

# EN13445 in der Praxis – Konstruktion-Berechnung-Prüfung-Werkstoffe im Vergleich zu anderen Regelwerken

Michael Krämer, TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München, Deutschland

## Abstract

Mit Erscheinen der harmonisierten Norm EN13445 im Jahre 2002 zur Erfüllung der Grundlegenden Anforderungen des Anhang I der Druckgeräte-Richtlinie 97/23/EG, entstand zum ersten Mal die Möglichkeit die Anforderungen zur Herstellung, Design und Prüfung von Druckgeräten in Europa zu vereinheitlichen. Vor dem Hintergrund der in den Mitgliedsstaaten bestehenden nationalen Regelwerke und den damit entsprechenden Erfahrungen im Hinblick auf Herstellung und Betrieb von Druckgeräten und der damals noch unvollständigen und fehlerhaften EN 13445, wurden die nationalen Regelwerke an die Anforderungen der Druckgeräte-Richtlinie 97/23/EG als Alternative zu der harmonisierten Norm angepasst. Dadurch kam in dieser Zeit die EN 13445 eher selten bzw. gar nicht zur Anwendung. Nach Beitritt der osteuropäischen Mitgliedsstaaten zur Europäischen Union, entstand bei den dortigen Herstellern von Druckgeräten der Bedarf, ein Regelwerk zur Verfügung zu haben, dass zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen des Anhang I angewendet werden konnte. Nachdem kein eigenes national gültiges Regelwerk zur Verfügung stand mit dem die Druckgeräte-Richtlinie erfüllt werden konnte, wurde schrittweise in diesen Ländern die EN13445 als harmonisierte Norm eingesetzt. Damit stieg die Zahl der Anwender der EN 13445 in Europa (vorwiegend in Osteuropa und Skandinavien) über die letzten Jahre kontinuierlich. Zusätzlich verweisen andere Rechtsvorschriften (z.B. die Richtlinie für Medizinprodukte oder Normen für Gefahrgut-Tanks) in den Punkten Design, Herstellung und Prüfung von Druckgeräten auf die EN 13445. Damit stieg die Zahl der Anwender stetig.

Parallel wurde der ASME-Code Section VIII Div. 1/2 durch entsprechende zusätzliche Festlegungen von Anforderungen im Anhang Z als Alternative zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen des Anhang I angepasst. Damit entstand für die EN13445 eine weitere Hürde sich als einziges Regelwerk in Europa zu etablieren.

Die in den letzten Jahre seit Bestehen der harmonisierten Norm entstandenen Ergänzungen und Änderungen zur Anpassung an den Stand der Technik, wurden in der 2009 herausgebrachten konsolidierten Fassung EN 13445:2009 eingearbeitet. Mit dem neu hinzugekommenen Teil 8, der die zusätzlichen Anforderungen an Druckbehälter aus Aluminium und Aluminiumlegierungen beinhaltet, und der Auslegung im Zeitstandbereich nach Abschnitt 19 Teil 3 bildet die EN 13445 zum ersten Mal eine vollständige Alternative zu anderen anwendbaren Regelwerken.

Nun liegt es an den Herstellern und Betreibern, die Verbreitung der EN 13445 und den damit vollständigen Abbau von Handelshemmnissen in Europa voranzutreiben.

Damit sind zudem erste Voraussetzungen geschaffen, eine Vereinheitlichung hinsichtlich des Betriebes von Druckgeräten in Europa zu ermöglichen.

## 1 Aufbau der EN 13445:2009 im Vergleich zu anderen Regelwerken

Die EN 13445 wurde in der neuen konsolidierten Fassung (2009) um den Teil 8 „Zusätzliche Anforderungen an Druckbehälter aus Aluminium und Aluminiumlegierungen“ erweitert. In allen Teilen der Norm entstand der neue Anhang Y, der einen Überblick über die Änderungen gegenüber der vorherigen Ausgabe (EN 13445:2002) gibt. Gegenüber dem AD2000 Regelwerk sind in der EN 13445:2009 die einzelnen Anforderungen an Design, Herstellung und Prüfung wie folgt strukturiert (Tabelle 1):

Herstellung	Teil 4	Reihe HP
Inspektion und Prüfung	Teil 5	
Anforderungen an die Konstruktion und Herstellung von Druckbehältern und Druckbehältereilen aus Gusseisen mit Kugelgraphit	Teil 6	Reihe A4, B, S2 Anhang 5, HP, W3/2, Teile W5
Zusätzliche Anforderungen an Druckbehältern aus Al und Aluminiumlegierungen	Teil 8	Reihe A4, A401, B, S2 Anhang 6, HP, W6/1

Tabelle 1: Aufbau EN 13445:2009 / AD2000

	EN 13445	AD2000
Allgemeines	Teil 1	Reihe G
Werkstoffe	Teil 2	Reihe W
Konstruktion	Teil 3	Reihe A4, B, S

Der in Form eines Beiblatts vorliegende Teil 7 der Norm (CR 13445-7) dient als Anleitung für den Gebrauch des Konformitätsbewertungsverfahrens und Teil 9 als technischer Bericht zur Darstellung der Übereinstimmung der Normenreihe EN 13445 mit ISO 16528-1 „Dampfkessel und Druckbehälter — Teil 1-Anforderungen“.

## 2 Werkstoffe

Im Teil 2 der EN13445 werden die grundsätzlichen Anforderungen an Werkstoffe (einschließlich Plattierungswerkstoffe und Schweißzusätze) für unbefeuerte Druckbehälter festgelegt.

Der Geltungsbereich bezieht sich auf Stahlwerkstoffe mit ausreichender Dehnung und Duktilität. Abweichend zum AD2000 Regelwerk werden andere Werkstoffe wie z.B. GfK, Grafit, Glas, Kupfer und Kupferlegierungen nicht geregelt. Anforderungen an Druckbehälter aus Gusseisen und Aluminium / Aluminiumlegierungen werden in den Teilen 6 und 8 festgelegt. Der normative Anhang A des Teil 2 enthält in der Tafel A-1 die systematische Gruppeneinteilung der Stähle auf der Grundlage CR ISO 15608:2000 (Bild 1). Diese Systematik wird in allen anderen Teilen der Norm wie auch im AD2000 angewendet. Jedoch ist im Gegensatz zur vorherigen Fassung EN 13445:2002 die Werkstoffgruppe 11 „Stähle mit höherem Kohlenstoffgehalt > 0,25%“ entfallen.

Gruppen der Stähle (EN 13445-2/CR ISO 15608:2000)	
1	Stähle mit $ReH \leq 460 \text{ N/mm}^2$ (mit max. Gehalten an C, Si, Mn, Mo, S, P, Cu, Ni, Cr, Nb, V, Ti) (1.1: $ReH \leq 275$ , 1.2: $275 < ReH \leq 360$ , 1.3: normal. FKS mit $ReH > 360$ , 1.4: "weiterfeste" Stähle)
2	TM-Stähle und Stahlguß mit einer Mindeststreckgrenze $ReH > 360 \text{ N/mm}^2$ (2.1: $360 < ReH \leq 460$ , 2.2: $ReH > 460$ )
3	Vergütete und ausscheidungsgehärtete Stähle mit $ReH > 360 \text{ N/mm}^2$ (3.1: $360 < ReH \leq 690$ , 3.2: $ReH > 690$ , 3.3: ausscheidungsgehärtete Stähle)
4	Niedrig vanadiumlegierte Cr-Mo-(Ni) Stähle mit $Mo \leq 0,7\%$ und $V \leq 0,1\%$ (4.1: $Cr \leq 0,3\%$ und $Ni \leq 0,7\%$ , 4.2: $Cr \leq 0,7\%$ und $Ni \leq 1,5\%$ )
5	Vanadiumfreie Cr-Mo Stähle mit $C \leq 0,35\%$ (In Abhängigkeit von Cr, Mo-Gehalt gibt es 4 Untergruppen: 5.1 - 5.4)
6	Hoch vanadiumlegierte Cr-Mo-(Ni) Stähle (es gibt 4 Untergruppen: 6.1 - 6.4)
7	Ferrit (7.1), martensit (7.2) und ausscheidungsgehärtete (7.3) nichtrost. Stähle (mit $C \leq 0,35\%$ und $10,5\% \leq Cr \leq 30\%$ )
8	Austenitische nichtrostende Stähle (8.1: $Cr \leq 19\%$ , 8.2: $Cr > 19\%$ , 8.3: $4\% < Mn \leq 12\%$ )
9	Nickellegierte Stähle mit $Ni \leq 10\%$ (9.1: $Ni \leq 3\%$ , 9.2: $Ni \leq 8\%$ , 9.3: $Ni \leq 10\%$ )
10	Austenitisch-ferritische nichtrostende Stähle (Duplex) (10.1: $Cr \leq 24\%$ , 10.2: $Cr > 24\%$ )

Bild 1: Gruppeneinteilung Stähle auf der Grundlage CR ISO 15608:2000

Gemäß EN 13445 Teil 2 werden Werkstoffe als geeignet angesehen, wenn sie entweder den europäischen harmonisierten Normen für Halbzeuge (Bleche, Bänder, Stäbe, Rohre, Schmiedestücke, Gussstücke) unter Beachtung der zu berücksichtigenden Fertigungs- und Betriebsbedingungen oder einer europäische Werkstoffzulassung unter Beachtung der besonderen Anforderungen nach Abschnitt 4.1 und 4.2 entsprechen.

Der Nachweis der Güteeigenschaft kann abweichend zum AD2000 mit einem nach EN 10204 festgelegten Abnahmeprüfzeugnis 3.1 bescheinigt werden, sofern der Hersteller ein, von einer in der Gemeinschaft niedergelassenen zuständigen Stelle zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem anwendet. Liegt ein solches QS-System nicht vor, ist für die drucktragenden Hauptteile entsprechend EN 764-5 (direktes Verfahren) der Nachweis mit einem Abnahmeprüfzeugnis 3.2 zu bescheinigen. Für Werkstoffe gemäß ASME-Code ist grundsätzlich eine Einzelbegutachtung unter Beachtung des Anhang Z durchzuführen.

Für Schweißzusätze ist eine Eignungsprüfung (VdTÜV-zugelassener Schweißzusatz) durch eine zuständige unabhängige Stelle nicht zwingend notwendig. Dieser Nachweis kann von dem Hersteller unter Beachtung des Abschnittes 4.3.5 erbracht und mit einem Abnahmeprüfzeugnis 2.2 bescheinigt werden. Jedoch muss der Hersteller auch hier ein durch eine unabhängige Stelle entsprechendes überprüftes Qualitätssicherheitssystem hinsichtlich des Produktes (siehe PED Anhang I Abs. 4.3) vorweisen. Werkstoffe, die für den Bau von Druckgeräten geeignet sind, werden in dem im Teil 2 geänderten informativen Anhang E (Bild 2) tabellarisch unter Beachtung der dort genannten Festlegungen (hinsichtlich Wanddicken, Wärmebehandlungszuständen und weiteren Anforderungen) aufgeführt.

### Druckbehälterstähle (EN 13445-2, Anh. E.2, informativ)

Stahlerzeugnisse in Tafel A.2 erfüllen die Anforderungen für Druckbehälter nach EN 13445 ↓

Nr.	Erzeugnisform	EN-Norm	Werkstoffart	Kurzname	W-Nr.	Wärmebehandlung h)	Dicke [mm] min-max	Gruppe CR ISO 15608	Bemerkung
1	Blech und Band	10028-2	warmfest	P235GH	1.0345	N	0 - 150	1.1	

436	Gußstück	10213-4	nichtrostend, austent.-ferrit.	GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	AT	0 - 150	10.2	c)
-----	----------	---------	--------------------------------	------------------	--------	----	---------	------	----

- Bemerkung
- a) hinsichtlich der Anforderungen nach DGRL und EN 13445-2 als geeignet betrachtet
  - b) Wegen C-Gehalt sind besondere Vorkehrungen beim Schweißen
  - c) Einzelheiten zur Wärmebehandlung siehe EN 10216
  - d) Siehe Anh. B, Tafel B.1-1 "Anforderungen zur Vermeidung von Sprödbbruch ..."
  - e) - g)
  - h) Wärmebehandlungszustand: A gegülht, AT lösungsgegülht, N normalisiert ...

Bild 2: Anhang E, Tabelle E.2-1 Europäische Normen für Stähle

Für Druckgeräte mit Auslegungstemperaturen unter 50°C ist zusätzlich zur Vermeidung von Sprödbbruch eine ausreichende Zähigkeit bei tiefen Temperaturen nachzuweisen. Im Anhang B der EN 13445 Teil 2 sind hierfür drei Verfahren festgelegt (Bild 3):

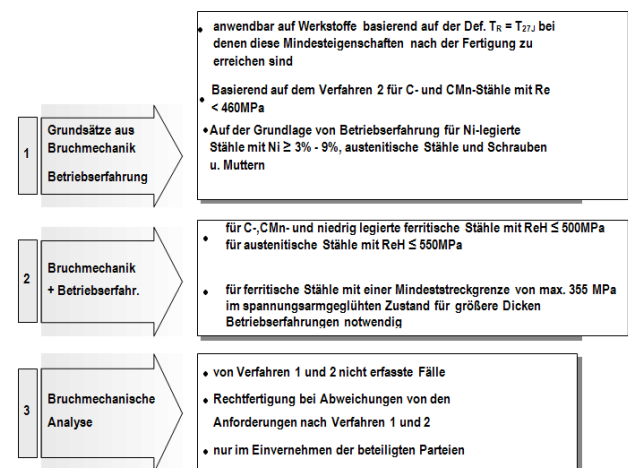


Bild 3: Verfahren zur Vermeidung von Sprödbbruch gemäß Anhang B

Im den beiden ersten Verfahren erfolgt dies durch den Nachweis der Kerbschlagarbeit bei einer entsprechend dem Anhang B festgelegten Temperatur  $T_{KV}$  (Werkstofftemperatur für den Kerbschlagversuch).

Diese Temperatur ist in Abhängigkeit der minimalsten Auslegungsreferenztemperatur ( $T_R$ ) zu bestimmen. Im Verfahren 3 ist mit Hilfe bruchmechanischer Analysen unter Einbeziehung von Bruchmechanikversuchen die ausreichende Zähigkeit zur Vermeidung von Sprödbruch nachzuweisen. Bei den Auslegungstemperaturen sind Temperaturen im Prüfzustand mit zu berücksichtigen. Alle drei Verfahren können unabhängig voneinander angewandt werden.

Die Temperaturen zum Nachweis der Kerbschlagzähigkeit liegen im Vergleich zu AD2000 in vielen Fällen oberhalb der in der Reihe W10 festgelegten Temperaturen. Jedoch ist nach AD2000 Reihe W10 ebenso der Nachweis zur Vermeidung des Sprödbruches nach EN 13445 Teil 2 unter Beachtung des Sicherheitsniveaus des AD2000 akzeptiert.

### 3 Konstruktion und Berechnung

Nach der EN 13445 sind drei unterschiedliche Auslegungsmethoden unabhängig oder in der Kombination anwendbar:

- Design by Formular (DBF)
- Design by Analysis (DBA)
  - direktes Verfahren nach Anhang B
  - Analytischer Zulässigkeitsnachweis Anhang C
- Experimentelle Auslegungsmethoden

Ein Vergleich der EN 13445 Teil 3 mit dem AD2000 zeigt, dass alle in dem AD2000 enthaltenen Berechnungsregeln für Komponenten aus Stahlwerkstoffen in der EN 13445 enthalten sind. Die EN weist z.T. detailliertere und erweiterte Berechnungsregeln z.B. für unterschiedliche Arten von torisphärischen und für elliptische Böden, schräge Stützen (seit 2009 auch in AD2000 geregelt) auf. Darüber hinaus sind Berechnungsverfahren für unverstärkte und verstärkte rechteckige Druckbehälter enthalten. Jedoch ist hierbei zu beachten, dass es sich nicht für die zur Berechnung der Ermüdungslebensdauer notwendigen Strukturspannungen bzw. für ungeschweißte Bereiche notwendige Kerbspannungen handelt. Darüber hinaus enthält der Teil 3 eine große Anzahl von Anhängen, die neben ergänzenden Informationen (wie Ausführung von Schweißverbindungen, Dichtungsbeiwerte, Hinweise für Überwachung im Betrieb) auch alternative Berechnungsverfahren für Flansche, Rohrböden, Ermittlung von Berechnungsspannungen im Zeitstandbereich wie auch Aussagen zu Experimentellen Auslegungsverfahren enthält. Wesentliche Unterschiede in Berechnungsergebnissen bei der Auslegung drucktragender Komponenten der beiden Regelwerke ergeben sich aus:

- unterschiedliche Berechnungsspannungen (zulässige Spannungen)
- unterschiedliche Berechnungsansätze

Die Berechnungsspannungen werden nach der EN 13445-3 für DBF nach Tabelle 6-1 bestimmt (Tabelle 2). Im Unterschied zum AD-Merkblatt B0 ist u.a. für nichtaustenitische Stähle ein „Zugfestigkeitskriterium“ in Form eines Sicherheitsbeiwertes  $S = 2,4$  für die Zugfestigkeit bei 20 C zusätzlich zu beachten.

Generell wirkt sich dies bei C-Stählen ab einem Streckgrenzenverhältnis von

$$\frac{R_p / t}{R_m / 20} > 0,625$$

aus.

Werkstoffe	Berechnungsspannung nach	
	EN 13445 ( $f =$ )	AD 2000 ( $f =$ )
Nichtaustenitische Stähle nach 6.2 $A < 30\%$	$\min\left(\frac{R_{p0,2/t}}{1,5}; \frac{R_m/20}{2,4}\right)$	$\frac{R_{p0,2/t}}{1,5}$
Nichtaustenitische Stähle nach 6.3 Alternatives Verfahren $A < 30\%$	$\min\left(\frac{R_{p0,2/t}}{1,5}; \frac{R_m/20}{1,875}\right)$	
Austenitische Stähle, Bruchdehnung $30\% \leq A < 35\%$	$\frac{R_{p1,0/t}}{1,5}$	
Austenitische Stähle, Bruchdehnung $A \geq 35\%$	$\max\left(\frac{R_{p1,0/t}}{1,5}\right);$ $\min\left(\frac{R_{p1,0/t}}{1,2}; \frac{R_m/t}{3}\right)$	
Stahlguss nach 6.6	$\min\left(\frac{R_{p0,2/t}}{1,9}; \frac{R_m/20}{3}\right)$	$\frac{R_p/20}{2}$ 2,4/3,5/5/7
Reines Al < 1% nach Teil 8 Gruppe 21	$\left(\frac{R_{p1,0/t}}{1,5}\right)$	$\frac{R_{p0,2/t}}{1,5}$ ggf. Rp 1,0/t nach Tafel 3
Al-Legierung nach Teil 8 Gruppe 22 ohne Wärmebehandl.	$\min\left(\frac{R_{p0,2/t}}{1,5}; \frac{R_m/20}{2,4}\right)$	$\frac{R_{p0,2/t}}{1,5}$
Al/Al-Legierung nach Teil 8 Gruppe 23 mit Wärmebehandl.	$\min\left(\frac{R_{p0,2/t}}{1,5}; \frac{R_m/20}{3}\right)$	ggf. Rp 1,0/t nach Tafel 3

Tabelle 2: Berechnungsspannungen nach EN 13445

Für reine C-Stähle (z. B. P 355 GH Wanddickenbereich <16 mm) hat das zusätzliche Zugfestigkeitskriterium bis zu Temperaturen von ca. 65 °C (Bild 4) nur

eine geringe Wanddickenerhöhung im Gegensatz zu AD2000 zur Folge (ca. 6%).

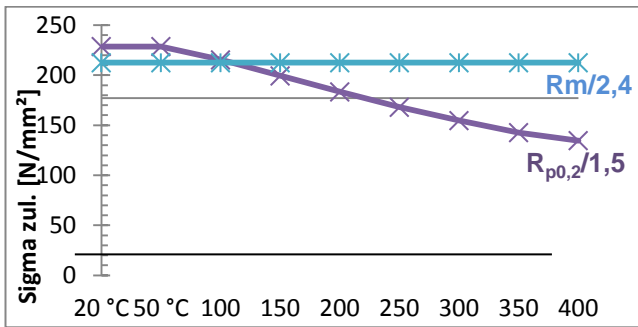


Bild 4: Berechnungsspannungen für P355GH EN 13445/AD2000

Stärker betroffen können die Feinkornbaustähle und niedrig legierte Stähle höherer Festigkeit (Beispielsweise ist für den P 355 NH die Wanddicke auf Grund der niedrigeren Berechnungsnennspannung bei Umgebungstemperatur im Vergleich zu den AD-2000 um ca. 16% zu erhöhen) sein.

Für einen austenitischen Werkstoff mit einer Bruchdehnung > 35% (z. B. 1.4301) hat das zusätzliche Zugfestigkeitskriterium und das erweiterte Streckgrenzenkriterium einen positive Einfluss. Bis zu einer Temperatur von ca. 150°C ist das Zugfestigkeits- und darüber hinaus das reduzierte Streckgrenzenkriterium maßgebend (Bild 5). Gegenüber AD2000 ergibt sich dadurch eine ca. 20%-25% geringere Wanddicke. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass eine Dimensionierung mit einem Sicherheitsbeiwert S = 1,2 gegen Rp1,0 der Einfluss der dabei auftretenden größeren Verformungen mit zu beachten sind. Nach ASME-Code liegen die zul. Spannungen, tendenziell unterhalb der Berechnungsspannungen nach EN 13445.

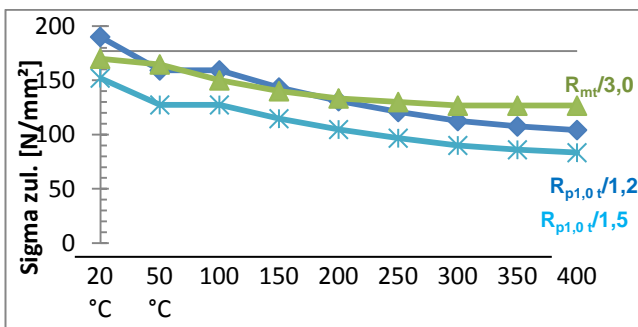


Bild 5: Berechnungsspannungen für 1.4301 EN 13445/AD2000

Berechnungsspannungen für die Auslegung im Zeitstandbereich werden in dem neu entstandenen Abschnitt 19 geregelt. Im AD2000 ist dies in ausführlicher Weise in der erst seit kurzem entstandenen Reihe S6 geregelt. Die EN weist gegenüber AD2000 einen noch höheren Detaillierungsgrad in Bezug der zulässigen Spannungen, konstruktiver Maßnahmen und Festlegungen für den Betrieb auf. Nach ASME-

Code werden die zulässigen Berechnungsspannungen für den Zeitstandbereich in ASME Sec. II mit festgelegt.

Es ist darauf hinzuweisen, dass für Druckgeräte der Prüfgruppe 1, 2 und 3 Druckzyklen mit einer Anzahl von 500 mit voller Schwingbreite oder äquivalente Druckzyklen kein zusätzlicher Nachweis der Ermüdungsfestigkeit erforderlich ist. Im Gegensatz dazu bei AD2000 S1 ist ein Nachweis erst ab einer Anzahl von 1000 Druckzyklen zu führen. Für Druckbehälter der Prüfgruppe 4 ist die Anzahl der Druckzyklen 500 limitiert. Es kann jedoch nach erfolgreicher Prüfung des Druckgeräts nach 500 Lastwechsel der Betrieb für weitere 500 LW aufgenommen werden.

Wanddickentoleranzen (Minustoleranzen) sind nach EN 13445 abweichend zum AD2000 (Ausnahme Beul-/Stabilitätsnachweis) für alle Werkstoffe bei der Auslegung zu berücksichtigen. Wanddickenzuschläge infolge Korrosion oder anderen Ursachen für Wanddickenreduzierungen müssen für eine gesamte Auslegungsliebendauer veranschlagt und entsprechend in den Konstruktionszeichnungen angegeben werden.

Zusätzlich ist darauf hinzuweisen, dass der Prüflastfall nach EN 13445 Teil 3 ebenso wie nach AD2000 mit zu überprüfen ist. Hierfür sind die Berechnungsspannungen (Tabelle 3) nach Teil 3 Abschnitt 6.6.2 Tabelle 6-1 zu berücksichtigen.

Werkstoffe	Berechnungsnennspannung
Nichtaustenitische Stähle nach 6.2 A < 30%	$f_{test} = \frac{R_{p0,2} / test}{1,05}$
Nichtaustenitische Stähle nach 6.3 Alternatives Verfahren A < 30%	
Austenitische Stähle, Bruchdehnung 30% ≤ A < 35%	$f_{test} = \frac{R_{p1,0} / test}{1,05}$
Austenitische Stähle, Bruchdehnung A ≥ 35 %	$f_{test} = \max \left( \frac{R_{p1,0} / test}{1,05}; \frac{R_m / test}{2} \right)$
Stahlguss nach 6.6	$f_{test} = \frac{R_{p0,2} / test_{(ce)}}{1,33}$
Al/AL-Legierungen nach Teil 8 Tabelle 5.5-1 (21)	$f_{test} = \frac{R_{p1,0,20} / test}{1,05}$
Al/AL-Legierungen nach Teil 8 Tabelle 5.5-1 (22, 23)	$f_{test} = \frac{R_{p0,2,20} / test}{1,05}$

Tabelle 3: Berechnungsspannungen nach EN 13445 für Prüflastfall

## 4 Herstelleranforderungen

Eine Überprüfung als Hersteller für Druckgeräte ist nicht prinzipiell gefordert. Der Hersteller hat sicherzustellen, dass die Herstellverfahren wie Schweißen, Umformen, Wärmebehandlungen nach Teil 4 und die Prüfungen während der Fertigung nach Teil 5 zur Sicherstellung der Qualität und damit die Anforderungen dieser EN erfüllt werden. Jedoch ist im Rahmen der Abnahmeprüfung (Einzelprüfung) der unabhängigen Stelle nachzuweisen, dass u.a. die genannten Anforderungen an Herstellung und Prüfung und die entsprechende Qualifikation des Personals und Schweißverfahren vorliegen bzw. eingehalten werden. Zur Vermeidung von Doppel- bzw. Mehrfachprüfungen ist daher eine Verfahrensweise entsprechend AD2000 (HPO) zielführend.

In Bezug auf Schweißerprüfungen, Arbeitsprüfungen und Verfahrensprüfungen ist die EN 13445 und AD2000 bis auf geringe Abweichungen (AD2000 etwas höhere Anforderungen) durch den Verweis auf dieselben harmonisierten Normen in den wesentlichen Anforderungen vergleichbar.

Die für das Druckgerät einzuhaltenden Herstellungstoleranzen (wie u.a. Unrundheiten, Wandickenversatz, Aufdachungen) werden im Teil 4 der EN 13445 festgelegt. Abweichend zum AD2000 werden die in Abhängigkeit der Wanddicken /Druchmesserverhältnisse einzuhaltenden Unrundheiten auf 1,5% begrenzt. Für eine Aussendruckbelastung eines Zylinders wird darüber hinaus für eine standardmäßige Auslegung nach Teil 3 Abschnitt 5.5 (Zylinderschale) die Unrundheit auf 1% (0,5% Abweichung vom idealen Radius) begrenzt. Größeren Unrundheiten kann nur zugestimmt werden, wenn entweder der Aussendruck gemäß den Gleichungen im Teil 3 Abschnitt 8.5 reduziert oder ein detaillierter Beulnachweis (Stabilitätsnachweis) erbracht wird.

Für die Schweißnahtausführung/-gestaltung sind zu der EN 1708-1 ebenso die Anforderungen im Teil 3 und Teil 4 unter Beachtung der Prüfgruppe (Prüfgruppe 1-4) des Druckbehälters zu beachten. Im Vergleich zu AD2000 zeigt sich unter Einbeziehung der Prüfgruppe 4 nach EN eine größere Bandbreite von Schweißnahtausführungsmöglichkeiten.

Bezüglich der Bestimmung von Umformgrade für umgeformte drucktragende Teile (u.a. Boden, Zylinder, Rohre) sind im Gegensatz zum AD2000 detaillierte Berechnungsmethoden im Teil 4 der EN definiert.

## 5 Prüfung

Die im Rahmen der Herstellung durchzuführenden zerstörungsfreien Prüfungen (für Zeitstand oder zyklische Belastungen sind Angang F und Anhang G zusätzlich zu beachten) werden wie in allen Regelwerken auch in Abhängigkeit des Schweißnahtfaktors in Ihrem Umfang festgelegt. In der EN 13445 sind

Schweißnahtfaktoren von 1,0 (Prüfgruppe 1-2), 0,85 (Prüfgruppe 3) und abweichend zum AD2000 ein Schweißnahtfaktor von 0,7 (Prüfgruppe 4) zugelassen. Der Prüfdruck für Druckgeräte der Prüfgruppe 1bis 3 entsprechen den nach AD2000 festgelegten Prüfdrücken. Jedoch können sich Abweichungen infolge der unterschiedlichen Berechnungsnennspannungen (Streckgrenzen- und Zugfestigkeitswerten, siehe Tabelle 2) und in Ausnahmefällen durch die Art der Herstellung der Schweißnähte (z.B. nicht vollautomatisiertes Schweißen) ergeben. Für die Prüfgruppe 4 ist infolge der reduzierten zerstörungsfreien Prüfungen (nur visuelle Prüfung) ein höherer Prüfdruck gefordert, der zusätzlich durch die Werkstoffgruppen (Bild 1) und Herstellertoleranzen (Aufdachungen) variieren. Im Teil 6 (Gusseisen) und Teil 8 (Aluminium / Aluminiumlegierungen) werden darüber hinaus weitere zusätzliche Kriterien zur Festlegung der Höhe des Prüfdruckes definiert.

Eine alternativ anzuwendende Gasdruckprüfung mit dem Faktor 1,1 ist derzeit im Teil 5 der EN 13445 nicht vorgesehen. Jedoch ist hier eine Überarbeitung wie im neuen Teil 8 (Aluminium / Aluminiumlegierungen) oder wie im AD2000 HP30 angekündigt. Bei Anwendung des ASME-Codes unter Beachtung des Anhanges Z ist zu den Kriterien des Prüfdruckes nach der Druckgeräterichtlinie auch das Kriterium im ASME-Code mit zu berücksichtigen. Dieser Prüfdruck darf den Mindestprüfdruck nach Druckgeräterichtlinie nicht unterschreiten.

Für in Serie hergestellte Druckgeräte werden in der EN 13445 Teil 5 im Anhang A im Gegensatz zu AD2000 detaillierte Vorgaben bezüglich Art und Umfang der während der Herstellung und zur Abnahme des Druckbehälters notwendigen Prüfungen (gilt nicht für Druckbehälter die nach dem Teil 3 Anhang B „direktes analytisches Verfahren“ ausgelegt oder für Druckbehälter die im Zeitstandbereich betrieben werden) definiert.

Anforderungen an alternative Prüfverfahren wie u.a. Schallemissionsprüfungen für die Anwendung in Kombination mit einer pneumatischen Druckprüfung werden im Teil 5 Anhang E der EN 13445 definiert.

## 6 Zusammenfassung

Die EN 13445 weist gegenüber dem AD2000 zum Teil einen höheren Detaillierungsgrad für die Berechnungs- und Prüfverfahren auf. Darüber hinaus sind zusätzliche und weitergehende Berechnungsverfahren genannt die alternativ angewendet werden können. Anders als z.B. nach ASME Code erlaubt die EN 13445 auch eine Kombination der Auslegungsmethoden. Die EN 13445 - als ein in sich geschlossenes Regelwerk – ermöglicht mit der zusätzlichen Berücksichtigung zyklischer Lasten sowie der Zustände im Zeitstandbereich ein sicheres Design von unbefeuerten Druckgeräten. Nichtmetallischen Werkstoffen, wie Graphit, Glas und GFK werden abwei-

chend zum AD2000 nicht geregelt. Dies erfolgt zukünftig in den dafür eigens definierten Produktnormen. Jedoch wird es künftig auch vermehrt erforderlich sein Bauteile für den Prüfzustand nachzuweisen, womit der Berechnungsaufwand im Einzelfall zunehmen kann. Eine effiziente Berechnung nach EN 13445 Teil 3 und deren Anhänge ist ebenso, wie nach anderen Regelwerken nur unter Verwendung geeigneter Software realisierbar.

Die möglichen Unterschiede in den Berechnungsergebnissen zwischen EN 13445, AD2000, ASME-Code ist auf die unterschiedliche zul. Berechnungsspannungen und den unterschiedlichen Berechnungsansätzen zurückzuführen.

Positiv ist darüber hinaus zu erwähnen, dass das Anwendungsgebiet der harmonisierten Norm EN 13445 durch deren Heranziehen in anderen Rechtsgebieten wie der Richtlinie für Medizinprodukte und zum Teil für die Berechnung von Tanks für den Transport von Gefahrgütern erweitert wird.

Es bleibt also zu hoffen, dass sich in der Zukunft durch die vermehrte Anwendung der harmonisierten Norm EN 13445 zur Erfüllung der Anforderungen der Druckgeräterichtlinie weitere Handelshemmnisse in Europa abbauen lassen.