

DIN EN 16603-32-02

ICS 49.140

**Raumfahrttechnik –
Strukturdesign und -verifikation von druckbeaufschlagten Teilen;
Englische Fassung EN 16603-32-02:2014**

Space engineering –
Structural design and verification of pressurized hardware;
English version EN 16603-32-02:2014

Ingénierie spatiale –
Conception structurelle et vérification des éléments pressurisés;
Version anglaise EN 16603-32-02:2014

Gesamtumfang 85 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 16603-32-02:2014) wurde vom Technischen Komitee CEN/CLC/TC 5 „Raumfahrt“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-10-01 AA „Interoperabilität von Informations-, Kommunikations- und Navigationssystemen“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL).

Dieses Dokument wurde speziell zur Behandlung von Raumfahrtsystemen erarbeitet und hat daher Vorrang vor jeglicher Europäischer Norm, da es denselben Anwendungsbereich hat, jedoch über einen größeren Geltungsbereich (z. B. Luft- und Raumfahrt) verfügt.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Begriffe und Abkürzungen

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe aus anderen Normen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe und Definitionen nach ECCSS-ST-00-01, ECCSS-E-ST-32 und ECCSS-E-ST-32-01.

3.2 Für diese Norm spezifische Begriffe

3.2.1

Autofrettage

Kaltstrecken

Bearbeitungsprozess von Behältern, bei dem die druckgesteuerte Durchbiegung dazu dient, den Metallinnenbehälter (Liner) in den darüberliegenden Verbundwerkstoff plastisch zu verformen, damit in dem Metallinnenbehälter Druckeigenspannungen eingebracht werden

ANMERKUNG Die Autofrettage gehört zum Herstellungsprozess und wird vor dem Abnahmetest durchgeführt.

3.2.2

Ansatz

Bereich eines Druckbehälters oder einer druckbeaufschlagten Struktur, der funktionsfähige Schnittstellen (z. B. Fluidanschlüsse und mechanische Schnittstellen) des Bauteils mit dem druckbeaufschlagten System sicherstellt

3.2.3

Berstfaktor

j_{burst}

Multiplikator, der auf den größten Bemessungsdruck (MDP) angewendet wird, um den Bemessungsberstdruck zu erhalten

ANMERKUNG Der Berstfaktor entspricht einem höchsten Sicherheitsfaktor.

3.2.4

Berstdruck

Druck, bei dem ein druckbeaufschlagtes Teil versagt, zerstört wird oder instabil bricht

3.2.5

Verbundwerkstoff-Umwicklung

Schichten aus faserbasiertem Verbundwerkstoff, die auf einen Innenbehälter (Liner) aufgebracht wurden, die einem erheblichen Druck und erheblichen Umgebungslasten standhalten

3.2.6

Druckbehälter mit Verbundwerkstoff-Umwicklung

COPV

Druckbehälter mit einer faserbasierten Verbundwerkstoff-Struktur, die einen Innenbehälter vollständig oder teilweise einkapselt

ANMERKUNG Zum Beispiel:

- kann der Innenbehälter metallisch sein oder nicht;
- stellt der Innenbehälter die Dichtheit des Behälters sicher.

3.2.7

druckbeaufschlagtes Bauteil mit Verbundwerkstoff-Umwicklung

COPC

druckbeaufschlagtes Bauteil mit einem faserbasierten Verbundwerkstoff-System, das einen Innenbehälter vollständig oder teilweise einkapselt

ANMERKUNG Zum Beispiel:

- kann der Innenbehälter metallisch sein oder nicht;
- stellt der Innenbehälter die Dichtheit des Behälters sicher.

3.2.8

druckbeaufschlagte Struktur mit Verbundwerkstoff-Umwicklung

COPS

druckbeaufschlagte Struktur mit einem faserbasierten Verbundwerkstoff-System, das einen Innenbehälter vollständig oder teilweise einkapselt

ANMERKUNG Zum Beispiel:

- kann der Innenbehälter metallisch sein oder nicht;
- stellt der Innenbehälter die Dichtheit des Behälters sicher.

3.2.9

spezielle druckbeaufschlagte Ausrüstung mit Verbundwerkstoff-Umwicklung

COSPE

spezielle druckbeaufschlagte Ausrüstung mit einem faserbasierten Verbundwerkstoff-System, das einen Innenbehälter vollständig oder teilweise einkapselt

ANMERKUNG Zum Beispiel:

- kann der Innenbehälter metallisch sein oder nicht;
- stellt der Innenbehälter die Dichtheit des Behälters sicher.

3.2.10

Druckbehälter aus Verbundwerkstoff

CPV

Druckbehälter, dessen Strukturwand vollständig aus faserbasiertem Verbundwerkstoff besteht

ANMERKUNG Zum Beispiel:

- kann die Durchlässigkeitssperre (Permeationsbarriere) durch eine Beschichtung auf der inneren oder äußeren Form der Verbundwerkstoffwand, durch die Wand selbst oder durch beide sichergestellt werden;
- Niederdrucktank für flüssigen Wasserstoff ohne Innenbehälter.

3.2.11**druckbeaufschlagte Struktur aus Verbundwerkstoff****CPS**

druckbeaufschlagte Struktur, deren Strukturwand vollständig aus faserbasiertem Verbundwerkstoff besteht

ANMERKUNG Zum Beispiel:

- kann die Durchlässigkeitssperre (Permeationsbarriere) durch eine Beschichtung auf der inneren oder äußeren Form der Verbundwerkstoffwand, durch die Wand selbst oder durch beide sichergestellt werden;
- Niederdrucktank für flüssigen Wasserstoff ohne Innenbehälter.

3.2.12**kritischer Fehler**

spezifischer Fehler, der so groß ist, dass bei festgelegter Betriebslast und -umgebung instabiles Risswachstum eintritt

3.2.13**Kryostat**

vakuumisolierter Behälter, der den Inhalt bei einer niedrigen (kryogenen) Temperatur halten soll

ANMERKUNG Ein Kryostat wird auch als Dewargefäß bezeichnet, nach seinem Erfinder Dewar benannt.

3.2.14**Bemessungsberstdruck**

Differenzdruck, dem das druckbeaufschlagte Teil in der betreffenden Betriebsumgebung ohne Bersten standhalten muss

ANMERKUNG Der Bemessungsberstdruck entspricht dem Produkt aus MDP und Berstfaktor.

3.2.15**Differenzdruck**

Innendruck minus Außendruck

3.2.16**Außendruck**

absoluter Druck außerhalb des druckbeaufschlagten Teils

3.2.17**Faserversagen**

Bruch oder Abknicken (Kinking) eines Faserbündels

ANMERKUNG Es gibt zwei Versagensarten für Fasern: unter Zugbeanspruchung (Faserbruch) und unter Druck (Abknicken).

3.2.18**Armaturen**

Druckbauteil eines druckbeaufschlagten Systems zum Verbinden von Rohrleitungen, anderen Druckbauteilen oder Druckbehältern innerhalb des Systems

3.2.19**Behälter für gefährliches Fluid**

Druckbehälter, Druckraum oder Gehäuse, das/der individuell abgedichtet ist, um ein Fluid aufzunehmen, das bei der Freisetzung zu einer Gefährdung führen kann

3.2.20

Wasserstoffversprödung

mechanischer und umgebungsbedingter Prozess, der aufgrund des anfänglichen Vorhandenseins oder der Absorption einer übermäßigen Menge von Wasserstoff in Metallen herrührt

ANMERKUNG Im Allgemeinen tritt Wasserstoffversprödung zusammen mit Eigenspannungen oder aufgetragenen Zugspannungen auf.

3.2.21

Stoßbeschädigung,

Schlagbeschädigung

Fehler, der durch ein gegen das Druckbauteil stoßenden Gegenstand oder durch das gegen einen Gegenstand stoßende Druckbauteil verursacht wird

ANMERKUNG Delamination in der Verbundwerkstoff-Umwicklung eines COPV, Delle in dem Metallinnenbehälter eines COPV.

3.2.22

Versagen zwischen Fasern

Mikrorisse in der Matrix eines Verbundwerkstoffes oder zwischen Fasern und Matrix eines Verbundwerkstoffes

3.2.23

Innendruck

absoluter Druck im Innern des druckbeaufschlagten Teils

3.2.24

Undichtheit vor dem Bersten

LBB

Designkonzept der Bruchmechanik, mit dem zum Ausdruck gebracht wird, dass beim größten Bemessungsdruck (MDP) ein möglicherweise kritischer Fehler durch die Wandung eines druckbeaufschlagten Systems wächst und vor dem Bersten (extremer Ausfall) eine druckentlastende Undichtheit verursacht

3.2.25

Innenbehälter

Liner

Teil des druckbeaufschlagten Teils, das während der Herstellung der Umwicklung als Dorn fungiert und als Fluiddurchlasssperrung, wenn es in Kontakt mit dem gelagerten Fluid ist

ANMERKUNG Zum Beispiel:

- wenn der Innenbehälter aus Metall besteht, kann er erheblichem Druck und erheblichen Umweltkräften standhalten;
- wenn der Innenbehälter aus homogenem nichtmetallischen Werkstoff besteht, hält er im Allgemeinen keinem erheblichen Druck und keinen erheblichen Umweltkräften stand.

3.2.26

Rohrleitung

rohrförmiges druckbeaufschlagtes Teil eines druckbeaufschlagten Systems, das dem Transport von Fluiden zwischen den Bauteilen des Systems dient

ANMERKUNG Gilt auch für Flex-Schläuche.

3.2.27

größter Bemessungsdruck

MDP

siehe ECSS-E-ST-32

3.2.28**größter erwarteter Betriebsdruck****MEOP**

siehe ECSS-E-ST-32

3.2.29**mechanische Beschädigung**

in einem druckbeaufschlagtem Teil eingebrachter Fehler, der durch Oberflächenabnutzung, Schnitte oder Stöße verursacht wird

ANMERKUNG Das druckbeaufschlagte Teil kann ein metallisches Teil, ein homogenes nichtmetallisches Teil oder ein Teil aus Verbundwerkstoff sein.

3.2.30**metallischer druckbeaufschlagter Behälter****MPV**

Druckbehälter, der vollständig aus metallischem Material besteht

3.2.31**metallische druckbeaufschlagte Struktur****MPS**

druckbeaufschlagte Struktur, die vollständig aus metallischem Material besteht

3.2.32**metallisches druckbeaufschlagtes Bauteil****MPV**

druckbeaufschlagte Bauteil, das vollständig aus metallischem Material besteht

3.2.33**spezielle metallische druckbeaufschlagte Ausrüstung****MSPE**

spezielle druckbeaufschlagte Ausrüstung, die vollständig aus metallischem Material besteht

3.2.34**Versagensart mit nicht gefährlicher LBB**

Verhalten mit Undichtheit vor dem Bersten (LBB), das nicht zu einer Gefährdung führt

ANMERKUNG Zum Beispiel: Verhalten mit LBB mit einem Leck von Flüssigkeit oder Gas, die/das nicht giftig, reaktiv oder brennbar ist.

3.2.35**Druckbauteil****PC**

Teil in einem druckbeaufschlagten System, das weder ein Druckbehälter, eine druckbeaufschlagte Struktur oder eine spezielle druckbeaufschlagte Ausrüstung ist, das im Wesentlichen durch den Innendruck bemessen ist

ANMERKUNG Zum Beispiel:

- Rohrleitungen, Armaturen, Messgeräte, Ventile, Kompensatoren und Schläuche;
- Batterien, die nicht die Definition für Druckbehälter erfüllen.

3.2.36

Druckbehälter

PV

druckbeaufschlagtes Teil, das hauptsächlich vorgesehen ist für das Lagern eines druckbeaufschlagten Fluid mit einer Energie von mindestens 19 310 J oder mit einem Druck größer oder gleich 0,69 MPa oder das beim Freisetzen eine Gefährdung darstellen kann

ANMERKUNG Die gespeicherte Energie kann z. B. nach der Gleichung für die umkehrbare adiabatische (isentropische) Expansion des eingeschlossenen Gases berechnet werden:

$$E = \frac{P_1 V}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]$$

Dabei ist

- E die gespeicherte Energie;
- P_1 der Innendruck;
- P_2 der Außendruck;
- V das druckbeaufschlagte Volumen;
- γ das Verhältnis der spezifischen Wärme des Gases.

3.2.37

druckbeaufschlagtes Teil

PH

Bauteil, das im Wesentlichen dem Innendruck standhält

ANMERKUNG Dazu gehören z. B. Druckbehälter, druckbeaufschlagte Strukturen, Druckbauteile und spezielle druckbeaufschlagte Ausrüstungen.

3.2.38

druckbeaufschlagte Struktur

PS

Struktur, die dem Innendruck und den strukturellen Lasten des Fahrzeugs standhalten soll

ANMERKUNG Zum Beispiel Treibgas-Haupttanks der Trägerrakete, Kabinen der Flugbesatzung und bemannte Module.

3.2.39

druckbeaufschlagtes System

System, das aus Druckbehältern oder druckbeaufschlagten Strukturen oder aus beiden besteht, und andere Druckbauteile, die im Wesentlichen dem wirkenden Druck ausgesetzt sind und strukturell nach ihm bemessen wurden

ANMERKUNG Zum Beispiel:

- wird ein druckbeaufschlagtes System häufig als Drucksystem bezeichnet;
- gehören elektrische oder andere Steuerungsgeräte für Systemoperationen nicht dazu.

3.2.40

Korrekturfaktor

j_{proof}

Multiplikator, der auf MDP angewendet wird, um den Bemessungskorrekturdruck zu erhalten

3.2.41

Korrekturdruck

Produkt aus MDP und Korrekturfaktor

3.2.42**Abnahmetest**

Test von Flugbauteilen unter Prüflast oder –druck zum Nachweis der zufriedenstellenden Verarbeitung und Materialqualität oder um Anfangsrissslängen im Bauteil festzulegen

3.2.43**geschlossener Behälter**

druckbeaufschlagter Behälter, druckbeaufschlagte Kammer oder druckbeaufschlagtes Gehäuse, der/die/das einzeln versiegelt ist, um ein Fluid aufzunehmen oder um eine interne gasförmige Umgebung aufrechtzuerhalten

ANMERKUNG Zum Beispiel Elektronikgehäuse.

3.2.44**Auslegungsdruck**

Druck, dem das druckbeaufschlagte Teil mit Verbundwerkstoff-Umwicklung mit der Absicht ausgesetzt wird, dessen Metallinnenbehälter (Liner) oder einen Bereich des Innenbehälters über die Streckgrenze hinaus zu beanspruchen

ANMERKUNG Der Auslegungsdruck entspricht zum Beispiel dem bei der Autofrettage angewendeten Druck.

3.2.45**spezielle druckbeaufschlagte Ausrüstung**

druckbeaufschlagtes Teil, das die Definition für einen Druckbehälter erfüllt, das jedoch nicht realisierbar oder zu kosteneffektiv ist, um mit den für Druckbehälter geltenden Anforderungen übereinzustimmen

ANMERKUNG Zum Beispiel:

- darf ein druckbeaufschlagtes Teil mit der Zustimmung des Kunden als spezielle druckbeaufschlagte Ausrüstung klassifiziert werden;
- Heizrohre, Kryostate, geschlossene Behälter und Behälter für gefährliches Fluid;
- erfüllt eine versiegelte Nickel-Wasserstoff-Batterie die Definition für einen Druckbehälter.

3.2.46**Schwellenwert für sichtbare Beschädigung****VDT**

niedrigste auf einen Gegenstand aus Verbundwerkstoff aufgebrachte Stoßenergie, die einen Eindruck erzeugt, der vom Prüfer ohne Hilfsmittel durch Sichtprüfung feststellbar ist

ANMERKUNG Mit diesem Verfahren hängen weder die quantitative Zuverlässigkeit noch das Vertrauensniveau zusammen.

3.3 Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Abkürzungen nach ECSS-S-ST-00-01 und die folgenden Abkürzungen.

Abkürzung	Bedeutung	
BAI	Restberstdruckfestigkeit nach Stoß	(en: residual burst strength after impact)
COPC	Druckbeaufschlagtes Bauteil mit Verbundwerkstoff-Umwicklung	(en: composite over-wrapped pressurized component)
COPS	Druckbeaufschlagte Struktur mit Verbundwerkstoff-Umwicklung	(en: composite over-wrapped pressurized structures)
COSPE	Spezielle druckbeaufschlagte Ausrüstung mit Verbundwerkstoff-Umwicklung	(en: composite over-wrapped special pressurized equipment)

Abkürzung	Bedeutung	
COPV	Druckbehälter mit Verbundwerkstoff-Umwicklung	(en: composite over-wrapped pressure vessel)
CPS	Druckbeaufschlagte Struktur aus Verbundwerkstoff	(en: composite pressurized structure)
CPV	Druckbehälter aus Verbundwerkstoff	(en: composite pressure vessel)
DLL	Bemessungsgrenzlast	(en: design limit load)
DUL	Bemessungsbruchlast	(en: design ultimate load)
DYL	Bemessungsfließlast	(en: design yield load)
FCI	Rissgefährdetes Bauteil	(en: fracture critical item)
FLLI	Bauteil mit durch Riss begrenzter Lebensdauer	(en: fracture limited life item)
FOS	Sicherheitsfaktor	(en: factor of safety)
ISS	Internationale Raumstation	(en: international space station)
LBB	Undichtheit vor dem Bersten	(en: leak-before-burst)
MDP	Größter Bemessungsdruck	(en: maximum design pressure)
MEOP	Größter erwarteter Betriebsdruck	(en: maximum expected operating pressure)
MPC	Metallisches druckbeaufschlagtes Bauteil	(en: metallic pressurized component)
MPS	Metallische druckbeaufschlagte Struktur	(en: metallic pressurized structure)
MPV	Metallischer Druckbehälter	(en: metallic pressure vessel)
MSPE	Spezielle metallische druckbeaufschlagte Ausrüstung	(en: metallic special pressurized equipment)
NDI	Zerstörungsfreie Prüfung	(en: non-destructive inspection)
PFCI	Möglicherweise rissgefährdetes Bauteil	(en: potential fracture-critical item)
PC	Druckbauteil	(en: pressure component)
PH	Druckbeaufschlagtes Teil	(en: pressurized hardware)
PV	Druckbeaufschlagter Druckbehälter	(en: pressurized pressure vessel)
PS	Druckbeaufschlagte Struktur	(en: pressurized structure)
SPE	Spezielle druckbeaufschlagte Ausrüstung	(en: special pressurized equipment)
VDT	Schwellenwert für sichtbare Beschädigung	(en: visual damage threshold)

3.4 Symbole

j_{burst} der Wert des Berstfaktors

j_{proof} der Wert des Korrekturfaktors

FOSU der Wert des Sicherheitsfaktors für Traglast

FOSY der Wert des Sicherheitsfaktors für Fließlast

English version

Space engineering - Structural design and verification of pressurized hardware

Ingénierie spatiale - Conception structurelle et vérification
des éléments pressurisés

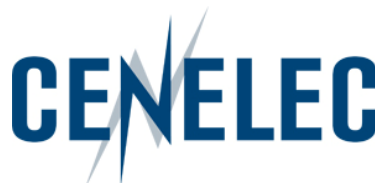
Raumfahrttechnik - Strukturdesign und -verifikation von
druckbeaufschlagten Teilen

This European Standard was approved by CEN on 10 February 2014.

CEN and CENELEC members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN-CENELEC Management Centre or to any CEN and CENELEC member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN and CENELEC member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CEN and CENELEC members are the national standards bodies and national electrotechnical committees of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Former Yugoslav Republic of Macedonia, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.



CEN-CENELEC Management Centre:
Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

Table of contents

Foreword	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	7
3 Terms, definitions, and abbreviated terms.....	8
3.1 Terms from other standards.....	8
3.2 Terms specific to the present standard	8
3.3 Abbreviated terms.....	14
3.4 Symbols.....	15
4 General requirements.....	16
4.1 Overview	16
4.1.1 Content	16
4.1.2 Categories of pressurized hardware.....	16
4.2 General.....	17
4.2.1 Leak tightness.....	17
4.2.2 Classification of fracture critical parts	17
4.2.3 Operation and maintenance	18
4.2.4 Service life extension, reactivation and re-acceptance	20
4.3 Pressure vessels	21
4.3.1 Factors of safety	21
4.3.2 Metallic pressure vessels	22
4.3.3 COPV with metallic liner.....	25
4.3.4 COPV with homogeneous non metallic liner and CPV	29
4.4 Pressurized structures	33
4.4.1 Factors of safety	33
4.4.2 Metallic pressurized structures.....	34
4.4.3 COPS with metallic liner.....	36
4.4.4 COPS with homogeneous non metallic liner and CPS	39
4.5 Pressure components.....	43
4.5.1 Metallic pressure components.....	43

4.5.2	COPC with metallic liner.....	45
4.5.3	COPC with homogeneous non metallic liner	48
4.6	Special pressurized equipment.....	51
4.6.1	Metallic special pressurized equipment.....	51
4.6.2	COSPE with metallic liner	58
4.6.3	COSPE with homogeneous non metallic liner	61
5	Specific requirements	65
5.1	Overview	65
5.2	Structural engineering.....	65
5.3	Failure mode demonstration	66
5.3.1	General	66
5.3.2	Demonstration of LBB by analysis.....	67
5.3.3	Demonstration of LBB by test using coupons	68
5.3.4	Demonstration of LBB by test using full-scale article	68
5.3.5	Report of LBB demonstration	69
5.4	Qualification tests	70
5.4.1	General	70
5.4.2	Proof pressure test.....	70
5.4.3	Leak test	71
5.4.4	Vibration test.....	71
5.4.5	Pressure cycling test.....	71
5.4.6	Design burst pressure test	71
5.4.7	Burst test.....	71
5.5	Acceptance tests	72
5.5.1	General	72
5.5.2	Proof pressure test.....	72
5.5.3	Leak test	72
5.6	Composite over-wrap material characterization	73
5.7	Inspection	73
5.7.1	General	73
5.7.2	Inspection techniques for composite over-wraps and composites	74
	Bibliography.....	75
 Figures		
	Figure 4-1: Breakdown of PH types covered by this Standard	16
	Figure 4-2: Flowchart describing PH classifications covered by this Standard	17

Figure 4-3: Development approach of MPV	23
Figure 4-4: Development approach of COPV with metallic liner	28
Figure 4-5: Development approach of COPV with homogeneous non metallic liner and CPV	32
Figure 4-6: Development approach of MPS	35
Figure 4-7: Development approach of COPS with metallic liner	39
Figure 4-8: Development approach of COPS with homogeneous non metallic liner and CPS	42
Figure 4-9: Development approach of MPC	45
Figure 4-10: Development approach of sealed containers	54
Figure 4-11: Development approach of cryostats (or Dewars)	55
Figure 4-12: Development approach of heat pipes	56
Figure 4-13: Development approach of hazardous fluid containers	57

Tables

Table 4-1: Factors of safety for PV (unmanned and manned missions)	22
Table 4-2: Factors of safety for PS (unmanned mission)	33
Table 4-3: Factors of safety for PS (manned mission)	33
Table 4-4: Factors of safety for manned modules	33
Table 4-5: Factors of safety for MPC (unmanned and manned missions)	43
Table 4-6: Factors of safety for COPC with metallic liner (unmanned and manned missions)	46
Table 4-7: Factors of safety for COPC with homogeneous non metallic liner (unmanned and manned missions)	49
Table 4-8: Factors of safety for MSPE (unmanned and manned missions)	52
Table 4-9: Factors of safety for COSPE with metallic liner (unmanned and manned missions)	59
Table 4-10: Factors of safety for COSPE with homogeneous non metallic liner (unmanned and manned missions)	61

Foreword

This document (EN 16603-32-02:2014) has been prepared by Technical Committee CEN/CLC/TC 5 "Space", the secretariat of which is held by DIN.

This standard (EN 16603-32-02:2014) originates from ECSS-E-ST-32-02C Rev. 1.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by February 2015, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by February 2015.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. CEN [and/or CENELEC] shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This document has been developed to cover specifically space systems and has therefore precedence over any EN covering the same scope but with a wider domain of applicability (e.g. : aerospace).

According to the CEN-CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Former Yugoslav Republic of Macedonia, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and the United Kingdom.

1

Scope

This Standard defines the structural design verification of metallic and non-metallic pressurized hardware which includes pressure vessels, pressurized structures, pressure components (such as valves, pumps, lines, fittings, and hoses), and special pressurized equipment (e.g. batteries, heat pipes, cryostats, sealed containers, hazardous fluids container). External supports and structural interfaces of pressurized hardware are not covered by this standard. Solid propellant motor cases are not covered by this standard.

Objectives of the associated verification process are primarily to demonstrate the qualification of design and performance, as meeting all specified requirements, and to ensure that the flight hardware is free from workmanship defects and acceptable for flight.

This Standard applies to all space products and in particular to launch vehicles, transfer vehicles, re-entry vehicles, spacecraft, space station, landing probes and rovers, sounding rockets, payloads and instruments.

This standard may be tailored for the specific characteristics and constraints of a space project in conformance with ECSS-S-ST-00.

2

Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this ECSS Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revision of any of these publications, do not apply. However, parties to agreements based on this ECSS Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the more recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the publication referred to applies.

EN reference	Reference in text	Title
EN 16601-00-01	ECSS-S-ST-00-01	ECSS system – Glossary of terms
EN 16603-10-02	ECSS-E-ST-10-02	Space engineering – Verification
EN 16603-10-03	ECSS-E-ST-10-03	Space engineering – Testing
EN 16603-32	ECSS-E-ST-32	Space engineering – Structural general requirements
EN 16603-32-01	ECSS-E-ST-32-01	Space engineering – Fracture control
EN 16603-32-08	ECSS-E-ST-32-08	Space engineering – Materials
EN 16603-32-10	ECSS-E-ST-32-10	Space engineering – Reliability based mechanical factors of safety
EN 16602-20	ECSS-Q-ST-20	Space product assurance – Quality assurance
EN 16602-70	ECSS-Q-ST-70	Space product assurance – Materials, mechanical parts and processes

Terms, definitions, and abbreviated terms

3.1 Terms from other standards

For the purpose of this Standard, the terms and definitions from ECSS-S-ST-00-01, ECSS-E-ST-32, and ECSS-E-ST-32-01 apply.

3.2 Terms specific to the present standard

3.2.1 autofrettage

vessel sizing operation where pressure driven deflection is used to plastically yield the metal liner into the overlying composite in order to induce initial compressive stress states in the metal liner

NOTE Autofrettage is considered to be part of the manufacturing process and is conducted prior to acceptance test.

3.2.2 boss

zone of a pressure vessel or a pressurized structure ensuring functional interfaces (e.g. fluid connections and mechanical interfaces) of the hardware with the pressurized system

3.2.3 burst factor (j_{burst})

multiplying factor applied to the maximum design pressure (MDP), to obtain the design burst pressure

NOTE The burst factor corresponds to an ultimate factor of safety.

3.2.4 burst pressure

pressure level at which collapse, rupture or unstable fracture of the pressurized hardware occurs

3.2.5 composite over-wrap

layers of fibre-based composite material applied onto a liner, sustaining significant pressure and environmental loads

3.2.6 composite over-wrapped pressure vessel (COPV)

pressure vessel with a fibre-based composite structure fully or partially encapsulating a liner

NOTE For example:

- the liner can be metallic or not.
- the liner ensures the leak tightness of the vessel.

3.2.7 composite over-wrapped pressurized component (COPC)

pressurized component with a fibre-based composite system fully or partially encapsulating a liner

NOTE For example:

- the liner can be metallic or not.
- the liner ensures the leak tightness of the vessel.

3.2.8 composite over-wrapped pressurized structure (COPS)

pressurized structure with a fibre-based composite system fully or partially encapsulating a liner

NOTE For example:

- the liner can be metallic or not.
- the liner ensures the leak tightness of the vessel.

3.2.9 composite over-wrapped special pressurized equipment (COSPE)

special pressurized equipment with a fibre-based composite system fully or partially encapsulating a liner

NOTE For example:

- the liner can be metallic or not.
- the liner ensures the leak tightness of the vessel.

3.2.10 composite pressure vessel (CPV)

pressure vessel whose structural wall is fully composed with fibre based composite material

NOTE For example:

- the permeation barrier can be ensured by a coating on the internal or the external shape of the composite wall, or by the composite wall itself, or by both.
- low-pressure liquid hydrogen tank without liner.

3.2.11 composite pressurized structure (CPS)

pressurized structure whose structural wall is fully composed with fibre based composite material

NOTE For example:

- the permeation barrier can be ensured by a coating on the internal or external shape of the composite wall, or by the composite wall itself, or by both.
- low-pressure liquid hydrogen structural tank without liner.

3.2.12 critical flaw

specific flaw with a size such that unstable growth occurs under the specific operating load and environment

3.2.13 cryostat

vacuum-jacketed container designed to keep its contents at a low (cryogenic) temperature

NOTE Cryostat is also known as a Dewar, named after its inventor.

3.2.14 design burst pressure

differential pressure to be withstood by the pressurized hardware without burst in the applicable operating environment

NOTE The design burst pressure is equal to the product of the MDP and the burst factor.

3.2.15 differential pressure

internal pressure minus external pressure

3.2.16 external pressure

absolute pressure outside the pressurized hardware

3.2.17 fibre failure

rupture or kinking of a bundle of filaments

NOTE There are two fibre failure modes: under tension (fibre rupture) and under compression (kinking).

3.2.18 fitting

pressure component of a pressurized system utilized to connect lines, other pressure components or pressure vessels within the system

3.2.19 hazardous fluid container

pressurized container, compartment or housing that is individually sealed to contain a fluid, which can create a hazard if released

3.2.20 hydrogen embrittlement

mechanical and environmental process that results from the initial presence or absorption of excessive amounts of hydrogen in metals

NOTE Usually it occurs in combination with residual or applied tensile stresses.

3.2.21 impact damage

induced defect caused by an object strike on the pressurized hardware or pressurized hardware strike on an object

NOTE Delamination in the composite over-wrap of a COPV, dent in the metallic liner of a COPV.

3.2.22 inter-fibre failure

micro-cracking in the matrix of a composite material, or at the interface filament-matrix of a composite material

3.2.23 internal pressure

absolute pressure inside the pressurized hardware

3.2.24 leak-before-burst (LBB)

fracture mechanics design concept, showing that any potentially critical flaw grows through the wall of a pressurized system and cause pressure relieving leakage at MDP without burst (catastrophic failure)

3.2.25 liner

part of pressurized hardware serving as a mandrel during the manufacturing of the over-wrap and as fluid permeation barrier when in contact with the stored fluid

NOTE For example:

- when the liner is made of metallic material, it can carry significant pressure and environmental loads.
- when the liner is made of homogeneous non metallic material, it usually does not carry significant pressure and environmental loads.

3.2.26 line

tubular pressurized hardware of a pressurized system provided as means for transferring fluids between components of the system

NOTE Flex hoses are included.

3.2.27 maximum design pressure (MDP)

See ECSS-E-ST-32.

3.2.28 maximum expected operating pressure (MEOP)

See ECSS-E-ST-32.

3.2.29 mechanical damage

induced flaw in pressurized hardware item which is caused by surface abrasions, cuts or impacts

NOTE The pressurized hardware item can be a metallic, homogeneous non metallic or composite item.

3.2.30 metallic pressure vessel (MPV)

pressure vessel fully composed of metallic material

3.2.31 metallic pressurized structure (MPS)

pressurized structure fully composed of metallic material

3.2.32 metallic pressurized component (MPC)

pressurized component fully composed of metallic material

3.2.33 metallic special pressurized equipment (MSPE)

special pressurized equipment fully composed of metallic material

3.2.34 non-hazardous LBB failure mode

leak-before-burst (LBB) behaviour that does not result in a hazard

NOTE For example: LBB behaviour with a leak of liquid or gas that is not toxic, reactive or flammable.

3.2.35 pressure component (PC)

component in a pressurized system, other than a pressure vessel, pressurized structure, or special pressurized equipment that is designed largely by the internal pressure

NOTE For example:

- lines, fittings, gauges, valves, bellows, and hoses.
- batteries not meeting the pressure vessel definition.

3.2.36 pressure vessel (PV)

pressurized hardware designed primarily for the storage of pressurized fluid with an energy level greater than or equal to 19310 Joules, or with a pressure greater than or equal to 0,69 MPa, or which can create a hazard if released

NOTE E.g. the stored energy can be calculated by the formula for the reversible adiabatic (isentropic) expansion of the confined gas:

$$E = \frac{P_1 V}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]$$

where:

E is the stored energy;

P_1 is the internal pressure;

P_2 is the external pressure;

V is the pressurized volume;

γ is the ratio of specific heat of the gas.

3.2.37 pressurized hardware (PH)

hardware item that primarily contains internal pressure

NOTE E.g. included are pressure vessels, pressurized structures, pressure components and special pressurized equipments.

3.2.38 pressurized structure (PS)

structure designed to carry both internal pressure and vehicle structural loads

NOTE E.g. launch vehicle main propellant tanks, crew cabins and manned modules.

3.2.39 pressurized system

system which consists of pressure vessels, or pressurized structures, or both, and other pressure components, that are exposed to and structurally designed largely by the acting pressure

NOTE For example:

- a pressurized system is often called a pressure system.
- electrical or other control devices for system operations are not included.

3.2.40 proof factor (j_{proof})

multiplying factor applied to MDP to obtain design proof pressure

3.2.41 proof pressure

product of MDP and proof factor

3.2.42 proof test

test of flight hardware under proof load or pressure to give evidence of satisfactory workmanship and material quality or to establish the initial crack sizes in the hardware

3.2.43 sealed container

pressurized container, compartment or housing that is individually sealed to contain a fluid or to maintain an internal gaseous environment

NOTE E.g. electronics housing

3.2.44 sizing pressure

pressure to which composite over-wrapped pressurized hardware is subjected with the intent of yielding its metallic liner or a portion of the liner

NOTE E.g. the sizing pressure also refers to the pressure applied during autofrettage.

3.2.45 special pressurized equipment

pressurized hardware that meets the pressure vessel definition, but which is not feasible or cost effective to conform to the requirements applicable to pressure vessels

NOTE For example:

- pressurized hardware may be classified as special pressurized equipment with customer approval.
- heat pipes, cryostats, sealed containers and hazardous fluids container.
- sealed nickel-hydrogen batteries meeting the definition of a pressure vessel.

3.2.46 visual damage threshold (VDT)

lowest impact energy level applied to a composite item that creates an indication that is detectable by an inspector using an unaided visual technique

NOTE No quantitative reliability nor confidence level is associated with this technique.

3.3 Abbreviated terms

For the purpose of this Standard, the abbreviated terms from ECSS-S-ST-00-01 and the following apply:

Abbreviation	Meaning
BAI	residual burst strength after impact
COPC	composite over-wrapped pressurized component
COPS	composite over-wrapped pressurized structures
COSPE	composite over-wrapped special pressurized equipment
COPV	composite over-wrapped pressure vessel
CPS	composite pressurized structure
CPV	composite pressure vessel
DLL	design limit load
DUL	design ultimate load
DYL	design yield load
FCI	fracture critical item
FLLI	fracture limited life item
FOS	factor of safety
ISS	international space station

LBB	leak-before-burst
MDP	maximum design pressure
MEOP	maximum expected operating pressure
MPC	metallic pressurized component
MPS	metallic pressurized structure
MPV	metallic pressure vessel
MSPE	metallic special pressurized equipment
NDI	non-destructive inspection
PFCI	potential fracture-critical item
PC	pressure component
PH	pressurized hardware
PV	pressurized pressure vessel
PS	pressurized structure
SPE	special pressurized equipment
VDT	visual damage threshold

3.4 Symbols

j_{burst}	value of burst factor
j_{proof}	value of proof factor
FOSU	value of ultimate factor of safety
FOSY	value of yield factor of safety

General requirements

4.1 Overview

4.1.1 Content

Clause 4 presents requirements which are general requirements in the sense that:

- requirements for all categories of pressurized hardware are specified in clause 4.2;
- requirements for all pressure vessels are specified in clause 4.3;
- requirements for all pressurized structures are specified in clause 4.4;
- requirements for all pressure components are specified in clause 4.5;
- requirements for all special pressurized equipments are specified in clause 4.6.

4.1.2 Categories of pressurized hardware

The pressurized hardware treated in this Standard are categorized in Figure 4-1. A flowchart describing the classification of pressurized hardware is in Figure 4-2.

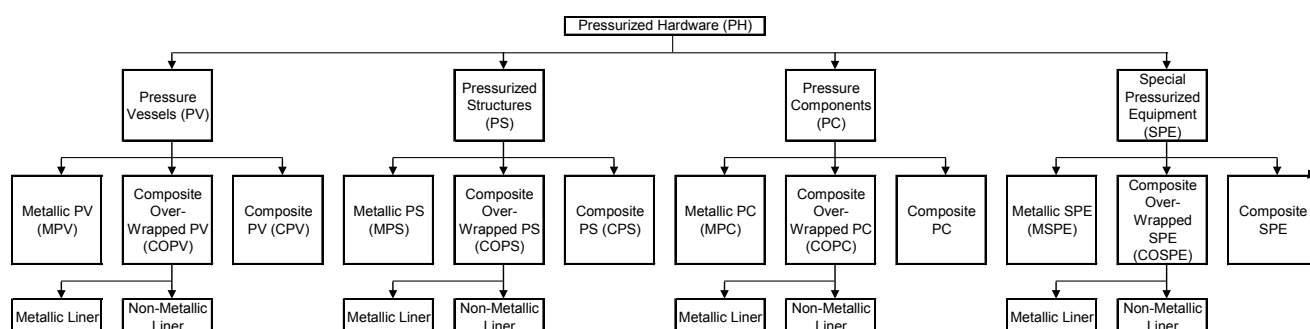


Figure 4-1: Breakdown of PH types covered by this Standard