

DE

Festlegung der Prüffristen von Druckgefäßen aus Faserverbundwerkstoffen

durch die zuständige Behörde

**einschließlich der Neufestlegung der Lebensdauer nach 15 Jahren
für UN-Composite-Flaschen**

An English language version is available for information only.

Das nachfolgend beschriebene, überarbeitete und neu strukturierte Verfahren dient der land-, see- und luftverkehrsträgerübergreifenden Festlegung von Prüffristen für Druckgefäße aus Faserverbundwerkstoffen in Deutschland, soweit dies in den Vorschriften gefordert wird.

Es würdigt in besonderer Weise die Vielfalt der Entwurfsvariablen und die Komplexität der Eigenschaften von nach Norm gebauten Druckgefäßen unter Berücksichtigung der Besonderheiten in der Lebensdaueranalyse und wiederkehrenden Prüfung von Druckgefäßen aus Faserverbundwerkstoffen.

Das hier beschriebene Verfahren ersetzt die vorlaufende Beschreibung vom 31. Oktober 2008 (Version 4.0 DE).

Ansprechpartner:

RegDir Dr.-Ing. Georg W. Mair
georg.mair@BAM.de

Dr.-Ing. Pascal Pöschko
pascal.poeschko@BAM.de

Dipl.-Ing. (FH) Manfred Spode
manfred.spode@BAM.de

Version 6.0 DE
vom 5. April 2012

Inhalt

1	Einführung	3
1.1	Grundlagen der Prüffristenfestlegung	3
1.2	Rechtsgrundlagen der Tätigkeit	3
1.3	Zuständigkeit.....	4
1.4	Anwendungsbereich	4
1.5	Schutzziel.....	5
1.6	Wirkvorschrift zur Erreichung des Schutzzieles.....	5
1.7	Bezug zu den anderen Rechtsvorschriften	5
2	Prüffristen für Druckgefäße aus Faserverbundwerkstoffen	6
2.1	Hintergrund zum Sicherheitskonzept.....	6
2.2	Allgemeine Erläuterungen zum Konzept der „Xy-Verbunddruckgefäße“ bis 450 Liter	7

Anhänge:

Anhang VA:

Druckgefäße aus Faserverbundwerkstoffen
mit einem Fassungsraum von höchstens 450 l
- Verfahren, Kriterien und Anforderungen -
vom 5. April 2012

Technischer Anhang CAT (Concept Additional Tests):

„Konzept der ergänzenden Prüfungen zur Erfassung bzw. Aufrechterhaltung des Status
als Xy-Verbunddruckgefäß“ vom 31. März 2012

Technischer Anhang LCT (Load Cycle Test):

„Durchführung und Bewertung der Lastwechselprüfungen
an Xy-Verbunddruckgefäßen“ vom 31. März 2012

Technischer Anhang SBT (Slow Burst Test):

„Durchführung und Bewertung der Berstprüfungen
an Xy-Verbunddruckgefäßen“ vom 31. März 2012

1 Einführung

1.1 Grundlagen der Prüffristenfestlegung

Druckgefäße aus Verbundwerkstoffen sind Strukturen mit einer Vielzahl von Parametern und Entwurfsvariablen, wie diese bei monolithischen Gasflaschen nicht vorliegt. Abhängig von der Art des Liners, von Fasertyp, Faserschichtaufbau etc. können die für die Festlegung einer sicherheitstechnisch angemessenen Prüffrist relevanten Eigenschaften stark variieren. Aus diesem Grund sind die Prüffristen im Gefahrgutbereich bisher nicht wie bei den metallischen Druckgefäßen pauschal im RID/ADR 4.1.4.1 P 200 gasbezogen festgelegt worden. Stattdessen muss die Ermittlung der für die jeweiligen Baumuster angemessenen Prüffristen nach RID/ADR 4.1.4.1 P 200 (9) von der zuständigen Behörde (Zitat: „*Abweichend von den Vorschriften dieses Absatzes müssen die wiederkehrenden Prüfungen bei Druckgefäßen aus Verbundwerkstoffen in den Abständen durchgeführt werden, die von der zuständigen Behörde der Vertragspartei des ADR, die das technische Regelwerk für die Auslegung und den Bau anerkannt hat, festgelegt wurden.*“) individuell vorgenommen werden.

Diese Aufgabe führt in Deutschland für den Landverkehr die Zentralstelle der Länder für Sicherheitstechnik (ZLS) in München nach RSEB in Abstimmung mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) durch. Für alle anderen Verkehrsträger und die UN-Druckgefäße (auch im Landverkehr) ist die BAM zuständig.

Mit dem Ziel eines einheitlichen Verfahrens legen sich die BAM und die ZLS bis auf Widerruf auf folgendes gemeinsames Verfahren fest, das von der BAM ausgeführt wird.

Althergebrachte Praxis in Deutschland war es, neue Baumuster zunächst mit 3 Jahren zu belegen und dann mit zunehmend positiven Erfahrungen diese Prüffristen auszuweiten. Das allgemein bessere Verständnis der Besonderheiten dieser Druckgefäße und die inzwischen angesammelte praktische Erfahrung in Betrieb und Prüfung erlauben es nun davon auszugehen, dass bei entsprechender Dokumentation (Streuung; vergl. Anhang CAT) der Eigenschaften 5 Jahre als Regelfall und 10 Jahre als Ausnahmefall angesehen werden.

Das hier beschriebene Verfahren geht davon aus, dass die Prüffristen für eine Baumuster/Baureihe im Rahmen der Baumusterzulassung festgelegt werden. Das Verfahren ist dennoch sowohl für „Erstfestlegungen“ als auch Änderungsfestlegungen auf bereits im Betrieb befindliche Bauarten/Baumuster anwendbar.

1.2 Rechtsgrundlagen der Tätigkeit

Nach Abschnitt 4.1.4.1 P 200 (9) des RID/ADR/ADN 2011 und Abschnitt 4.1.4.1 P200 (2) d des IMDG-Codes (Amdt. 35-10) sind für Druckgefäße aus Verbundwerkstoffen die Fristen für die wiederkehrende Prüfung nicht tabellarisch festgelegt, sondern sind spezifisch für ein Baumuster von einer zuständigen Behörde festzulegen.

Vergleichbare Anforderungen sind im Luftverkehr (ICAO-Technical Instructions 2011-2012 und IATA Dangerous Goods Regulations (DGR) 53rd Edition 2012) nicht formuliert. Es wird jedoch in ICAO-IT 5.2.6.2.1 und IATA 6.4.1.6 gefordert, dass das System der wiederkehrenden Prüfung von der zuständigen Behörde zugelassen ist. Allgemein gelten Druckgefäße, im Gegensatz zu Tanks und MEGCs, als eine Form der Verpackungen. Entsprechend legt die BAM die Prüffristen von Composite-Flaschen für den Luftverkehr im Zuge der Baumusterzulassung für den Luftverkehr fest.

Nach Abschnitt 6.2.2.1.1 Bemerkung 2 in RID/ADR/ADN wie auch IMDG-Code, der Note im Abschnitt 5.2.1.1 der ICAO-TI bzw. Anmerkung 2 in 6.4.2.1.1 der IATA-DGR ist die

Gebrauchsdauer trotz der zwingenden Auslegung auf unbegrenztes Leben auf 15 Jahre limitiert. Die zuständige Behörde darf aber eine Weiterverwendung gestatten. Hierzu kommt das nachfolgend geschilderte Verfahren im Grundsatz ebenfalls zur Anwendung. Es werden die nach den technischen Anhängen ermittelten Daten verwendet um zu prüfen, ob die extrapolierte Restlebensdauer einen sicheren Weiterbetrieb über 15 Jahre hinaus begründet erwarten lässt.

1.3 Zuständigkeit

Die Zuständigkeit der BAM bzgl. der Prüffristenfestlegung von Composite-Druckgefäßen in Deutschland ergibt sich aus den folgenden Verordnungen:

Landverkehr:

- Die Zuständigkeit für RID/ADRADN 4.1.4.1 P200 (9) ist gemäß § 8 Abs. 1 c) der „Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt“ (GGVSEB) in der Bekanntmachung vom 16. Dezember 2011 nicht im GGVSEB geregelt.
- Entsprechend gilt für die gemischte Zuständigkeit von BAM und ZLS: Abs. 4-4.4 der RSEB „Richtlinien zur Durchführung der GGVSEB“ vom 29. April 2011.

Seeverkehr:

- § 6 Abs. 5 der „Gefahrgutverordnung See“ (GGVSee) vom 16. Dezember 2011

Luftverkehr:

- Vierter Abschnitt, 5. §78(3) der LuftVZO vom 10. Juli 2008, geändert am 22. Februar 2011

1.4 Anwendungsbereich

Dieses Dokumentes bezieht sich auf Druckgefäße aus Verbundwerkstoffen, die nach einer von verkehrsträgerspezifischen Vorschriften in Bezug genommenen Norm konstruiert, zugelassen und geprüft sind. Im Einzelnen sind dies derzeit folgende Normen:

- EN 12257:2002 – Umfangsumwickelte Flaschen aus Verbundwerkstoffen
„Ortsbewegliche Gasflaschen – Nahtlose umfangsgewickelte Flaschen aus Verbundwerkstoffen“
- DIN EN 12245:2002 – Vollumwickelte Verbundflaschen mit und ohne tragenden Liner
„Ortsbewegliche Gasflaschen – Vollumwickelte Flaschen aus Verbundwerkstoffen“
- EN 14427:2004 + A1:2005 – Vollumwickelte Verbundflaschen für Flüssiggas
„Ortsbewegliche wiederbefüllbare vollumwickelte Flaschen aus Verbundwerkstoff für Flüssiggas (LPG) – Gestaltung und Konstruktion“
- ISO 11119-1:2002 – Umfangsumwickelte Flaschen aus Verbundwerkstoffen
„Gasflaschen aus Verbundwerkstoffen – Festlegungen und Prüfverfahren – Teil 1: Umfangsgewickelte Gasflaschen aus Verbundwerkstoffen“
- ISO 11119-2:2002 – Vollumwickelte Verbundflaschen mit tragendem Liner
„Gasflaschen aus Verbundwerkstoffen – Festlegungen und Prüfverfahren – Teil 2: Vollumwickelte, faserverstärkte Gasflaschen aus Verbundwerkstoffen mit lasttragenden metallischen Linern“

- ISO 11119-3:2002 – Vollumwickelte Verbundflaschen ohne tragenden Liner
„Gasflaschen aus Verbundwerkstoffen – Festlegungen und Prüfverfahren – Teil 3: Vollumwickelte, faser-
verstärkte Gasflaschen aus Verbundwerkstoffen mit nichtmetallischen Linern und nicht lasttragenden Li-
nern“

Dies schließt weder ältere Fassungen der Normen noch Bauartzulassungen nach der DruckBehVO aus. Auch neuere Fassungen der Normen können zugrunde gelegt worden sein, sofern diese z. B. im Vorgriff auf beschlossene Rechtsänderungen angewendet werden dürfen.

1.5 Schutzziel

Es ist der Schutz vor Beeinträchtigung von Gesundheit und Eigentum des Eigentümers, des Besitzers, des Betreibers und unbeteiligter Dritter im von außen unbeeinträchtigten, normalen Umgang nach Maßgabe des akzeptierten Restrisikos sicherzustellen.

1.6 Wirkvorschrift zur Erreichung des Schutzzieles

Die Prüffristen der Druckgefäße müssen nach dem Stand der Technik so festgelegt werden, dass weder bei intensiver Nutzung (häufiges Füllen) noch durch Verzicht auf die Nutzung (d. h. z. B. keine Entleerung nach Transport oder „in Vergessenheit geratener“ Druckgefäße nach Teilentleerung) ein untragbares Restrisiko insbesondere durch Bersten auftritt. Im Rahmen des Handelns der zuständigen Behörde wird hierzu auch der Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigt.

1.7 Bezug zu den anderen Rechtsvorschriften

Die Festlegung der Prüffristen erfolgt unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Sicherheit der Beförderung gefährlicher Güter für die Beförderung von Druckgefäßen. Sie gelten daher nur für die Zwecke der sicheren Beförderung. Werden die Druckgefäße auch für andere Zwecke eingesetzt (z. B. vorübergehende oder dauerhafte Verwendung in Anlagen mit abweichenden Betriebsparametern wie Füllverfahren, Füllhäufigkeit etc.), sind ergänzende Regelungen anderer Rechtsvorschriften (z. B. für den Umgang, die Lagerung, die Verwendung und Wiederbefüllung) zu beachten. Dies kann dazu führen, dass unter Umständen zusätzliche Prüfungen, kürzere Prüfintervalle oder anders kalkulierte Verwendungsdauern notwendig werden. Vorschriften, die nicht die Beförderung gefährlicher Güter behandeln, werden für die Bescheide zur Prüffristenfestlegung nicht geprüft und bewertet.

2 Prüffristen für Druckgefäße aus Faserverbundwerkstoffen

2.1 Hintergrund zum Sicherheitskonzept

Druckgefäße aus Faserverbundwerkstoffen unterliegen wie alle anderen Druckgefäße Alterungsprozessen. Diese Prozesse sind in ihren Abläufen und ihrer Bewertung komplexer als die von metallischen Druckgefäßen. International gibt es entsprechend unterschiedliche Erfahrungen und Folgerungen daraus und noch kein geschlossenes Bild über das Verhalten von Druckgefäßen aus Faserverbundwerkstoffen. Entsprechend ist hier die jeweils national zuständige Behörde zur individuellen Betrachtung eingebunden.

Grundsätzlich hat sich die Bedeutung der wiederkehrenden Prüfung verändert. Mit den inzwischen für viele Gase üblichen Prüffristen von 10 bis zu 15 Jahren wird aus der rein individuellen Überwachung zunehmend eine Überwachung von Baumusterpopulationen bzgl. systematischer Probleme. Die individuelle Sicherheit im Betrieb wird heute insbesondere in Verbindung mit der Inspektion vor jedem Befüllen gewährleistet.

Diese Tendenz aufgreifend ist das nachfolgend vorgestellte Konzept auf die Erkennung evtl. systematischer Defizite in der Betriebsfestigkeit eines Baumusters ausgerichtet. Dies folgt dem Grundsatz, dass einer Population eines Baumusters eine verlängerte Prüffrist von 10 Jahren nur dann gestattet werden kann, wenn die Lebensdauerprognose eines Baumusters in der Praxis für den relevanten Zeitraum abgesichert ist.¹

Die nachfolgende Beschreibung des Degradationsverhaltens orientiert sich an Kriterien der Mindestrestfestigkeit in Verbindung mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit von grundsätzlich 99,9999% als Komplement zur Ausfallwahrscheinlichkeit von $1 \cdot 10^{-6}$ bis zum Ende des Lebens. Dies wird vereinfacht beschrieben durch den exklusiven Bezug auf die Ausfallwahrscheinlichkeit zum Ende des Lebens. Stichprobengrößen, die nach Kriterien der Praktikabilität als vertretbar gelten, sind jedoch nicht geeignet, ein derartiges Zuverlässigkeitsniveau für eine gesamte Population im Detail zu beschreiben oder gar zu garantieren. Dieses Verfahren ist daher darauf ausgerichtet, Zusatzinformationen zur Verfügung zu stellen, ohne dafür auf heute übliche Prüfungen zu verzichten, sofern diese aussagekräftige Erkenntnisquellen sind. Daher ist davon auszugehen, dass es im Ausgleich zu verlängerten Prüffristen trotz der statistischen Unsicherheiten geeignet ist, das Sicherheitsniveau durch Wissen um die Interaktion von Design und Betrieb von Composite-Druckgefäßen zu erhöhen.

Die hier dargestellten pauschalen Anforderungen berücksichtigen noch nicht Aspekte des garantiert „ausfallsicheren Verhaltens“ (fail-safe), bei dessen Nachweis in Verbindung mit weder toxischen noch brennbaren Gasen aufgrund des deutlich geringeren Konsequenzpotenzials auch höhere Ausfallwahrscheinlichkeiten bzgl. Leckage zugestanden werden könnten. Dies schränkt auch nicht die zuständige Behörde in ihrer Entscheidung ein, in der Einzelfallbetrachtung nach dem Kriterium des Konsequenzpotentials eines Verbunddruckgefäßes abweichende (geringere oder höhere) Überlebenswahrscheinlichkeiten als zulässig zugrunde zu legen.

¹ *Kommentar:* Dieser Ansatz folgt dem aktuellen Stand der Wissenschaft und ist darauf ausgerichtet, zumindest noch mittelfristig Optimierungen und wissenschaftlich fundierte Einzelfallentscheidungen durch die zuständige Behörde zu ermöglichen.

Sind die o. g. sicherheitstechnischen Voraussetzungen für Druckgefäße bis 450 Liter bewertet und erfüllt, werden diese auf Antrag des Herstellers oder Betreibers als „Xy-Verbunddruckgefäß“² gekennzeichnet und betriebsbegleitend nach den Anhängen überwacht. Die Betrachtung von Faserverbund-Druckgefäßen mit einem Volumen von mehr als 450 Liter erfolgt nach den gleichen Grundsätzen aber nach einem individuell festgelegten Verfahren zum Nachweis der Eigenschaften.

2.2 Allgemeine Erläuterungen zum Konzept der „Xy-Verbunddruckgefäße“ bis 450 Liter

- 2.2.1. Dieses Konzept ist mit Blick auf die hohe Anzahl erforderlicher Prüfmuster in erster Linie für Flaschen und Großflaschen gedacht, die in größeren Serien gefertigt werden. Für Baumuster mit höheren Volumina, die i. d. R. in relativ kleinen Stückzahlen gefertigt werden, wird davon ausgegangen, dass aus wirtschaftlichen Überlegungen der Sicherheitsnachweis eher mittels ZfP-(Online)-Verfahren geführt wird. Entsprechend werden die Prüffristen für Composite-Großflaschen über 450 Liter nicht nach diesem Ansatz, sondern nach einem individuellen Verfahren festgelegt.
- 2.2.2. Als Xy-Verbunddruckgefäße werden alle Druckgefäße aus Faserverbundwerkstoffen bis 450 Liter definiert, die die Anforderungen nach VA 1.2 des Anhangs VA erfüllen und vom Betreiber dem Verfahren nach Kapitel VA 2 des Anhangs VA unterworfen wurden und laufend unterliegen.
- 2.2.3. Der Begriff „Xy-Verbunddruckgefäß“ bringt zum Ausdruck, dass es sich um ein Druckgefäß aus Faserverbundwerkstoff gemäß vorangegangener Definition handelt, das dem Konzept folgend intensiver als in den Beschaffenheitsnormen gefordert geprüft wird und aufgrund der nachgewiesenen Eigenschaften 10 Jahre („Xy“: 10 years) Frist für die wiederkehrende Prüfung erhalten hat.
- 2.2.4. Werden die Anforderungen nach Kapitel VA 2 nicht mehr erfüllt, erlischt der Status als „Xy-Verbunddruckgefäß“. Diese Druckgefäße aus Faserverbundwerkstoff müssen dann – wie in den technischen Anhängen ausgeführt - entweder nach Kapitel VA 1 des Anhangs VA weiter behandelt werden oder - je nach Bewertung der letzten Prüfergebnisse bzgl. des Lebensendes - unbrauchbar gemacht werden.
- 2.2.5. Die geforderten Prüfungen werden nach dem Kriterium der Lastwechselempfindlichkeit der Prüfmuster festgelegt. Als „lastwechselunempfindlich“ wird hierbei ein Baumuster dann bezeichnet, wenn es keinen metallischen Liner hat und keines der Prüfmuster aus der Stichprobe in der jeweils geforderten Lastwechselprüfung bis mindestens 50.000 LW einen Schaden aufweist. Bei metallischen Linern ist davon auszugehen, dass der Werkstoff per se lastwechselempfindlich ist. Im Fall einer ausgeprägten Überdimensionierung wäre aber im Einzelfall zu beurteilen, auf Basis von welchen Kriterien weiter verfahren wird.
- 2.2.6. Die zuständige Behörde behält sich vor, abhängig vom Druck-Volumen-Produkt und dem zu transportierenden Gas den für das Lebensende geforderten Restfestigkeiten höhere und in Ausnahmen ggf. auch niedrigere Mindestwerte für die Zuverlässigkeit (Überlebenswahrscheinlichkeiten) zugrunde zu legen.

²*Kommentar:* „X“ steht für die römische Zahl 10 und „y“ für „years“; vergl. Anhang VA.

- 2.2.7. Mit der erstmaligen Durchführung dieser Prüfungen wird zwar ein erweiterter Prüfaufwand aber keine Mindestanforderungen formuliert, die nicht bereits in den Normen für die Baumusterprüfung festgelegt sind. Entsprechend werden die Ergebnisse der Eingangsprüfung nach den Anhängen nur als Vergleichsmaß für die späteren betriebsbegleitenden Prüfungen verwendet.
- 2.2.8. Prüfmuster, die als Stichprobe dem laufenden Betrieb entnommen werden, müssen zunächst einer üblichen wiederkehrenden Prüfung unterworfen werden. Damit soll sichergestellt werden, dass die Prüfmuster über nachträgliche Zweifel an ihrer Repräsentanz für alle nach der wiederkehrenden Prüfung weiter betriebenen Verbunddruckgefäße dieses Designs erhaben sind.
- 2.2.9. Ein Prüfergebnis kann nur dann verworfen werden und die Prüfung eines Baumusters wiederholt werden, wenn zweifelsfrei belegt ist, dass der Prüfablauf z. B. aufgrund eines massiven Fehlers in der Lastaufbringung durch die Prüfmaschine nicht ordnungsgemäß war.