischen Veränderungen im Werkstoff auftreten (nur geringere Festigkeit und höhere Dehnung). Dieser Aspekt wird während der Umfrageabstimmung erwogen und kommentiert.

Die Sauberkeit der Werkzeuge und die Auswahl der richtigen Schmierungen sind von besonderer Bedeutung. Geeignete Zwischenmaterialien sind zwischen dem Umformwerkzeug und dem Werkstück anzuwenden.

Alle Kaltumformverfahren dürfen verwendet werden.

7.13.2 Warmumformen

Die Anforderungen nach 9.3.2 von EN 13445-4:2014 gelten nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen.

Das Warmumformen von Titan- und Titanlegierungswerkstoffen muss in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Herstellers erfolgen. Die Verfahrensanweisungen müssen Angaben wie die Werkstoffvorbereitung für das Erhitzen, die Erhitzungsdauer und -temperaturen, die Inspektions- und Qualitätskontrolle und alle anschließenden Wärmebehandlungs- und Reinigungsverfahren enthalten.

Der Werkstoff muss gleichmäßig in einem Ofen bei einer Temperatur von maximal 600 °C unter Anwendung einer leicht oxidierenden oder inerten Atmosphäre erhitzt werden. Die Einwirkzeit darf nicht mehr als eine Stunde pro 50 mm der Abschnittdicke betragen und muss auf ein Minimum begrenzt werden.

Der Werkstoff muss gleichmäßig und ohne Flammeneinwirkung erhitzt werden.

ANMERKUNG 1 Die meisten Brennstoffe dürfen verwendet werden, sofern schädliche Verunreinigungen wie etwa durch Schwefel gering gehalten werden.

Titan und Titanlegierungen muss/müssen vor dem Erhitzen gereinigt werden.

ANMERKUNG 2 Jeder Kontakt mit Fremdstoffen wie etwa Markierungsmaterialien, Gesenkschmiermitteln, Beizflüssigkeiten und Abfallprodukten, die bei erhöhten Temperaturen auf den Werkstoff gelangen können, sollte vermieden werden.

7.14 Wärmebehandlung nach dem Umformen

7.14.1 Allgemeines

Die Wärmebehandlung nach dem Kalt- oder Warmumformen muss in Übereinstimmung mit den Anforderungen nach 7.14.2, 7.14.3 oder 7.14.4 erfolgen.

ANMERKUNG Im Fall der Verwendung von Titan und Titanlegierungen wird auf die Auswirkung der Wärmebehandlung auf die Werkstoffe und insbesondere auf die Bildung der spröden Alpha-Case-Schicht hingewiesen, wenn eine oxidierende Atmosphäre verwendet wird. Bei entspannenden Behandlungen sollte daher besonders auf die Wärmebehandlungsatmosphäre geachtet werden. Titan und Titanlegierungen sollten nur unter Argon, Helium oder im Vakuum wärmebehandelt werden. Eine entspannende Wärmebehandlung nach dem Schweißen ist bei handelsüblichem reinem Titan üblicherweise nicht erforderlich.

7.14.2 Wärmebehandlung von flachen Produkten nach dem Kaltumformen

Die Anforderungen nach 9.4.2 von EN 13445-4:2014 gelten nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen.

Die Wärmebehandlung flacher Produkte nach dem Kaltumformen muss in Übereinstimmung mit 7.14.5 erfolgen, sofern durch Tabelle 7.14-1 vorgeschrieben.

Tabelle 7.14-1 — Wärmebehandlung von flachen Produkten nach dem Kaltumformen

Werkstoffgruppen	Verformungsfaktor F	Wärmebehandlung
51.1 und 51.2	$F \leq 12,5 \%$	Nein
51.1 und 51.2	$F > 12,5 \%$	Ja, glühen
Alle übrigen	$F \leq 10 \%$	Nein
Alle übrigen	$F > 10 \%$	Ja, glühen
Die Wärmebehandlung nach dem Formen gewölbter Böden ist nicht erforderlich, wenn die Mindestbruchdehnung nach dem Materialprüfzertifikat nicht weniger als 25 % beträgt.		

7.14.3 Wärmebehandlung von Rohrprodukten nach dem Kaltumformen

Die Anforderungen nach 9.4.3 von EN 13445-4:2014 gelten nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen.

Die Wärmebehandlung von Rohrprodukten nach dem Kaltumformen muss in Übereinstimmung mit 7.14.5 erfolgen, sofern durch Tabelle 7.14-2 vorgeschrieben.

Tabelle 7.14-2 — Wärmebehandlung von Rohrprodukten nach dem Kaltumformen

Werkstoffgruppen	Rohrbiegeradius R	Wärmebehandlung
51.1 und 51.2	$R \geq 3,0 D_e$	Nein
51.1 und 51.2	$R < 3,0 D_e$	Ja, glühen
Alle übrigen	$R \geq 4,0 D_e$	Nein
Alle übrigen	$R < 4,0 D_e$	Ja, glühen

7.14.4 Wärmebehandlung nach dem Warmumformen

Die Anforderungen nach 9.4.5 und 9.4.6 von EN 13445-4:2014 gelten nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen.

Eine Wärmebehandlung von Titan und Titanlegierungen in den Gruppen 51.1, 51.2 und 52 ist nach dem Warmumformen nicht erforderlich. Für Werkstoffe der Gruppen 51.3 und 53 wird eine Wärmebehandlung nach dem Warmumformen empfohlen und muss in Übereinstimmung mit 7.14.5 ausgeführt werden.

7.14.5 Glühen

Nach dem Warmumformen oder sofern nach dem Kaltumformen vorgegeben, muss das Material in Übereinstimmung mit Tabelle 7.14-3 gegläht werden. Vorkehrungen müssen getroffen werden, um Verunreinigung und Versprödung zu vermeiden. Nach dem Glühen kann eine Entzunderung der Oberflächen erforderlich sein.

Tabelle 7.14-3 — Wärmebehandlungstemperaturen für handelsübliche(s) Titan und Titanlegierungen

Gruppe	Glühen	
	Temperatur °C	Zeit h
51	650 – 730	½ – 4
52 und 53	700 – 780	½ – 4

ANMERKUNG 1 Es wird auf die Auswirkung der Wärmebehandlung auf diese Werkstoffe und insbesondere auf den Oberflächenzustand hingewiesen, wenn eine oxidierende Atmosphäre verwendet wird. In diesem Fall ist Sandstrahlen und/oder Beizen und eine Passivierung nach der Wärmebehandlung erforderlich. Die Wärmebehandlung sollte vorzugsweise unter Argon oder Helium oder in einem Vakuum erfolgen.

ANMERKUNG 2 Die Wärmebehandlung in einer reduzierenden Atmosphäre führt zu Wasserstoffabsorption und Versprödung.

7.15 Probenahme umgeformter Produkte

7.15.1 Kaltumgeformte Produkte ohne Wärmebehandlung

Die Anforderungen nach 9.5.1 von EN 13445-4:2014 gelten nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen.

Falls die Tabellen 7.14-1 oder 7.14-2 keine Wärmebehandlung nach dem Kaltumformen vorschreiben, sind mechanische Prüfungen nicht erforderlich.

7.15.2 Warmumgeformte oder kaltumgeformte Produkte mit Wärmebehandlung

Die Anforderungen nach 9.5.2 von EN 13445-4:2014 gelten nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen.

Die Konformität mit den Werkstoffspezifikationen ist durch eines der folgenden Verfahren zu prüfen:

- aus der überschüssigen Länge des umgeformten Teils entnommene Probebleche;
- alternativ separat umgeformte Probebleche, die zusammen mit den umgeformten Teilen wärmebehandelt wurden;
- separat umgeformte Probebleche mit simulierter Wärmebehandlung.

Die folgende Anzahl von Probeblechen ist aus jedem Werkstoffguss zu entnehmen:

- a) ein Probeblech aus einer Charge von bis zu 10 Teilen;
- b) zwei Probebleche aus einer Charge von bis zu 25 Teilen;
- c) drei Probebleche aus einer Charge von bis zu 100 Teilen;
- d) ein Probeblech für jeweils weitere 100 Teile.

7.16 Prüfungen

7.16.1 Ausgangswerkstoff

Die Anforderungen nach 9.6.1 von EN 13445-4:2014 gelten nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen.

Für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen muss eine Zugprüfung an jedem nach 7.15.2 geforderten Probeblech vorgenommen werden. Die Prüfkörper müssen quer zur Walzrichtung mit einer Abweichung von nicht mehr als 20° entnommen werden.

7.16.2 Stumpfschweißungen

Die Anforderungen nach 9.6.2 von EN 13445-4:2014 gelten nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen.

ANMERKUNG Dies beschränkt nicht das Erfordernis einer PQR-Prüfung im wärmebehandelten Zustand, wie durch 7.5 gefordert.

7.17 Wärmenachbehandlung nach dem Schweißen (PWHT)

Die Anforderungen nach Abschnitt 10 von EN 13445-4:2014 gelten nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen.

Folgendes gilt:

Eine Wärmebehandlung nach dem Schweißen ist für geschweißte Druckbehälter aus Titan oder Titanlegierungen üblicherweise nicht erforderlich.

Falls eine Wärmebehandlung nach dem Schweißen erforderlich ist, muss diese in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Werkstoffherstellers erfolgen.

7.18 Instandsetzungen

Die Anforderungen nach EN 13445-4:2014, 11.1 gelten mit der Ausnahme, dass die Oberflächenprüfung gegebenenfalls durch PT erfolgen muss.

Die Anforderungen nach EN 13445-4:2014, 11.2 gelten nicht und sind zu ersetzen durch:

Schweißfehler sind durch maschinelle Bearbeitung oder Fräsen zu entfernen. Sofern die Fehler durch Schleifen entfernt werden, müssen die Schweißoberflächen auf 1,5 mm durch Fräsen abgerichtet werden, sofern der Hersteller nicht zur Zufriedenheit der Prüfstelle nachweisen kann, dass der Werkstoff durch den Schleifprozess nicht beeinträchtigt wird.

Reparaturschweißarbeiten müssen unter Verwendung eines qualifizierten PQR durch qualifizierte Schweißer erfolgen. Instandgesetzte Schweißnähte müssen anhand desselben Verfahrens wie bei der ursprünglichen Schweißnaht untersucht werden.

8 Inspektion und Prüfung

8.1 Allgemeines

Die Anforderungen von EN 13445-5:2014 gelten mit den folgenden Änderungen:

8.2 Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen

8.2.1 Allgemeines

Die zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen hängt von der Prüfgruppe in Tabelle 8.2-1 ab.

Bei allen Prüfgruppen ist eine hundertprozentige Sichtprüfung erforderlich. Die Prüfgruppen 2 und 4 sind nicht für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen zugelassen.

Tabelle 8.2-1 — Prüfgruppen für Druckbehälter aus Titan und Titanlegierungen

Anforderungen	Prüfgruppe	
	1	3
Zugelassene Werkstoffe ^a	Alle	Alle
Umfang der zerstörungsfreien Prüfung für maßgebende Schweißverbindungen ^{b c}	100 %	10 %
Zerstörungsfreie Prüfung anderer Schweißnähte	Festgelegt für jeden Schweißnahttyp in Tabelle 6.6.2-1 von EN 13445-5:2014	
Schweißnahtfaktor	1	0,80 ^d
Mindestdicke, für die bestimmte Werkstoffe zugelassen sind	Unbegrenzt	3 mm
Höchst Dicke, für die bestimmte Werkstoffe zugelassen sind	Unbegrenzt ^e	Unbegrenzt
Schweißverfahren	Unbegrenzt ^e	Unbegrenzt ^e
Betriebstemperaturbereich für Gruppe 51.1	−150 °C bis 250 °C	−150 °C bis 250 °C
Betriebstemperaturbereich für die Gruppen 51.2, 52 und 53	−50 °C bis 300 °C	−150 °C bis 300 °C
^a Siehe Abschnitt 5 dieses Teils 11 für zugelassene Materialien. ^b Einzelheiten zu Prüfungen sind in Tabelle 8.3-1 dieses Teils 11 enthalten. ^c Der Prozentsatz bezieht sich auf den Prozentsatz der Schweißnähte jedes einzelnen Behälters. ^d Der Schweißnahtfaktor wurde von 0,85 auf 0,80 reduziert, um Schwierigkeiten beim Schweißen von Titan zu berücksichtigen. ^e „Unbegrenzt“ bedeutet: keine zusätzliche Begrenzung aufgrund der Prüfung. Die in dieser Tabelle aufgeführten Grenzwerte sind prüfungsinduzierte Grenzwerte. Sonstige in den verschiedenen Abschnitten der Norm angegebene Grenzwerte (z. B. Konstruktions-, Werkstoffgrenzwerte usw.) sind ebenfalls zu berücksichtigen.		

8.3 Bestimmung des Umfangs der zerstörungsfreien Prüfung

Die Anforderungen nach 6.6.2 von EN 13445-5:2014 gelten mit den folgenden Änderungen:

Tabelle 6.6.2-1 von EN 13445-5:2014 ist zu ersetzen durch Tabelle 8.3-1 dieses Teils 11 von EN 13445.

6.6.2.2 ist zu ersetzen durch:

Tabelle 8.3-1 gilt für die folgenden Arten von Schweißverbindungen:

- a) mehrlagige Schweißverbindungen mit einseitig oder beidseitig geschweißten Nähten;
- b) mit Wolfram-Inertgas (WIG 141) ausgeführt.

Spezielle aus Elementen wie nachfolgend beschrieben entstehende Probleme sind speziell bei Längsverbindungen zu berücksichtigen:

- 1) anderer Prozess, z. B. Plasma-15-, Elektronenstrahl (EB)-76-, Reibungsschweißen 42;
- 2) Einlagenschweißnaht, eine Lage von einer oder beiden Seiten;
- 3) Automaten- und mechanisierte Schweißprozesse.