

DIN EN 16603-32-01

ICS 49.140

Entwurf

Einsprüche bis 2021-11-03
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 16603-32-01:2014-10

**Raumfahrttechnik –
Überwachung des Rissfortschritts;
Englische Fassung FprEN 16603-32-01:2021**

Space engineering –
Fracture control;
English version FprEN 16603-32-01:2021

Ingénierie spatiale –
Maîtrise de la rupture;
Version anglaise FprEN 16603-32-01:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-09-03 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 nl@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 Luft- und Raumfahrt (NL), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, 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 95 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Begriffe und Abkürzungen.....	4
3 Begriffe	4
3.1 Begriffe aus anderen Normen	4
3.2 Für diese Norm spezifische Begriffe	5
3.3 Abkürzungen	10

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 16603-32-01:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/CLC/JTC 5 „Raumfahrt“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-06-02 AA „Interoperabilität von Informations-, Kommunikations- und Navigationssystemen“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL).

Dieses Dokument enthält unter Berücksichtigung des DIN-Präsidialbeschlusses 1/2004 nur die englische Originalfassung von FprEN 16603-32-01:2021.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 16603-32-01:2014-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Umsetzung von Änderungswünschen;
- b) Ersetzung des Begriffs „non-destructive inspection (NDI)“ durch „non-destructive testing (NDT)“ im gesamten Dokument;
- c) Aktualisierung des Geltungsbereichs;
- d) Streichung der Informationen über das NASA Space Shuttle Programm (STS);
- e) Aktualisierung der normativen Verweisungen und Begriffe, Definitionen und abgekürzten Begriffe;
- f) Ergänzung der Nomenklatur;
- g) Hinzufügung von Abschnitt 8.2.7 „Pressurized components with non-hazardous LBB failure mode“;
- h) Hinzufügung des Abschnitts 8.9 „Alloys treated with electric discharge manufacturing (EDM)“;
- i) Hinzufügung des Abschnitts 11.2.2.5 „Sichere Lebensdauer von Verbund-, Verbund- und Sandwichstrukturen“;
- j) Hinzufügung des Abschnitts 11.2.2.6 „Metallic parts classified as PFCI according to 11.2.2.1“;
- k) Hinzufügung des Abschnitts 11.2.2.7 „Fasteners classified as PFCI according to 11.2.2.1“;
- l) Hinzufügung des Abschnitts 11.2.2.8 „NDT of fusion welded joints in pressure components, as per 10.3.1p“;
- m) mehrere Abschnitte und Anforderungen wurden in EN 16602-70-15 verschoben (entspricht ECSS-Q-ST-70-15);
- n) redaktionelle Überarbeitung der Norm.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Begriffe und Abkürzungen

Die Benennungen der folgenden Begriffe sind identisch mit den Benennungen in der englischen Fassung.

3 Begriffe

3.1 Begriffe aus anderen Normen

- a) Für die Anwendung dieser Norm gelten die Begriffe nach ECCSS-ST-00-01 und insbesondere die folgenden Begriffe:

- 1) extrem, katastrophal
- 2) Kunde

ANMERKUNG In dieser Norm stellt der Kunde den für die Überwachung des Rissfortschritts Verantwortlichen oder die Sicherheitsbehörde dar.

- 3) Gefährdung

- b) Für die Anwendung dieser Norm gelten die Begriffe nach ECSS-E-ST-32:

- 1) Fehler

ANMERKUNG Der Begriff Defekt wird synonym verwendet.

- 2) größter Bemessungsdruck (MDP, en: maximum design pressure)
- 3) Lebensdauer
- 4) Abnahmetest
- 5) Grenzbelastung
- 6) Struktur
- 7) Safe life
sichere Lebensdauer

- c) Für die Anwendung dieser Norm gelten die Begriffe nach ECSS-E-ST-32-02:

- 1) Berstdruck
- 2) Behälter für gefährliches Fluid
- 3) Undichtheit vor dem Bersten (LBB, en: leak before burst)
- 4) Druckbauteil
- 5) Druckbehälter

- 6) druckbeaufschlagte Struktur
- 7) geschlossener Behälter
- 8) spezielle druckbeaufschlagte Ausrüstung
- 9) Schwellenwert für sichtbare Beschädigung, (VDT, en: visual damage threshold)

ANMERKUNG 1 Bei einer typischen Anwendung einer dünnwandigen Verbundstruktur ist der VDT manchmal definiert als die Stoßenergie eines Stoßkörpers mit einer halbkugelförmigen Spitze von 16 mm Durchmesser, die nach einer ausreichend langen Zeit bis zur möglichen Entstehung eines Eindrucks im Lauf der Zeit eine bleibende Oberflächendurchbiegung von mindestens 0,3 mm zwischen Stoß und zerstörungsfreier Prüfung verursacht (z. B. aufgrund von Alterung in feuchter Atmosphäre, Dauerbeanspruchung, Viskoelastizität des Harzes).

ANMERKUNG 2 Die Bestimmung des nach ausreichend langer Zeit auf einer bleibenden Oberflächendurchbiegung von 0,3 mm (siehe ANMERKUNG 1) basierenden VDT kann zeitaufwändig sein. Daher werden zur Bestimmung des VDT manchmal Tests durchgeführt, die eine mechanische Beschädigung verursachen, die einer Durchbiegung von mindestens 1 mm unmittelbar nach dem Stoß entspricht.

- 10) Versagensart „nicht gefährliche LBB“
- d) Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ECSS-Q-ST-70-15:
- 1) genaue Sichtprüfung
 - 2) besondere NDT-Verfahren zur Überwachung des Rissfortschritts
 - 3) genormte NDT-Verfahren zur Überwachung des Rissfortschritts

3.2 Für diese Norm spezifische Begriffe

3.2.1

aggressive Umgebung

jede Kombination von einer Temperatur und flüssigen oder gasförmigen Stoffen, die das statische Risswachstum oder das Risswachstum durch Ermüdung gegenüber dem „normalen“ Verhalten bei Umgebungstemperatur im Labor verändert

3.2.2

analytische Lebensdauer

analytisch bewertete Lebensdauer, wie durch Analyse des Risswachstums oder Ermüdungsanalyse

3.2.3

Einkapselung

Designprinzip der Beschädigungstoleranz, das beim Ausfall eines Bauteils die Ausbreitung der Auswirkungen eines Fehlers über die Behältergrenzen hinaus verhindert

ANMERKUNG 1 Ein eingekapseltes Bauteil gilt nicht als PFCI, außer dessen Freisetzung kann zu einer Gefährdung im Behälterinneren führen. Der Behälter ist ein PFCI und dessen konstruktive Unversehrtheit nach dem Stoß wird als Teil der Aktivitäten zur Überwachung des Rissfortschritts verifiziert.

ANMERKUNG 2 In dieser Norm umfasst der Begriff Behälter in den meisten Fällen Gegenstände, die z. B. durch einen Haltegurt zurückgehalten werden, um gefährliche Ereignisse aufgrund des Versagens des Gegenstandes zu verhindern.

3.2.4

rissartiger Fehler

Fehler, der das gleiche mechanische Verhalten wie ein Riss aufweist

ANMERKUNG 1 „Riss“ und „rissartiger Fehler“ werden in dieser Norm als Synonym betrachtet.

ANMERKUNG 2 Rissartige Fehler können beispielsweise bei der Herstellung, Fertigung oder Prüfung des Materials verursacht werden oder sich während der Nutzung des Bauteils entwickelt haben.

ANMERKUNG 3 Der Begriff „rissartiger Fehler“ kann einschließen:

- bei metallischen Materialien: Fehler, Einschlüsse, Poren und ähnliche Defekte;
- bei nichtmetallischen Materialien: Haftfehler, gebrochene Fasern, Delamination, Stoßschäden und andere materialspezifische Defekte.

3.2.5

Risslängenverhältnis

a/c

<bei einem Anriss> Verhältnis der Risstiefe zur halben Risslänge

3.2.6

Risslängenverhältnis

a/c

<bei einem Anriss in der Ecke> Verhältnis der Risstiefe zur Risslänge

3.2.7

Geschwindigkeit des Risswachstums

Geschwindigkeit der Änderung der Rissabmessung als Funktion der Lastwechselzahl oder der Zeit

ANMERKUNG Beispielsweise da/dN , dc/dN , da/dt and dc/dt .

3.2.8

Verzögerung des Risswachstums

Verringerung der Geschwindigkeit des Risswachstums aufgrund vorübergehender Überlastung des gerissenen Bauteils

3.2.9

kritische Rissgröße

Rissgröße, bei der die Struktur unter der maximal festgelegten Belastung versagt

ANMERKUNG Die maximal festgelegte Belastung ist in vielen Fällen die Grenzbelastung, jedoch manchmal größer als die Grenzbelastung (z. B. bei festgestellten Fehlern, Verbundwerkstoffen und Glasgegenständen)

3.2.10

kritischer Anfangsfehler

CID

kritische (z. B. maximale) Anfangsrissgröße, bei der die Struktur die festgelegte Anzahl von Laufzeiten überstehen kann

3.2.11

kritischer Spannungsintensitätsfaktor

Wert des Spannungsintensitätsfaktors an der Spitze eines Risses, bei dem ein ungleichmäßiges Fortschreiten eines Risses festzustellen ist

ANMERKUNG 1 Dieser Wert wird auch als Bruchzähigkeit bezeichnet. Der Kennwert K_{IC} ist die Bruchzähigkeit bei ebener Beanspruchung und eine dem Material eigene Eigenschaft. Bei anderen Spannungszuständen als der ebenen Beanspruchung wird die Bruchzähigkeit für Anrisse mit K_c oder K_{Ic} bezeichnet. Bei Analysen der Bruchmechanik wird ein unmittelbar bevorstehender Ausfall angenommen, wenn der angesetzte Spannungsintensitätsfaktor seinen kritischen Wert, d. h. die Bruchzähigkeit, erreicht oder überschreitet. Siehe 3.2.22.

ANMERKUNG 2 Der Begriff Bruchzähigkeit wird synonym verwendet.

3.2.12

Wechselbeanspruchung

veränderliche Beanspruchung (oder veränderlicher Druck), die (der) durch die relative Größe von Belastung und Entlastung einer Struktur gekennzeichnet ist

ANMERKUNG Beispiele dafür sind Belastungen aufgrund des Einschwingverhaltens, schwingungsakustische Erregung, Vibrieren, Druckzyklen und schwingende oder sich hin- und herbewegende mechanische Teile.

3.2.13

Schwellenwert der Dehnung für die Beschädigungstoleranz

<Verbundstrukturen> Höchstmaß der Beanspruchung, bei dessen Unterschreiten die mit den Größen zusammenhängende Beschädigung, die durch zerstörungsfreie Prüfung (NDT, en: non-destructive inspection), genaue Sichtprüfung, Bewertung der Gefahr durch eine Beschädigung oder durch vorgegebene Mindestgrößen bei 10^6 Zyklen (10^8 Zyklen bei rotierender maschineller Ausrüstung) festgestellt wurde, bei einem der Anwendung entsprechenden Lastverhältnis nicht wächst

ANMERKUNG 1 Die Beanspruchung ist der größte Absolutwert der Belastung in einem Lastzyklus.

ANMERKUNG 2 Der Schwellenwert der Dehnung für die Beschädigungstoleranz ist abhängig von der Materialart sowie vom Verstärkungsmaterial und wird aus den Testdaten in der Designumgebung für den geltenden oder ungünstigsten Typ und für die Ausrichtung von Spannung und Fehler für ein bestimmtes Design und eine bestimmte Fehlergröße bestimmt (z. B. die durch die VDT bestimmte Größe).

ANMERKUNG 3 Zur Definition „genaue Sichtprüfung“ siehe ECSS-Q-ST-70-15.

3.2.14

Beschädigungstoleranz

Merkmal einer Struktur, bei der der Umfang der allgemeinen Beschädigung oder die Größe und Verteilung örtlicher Fehler, die während des Betriebs erwartet werden, oder beide nicht zu einer strukturellen Verschlechterung bis unter die festgelegte Leistungsgrenze führen

3.2.15

Defekt

siehe „Fehler“ (3.1)

3.2.16

festgestellter Fehler

Fehler, der bekanntermaßen im Bauteil vorhanden ist

3.2.17

Fail safe

Ausfallsicherheit

<Strukturen> Designprinzip der Beschädigungstoleranz, bei dem eine Struktur durch Redundanz sicherstellt, dass ein Ausfall eines Elements keinen generellen Ausfall der gesamten Struktur während der verbleibenden Lebensdauer verursacht

3.2.18

Verbindungselement

Element zur Verbindung von Bauteilen und Übertragung von Lasten zwischen ihnen über einen Verbinder

3.2.19

Ermüdung

Gesamtheit der durch Wechselbeanspruchung verursachten irreversiblen Schäden an Material und Strukturen

ANMERKUNG 1 Ermüdung kann Risse auslösen und erweitern, die dann die Festigkeit von Material und Struktur herabsetzen.

ANMERKUNG 2 Beispiele für das Ermüdungsverhalten von das Material beeinflussenden Faktoren sind die Umgebung, Oberflächenbeschaffenheit und Bauteilabmessungen.

3.2.20

rissgefährdetes Bauteil

Bauteil, das als rissgefährdet eingestuft wurde

3.2.21

Bauteil mit durch Riss begrenzter Lebensdauer

Bauteil, das zur Erfüllung der Anforderungen an die Rissfortschrittsüberwachung eine regelmäßige Wiederholung der zerstörungsfreien Prüfung oder Ersatz erfordert

3.2.22

Bruchzähigkeit

Materialbeständigkeit gegen die instabile Ausbreitung eines Risses

ANMERKUNG Siehe kritischer Spannungsintensitätsfaktor, 3.2.11.

3.2.23

Anfangsrissgröße

größter durch zerstörungsfreie Prüfung bestimmter Riss, der für eine bruchmechanische Bewertung angenommen wird

3.2.24

Verbinder

Element zur Verbindung von Bauteilen und Übertragung von Lasten zwischen diesen

3.2.25

Lastverstärkungs-Index

LEF

Faktor, der auf das Belastungsspektrum der Ermüdungstests anzuwenden ist, um mit den Tests eine festgelegte Zuverlässigkeit und Sicherheit nachzuweisen

ANMERKUNG 1 Der LEF hängt von Material oder Struktur, der Anzahl der zu prüfenden Bauteile und der Dauer der Tests ab.

ANMERKUNG 2 MIL-HDBK-17F, Vol. 3, 7.6.3, enthält einen Ansatz zur Berechnung des LEF für Verbundstrukturen.

3.2.26

Lastfall

Bedingung, Ereignis, Umgebung oder Missionsphase, der/dem das Struktursystem ausgesetzt wird und die/das Lasten in der Struktur verursacht

3.2.27

Belastungsspektrum

Darstellung der gesamten statischen und dynamischen Beanspruchungen, die für ein Bauteil während dessen Einsatzdauer erwartet werden

ANMERKUNG Das Belastungsspektrum wird auch mit Belastungsverlauf bezeichnet.

3.2.28

mechanische Beschädigung

eingebrachter Fehler in einem Bauteil aus Verbundwerkstoff, der durch äußere Einflüsse verursacht wird, wie z. B. Oberflächenabnutzung, Schnitte oder Stöße

3.2.29

möglicherweise rissgefährdetes Bauteil

PFCI

Bauteil, bei dem das Entstehen oder Fortschreiten von Rissen in Strukturelementen während der Lebensdauer zu einer extremen Gefährdung führen kann

ANMERKUNG 1 Druckbehälter und rotierende maschinelle Ausrüstung werden immer als PFCI angesehen. Siehe Bild 6-1.

ANMERKUNG 2 Das kann für andere bemannte Missionen gelten.

3.2.30

R-Verhältnis

Verhältnis der kleinsten zur größten mechanischen Spannung

3.2.31

Eigenspannung

in der Struktur vorhandene Spannung infolge der Verarbeitung des Materials, der Herstellung oder früherer Belastung

3.2.32

rotierende maschinelle Ausrüstung

rotierende mechanische Bauteile mit einer kinetischen Energie von mindestens 19 300 J oder mit einem Drehmoment von mindestens 136 Nms

ANMERKUNG Der Wert der kinetischen Energie basiert auf $0,5 I \omega^2$; dabei ist I das Trägheitsmoment, in kg/m^2 , und ω die Winkelgeschwindigkeit, in rad/s .

3.2.33

Spannungsrissskorrosion

SCC

Entstehung oder Fortschreiten eines Risses oder beides infolge des gleichzeitigen Einwirkens von Dauerspannungen, Materialeigenschaften und einer aggressiven Umgebung

ANMERKUNG Der größte Wert des Spannungsintensitätsfaktors für ein gegebenes Material, bei dem kein durch Umwelteinflüsse induziertes Risswachstum bei Dauerspannung für die festgelegte Umgebung auftritt ist K_{ISCC} .

3.2.34

Spannungsintensitätsfaktor

K

in der Bruchmechanik verwendete Rechengröße als Maß der Intensität des Spannungsfeldes an der Spitze eines idealen Risses

ANMERKUNG Wird für eine bestimmte Rissgröße, einwirkende Spannung und Bauteilgeometrie berechnet. Siehe 3.2.11.

3.2.35

strukturelles Screening

Screening von Strukturelementen mit dem Ziel, für die gesamte Struktur PFCI zu identifizieren

ANMERKUNG Die Struktur enthält Bauteile, um Drücken zu widerstehen oder um Einschließungen vorzusehen (siehe ECSS-E-ST-32).

3.2.36

Schwellenwert des Bereichs der Spannungsintensität

ΔK_{th}

Bereich der Spannungsintensität, unterhalb dessen bei Wechselbeanspruchung kein Risswachstum auftritt

3.2.37

veränderliches Amplitudenspektrum

Belastungsspektrum oder -verlauf, dessen Amplitude sich zeitlich ändert

3.3 Abkürzungen

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

Abkürzung Bedeutung

a/c	Risslängenverhältnis (siehe 3.2.5)	(en: crack aspect ratio)
AR	Abnahmereview	(en: acceptance review)
ASME	Berufsverband der Maschinenbauingenieure in den USA	(en: American Society of Mechanical Engineers)
ASTM	Amerikanische Gesellschaft für Materialprüfung	(en: American Society for Testing and Materials)
BS	Britische Norm	(en: British Standard)
CDR	Kritisches Design-Review	(en: critical design review)
CID	Kritischer Anfangsriss	(en: critical initial defect)
COPV	Druckbehälter mit Verbundwerkstoff-Umwicklung	(en: composite overwrapped pressure vessel)
DOT	Verkehrsministerium der Vereinten Staaten	(en: United States Department of Transportation)
DRD	Definition der Anforderungen an Dokumente	(en: document requirements definition)

Abkürzung	Bedeutung	
EDM	Funkenerodieren	(en: electrical discharge machining)
EN	Europäische Norm	(en: European Standard)
EPFM	Elastisch-plastische Bruchmechanik	(en: elastic-plastic fracture mechanics)
ESA	Europäische Weltraumorganisation	(en: European Space Agency)
FAD	Schema für das Fehler-Assessment	(en: failure assessment diagram)
FCI	Rissgefährdetes Bauteil	(en: fracture-critical item)
FCIL	Liste rissgefährdeter Bauteile	(en: fracture-critical items list)
FE	Finites Element	(en: finite element)
FLLI	Bauteil mit durch Riss begrenzter Lebensdauer	(en: fracture-limited life item)
FLIL	Liste der Bauteile mit durch Riss begrenzter Lebensdauer	(en: fracture-limited life items list)
FOD	Fremdkörper	(en: foreign object debris)
F_{ty}	Bemessungswert der Streckgrenze (in MPa)	(en: design tensile yield strength)
F_{tu}	Bemessungswert der Bruchfestigkeit (in MPa)	(en: design tensile ultimate strength)
GSE	Bodengeräte	(en: ground support equipment)
ISO	Internationale Organisation für Normung	(en: International Organisation for Standardisation)
ISS	Internationale Raumstation	(en: International Space Station)
J-R-curve	Risswiderstandskurve unter Anwendung des J-Integral-Konzepts	(en: resistance curve based on J-integral)
K-R-curve	Risswiderstandskurve unter Anwendung des Spannungsintensitätsfaktors K	(en: resistance curve based on stress intensity factor (K))
LBB	Undichtheit vor dem Bersten	(en: leak before burst)
LEF	Lastverstärkungs-Index	(en: load enhancement factor)
LEFM	Linear-elastische Bruchmechanik	(en: linear elastic fracture mechanics)
K_c	Bruchzähigkeit bei anderen Spannungszuständen als ebene Beanspruchung	(en: fracture toughness for stress conditions other than plane strain)
	ANMERKUNG Siehe ANMERKUNG 1 der Definition 3.2.11.	
K_{IC}	Bruchzähigkeit bei ebener Beanspruchung	(en: plane strain fracture toughness)

Abkürzung	Bedeutung	
K_{ISCC}	Schwellenwert des Spannungsintensitätsfaktors für Spannungsrissskorrosion	(en: threshold stress-intensity factor for stress-corrosion cracking)
ΔK_{th}	Schwellenwert des Bereichs der Spannungsintensität	(en: threshold stress-intensity range)
MDP	Größter Bemessungsdruck	(en: maximum design pressure)
MEOP	Größter erwarteter Betriebsdruck	(en: maximum expected operating pressure)
NASA	US-amerikanische Luft- und Raumfahrtbehörde	(en: National Aeronautics and Space Administration)
NDT	zerstörungsfreie Prüfung	(en: non-destructive testing)
NHLBB	Nicht gefährliche Undichtheit vor dem Bersten	(en: non-hazardous leak before burst)
NSTS	Nationales Raumtransportsystem (Space Shuttle der NASA)	(en: National Space Transportation System (NASA Space Shuttle))
PDR	Vorläufiges Designreview	(en: preliminary design review)
PFCI	Möglicherweise rissgefährdetes Bauteil	(en: potential fracture-critical item)
PFCIL	Liste möglicherweise rissgefährdeter Bauteile	(en: potential fracture-critical items list)
R	Verhältnis der kleinsten zur größten mechanischen Spannung	(en: ratio of the minimum stress to maximum stress)
RFCP	Verkürztes Programm zur Überwachung des Rissfortschritts	(en: reduced fracture-control programme)
SAE	Verband der Automobilingenieure	(en: Society of Automotive Engineers)
SCC	Spannungsrissskorrosion	(en: stress-corrosion cracking)
SI	Internationales Einheitensystem	(en: international system of units)
SRR	Systemanforderungsreview	(en: system requirements review)
US	Ultraschall	(en: ultrasonic)
UTS	Bruchfestigkeit	(en: ultimate tensile strength)
VDT	Schwellenwert für sichtbare Beschädigung	(en: visual damage threshold)

September 2021

ICS 49.140

Will supersede EN 16603-32-01:2014

English version

Space engineering - Fracture control

Ingénierie spatiale - Maîtrise de la rupture

Raumfahrttechnik - Überwachung des Rissfortschritts

This draft European Standard is submitted to CEN members for formal vote. It has been drawn up by the Technical Committee CEN/CLC/JTC 5.

If this draft becomes a European Standard, 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.

This draft European Standard was established by CEN and CENELEC 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, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Republic of North Macedonia, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

Warning : This document is not a European Standard. It is distributed for review and comments. It is subject to change without notice and shall not be referred to as a European Standard.



CEN-CENELEC Management Centre:
Rue de la Science 23, B-1040 Brussels

Table of contents

European Foreword	6
1 Scope	7
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms	9
3.1 Terms from other standards	9
3.2 Terms specific to the present standard	10
3.3 Abbreviated terms	15
3.4 Nomenclature	17
4 Principles	18
5 Fracture control programme	20
5.1 General	20
5.2 Fracture control plan	21
5.3 Reviews	21
5.3.1 General	21
5.3.2 Safety and project reviews	21
6 Identification and evaluation of PFCI	23
6.1 Identification of PFCIs	23
6.2 Evaluation of PFCIs	26
6.2.1 Damage tolerance	26
6.2.2 Fracture critical item classification	28
6.3 Compliance procedures	28
6.3.1 General	28
6.3.2 Safe life items	29
6.3.3 Fail-safe items	29
6.3.4 Contained and restrained items	30
6.3.5 Low-risk fracture items	31
6.4 Documentation requirements	37
6.4.1 Fracture control plan	37
6.4.2 Lists	37

6.4.3	Analysis and test documents.....	37
6.4.4	Fracture control summary report	37
7	Fracture mechanics analysis.....	39
7.1	General.....	39
7.2	Analytical life prediction	40
7.2.1	Identification of all load events	40
7.2.2	Identification of the most critical location and orientation of the crack.....	41
7.2.3	Derivation of stresses for the critical location.....	41
7.2.4	Derivation of the stress spectrum	41
7.2.5	Derivation of material data	42
7.2.6	Identification of the initial crack size and shape.....	43
7.2.7	Identification of an applicable stress intensity factor solution	45
7.2.8	Performance of crack growth calculations	46
7.3	Critical crack-size calculation	46
8	Special requirements	48
8.1	Introduction.....	48
8.2	Pressurized hardware	48
8.2.1	General	48
8.2.2	Pressure vessels.....	49
8.2.3	Pressurized structures	50
8.2.4	Pressure components, including lines and fittings	51
8.2.5	Low risk sealed containers	52
8.2.6	Hazardous fluid containers.....	52
8.2.7	Pressurized components with non-hazardous LBB failure mode	53
8.3	Welds	53
8.3.1	Nomenclature.....	53
8.3.2	Safe life analysis of welds	54
8.4	Composite, bonded and sandwich structures.....	55
8.4.1	General	55
8.4.2	Defect assessment.....	55
8.4.3	Damage threat assessment	57
8.4.4	Compliance procedures	59
8.5	Non-metallic items other than composite, bonded, sandwich and glass items	61
8.6	Rotating machinery.....	62
8.7	Glass components	62
8.8	Fasteners	63
8.9	Alloys treated with electric discharge manufacturing (EDM).....	64

9 Material selection	65
10 Quality assurance and NDT	66
10.1 Overview	66
10.2 Nonconformances.....	66
10.3 NDT of PFCI	66
10.3.1 General	66
10.3.2 NDT of raw material	68
10.3.3 NDT of safe life finished items.....	68
10.4 Non-destructive testing of metallic materials	69
10.4.1 <<deleted>>	69
10.4.2 NDT categories versus initial crack size	69
10.4.3 <<deleted>>	70
10.5 <<deleted>>	70
10.6 Traceability	70
10.6.1 General	70
10.6.2 Requirements.....	70
10.7 Detected defects.....	71
10.7.1 General	71
10.7.2 Acceptability verification	72
10.7.3 Improved probability of detection.....	73
11 Reduced fracture control programme	74
11.1 Applicability.....	74
11.2 Requirements	74
11.2.1 General	74
11.2.2 Modifications	74
Annex A (informative) The ESACRACK software package.....	81
Annex B (informative) References	82
Bibliography.....	83

Figures

Figure 5-1: <<deleted, modified and moved to clause 6 as new Figure 6-1>	21
Figure 6-1: Identification of PFCI	25
Figure 6-2: Fracture control evaluation procedures	27
Figure 6-3: Safe life item evaluation procedure for metallic materials	34
Figure 6-4: Safe life item evaluation procedure for composite, bonded and sandwich items	35

Figure 6-5: Evaluation procedure for fail-safe items.....	36
Figure 7-1: Initial crack geometries for parts without hole	44
Figure 7-2: Initial crack geometries for parts with holes	45
Figure 7-3: Initial crack geometries for cylindrical parts	45
Figure 8-1: Procedure for metallic pressure vessel and metallic liner evaluation	50

Tables

Table 8-1: Factor on stress for sustained crack growth analysis of glass items	63
Table 10-1: <<deleted (moved to ECSS-Q-ST-70-15)>>	70

European Foreword

This document (FprEN 16603-32-01:2021) has been prepared by Technical Committee CEN/CLC/TC 5 “Space”, the secretariat of which is held by DIN (Germany).

This document (FprEN 16603-32-01:2021) originates from ECSS-E-ST-32-01C Rev. 2 DIA1.

This document is currently submitted to the **Formal Vote**.

This document will supersede EN 16603-2015.

The main changes with respect to EN 16603-2015 are listed below:

- Implementation of change requests
- Replacement of term “non-destructive inspection (NDI)” by “non-destructive testing (NDT)” in the whole document
- Update of Scope
- Removal of information about the NASA Space Shuttle program (STS)
- Update of Normative References and Terms, definitions and abbreviated terms
- Addition of Nomenclature
- Addition of clause 8.2.7 “Pressurized components with non-hazardous LBB failure mode”
- Addition of clause 8.9 “Alloys treated with electric discharge manufacturing (EDM)”
- Addition of clause 11.2.2.5 “Safe life composite, bonded and sandwich structures”
- Addition of clause 11.2.2.6 “Metallic parts classified as PFCI according to 11.2.2.1”
- Addition of clause 11.2.2.7 “Fasteners classified as PFCI according to 11.2.2.1”
- Addition of clause 11.2.2.8 “NDT of fusion welded joints in pressure components, as per 10.3.1p”
- Several clauses and requirements moved to EN 16602-70-15 (equivalent to ECSS-Q-ST-70-15)

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

1

Scope

This ECSS Engineering Standard specifies the fracture control requirements to be imposed on space segments of space systems and their related GSE.

The fracture control programme is applicable for space systems and related GSE where structural failure can result in a catastrophic hazard in accordance with the definition of ECSS-Q-ST-40 alternative applicable document specified by the customer like those applicable to the ISS or Exploration systems or payloads.

The requirements contained in this Standard, when implemented, also satisfy the fracture control requirements applicable to the NASA and ISS hardware.

The NASA nomenclature differs in some cases from that used by ECSS. When ISS or Exploration-specific requirements and nomenclature are included, they are identified as such.

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

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 16603-32-02	ECSS-E-ST-32-02	Space engineering – Structural design and verification of pressurized hardware
EN 16602-20	ECSS-Q-ST-20	Space product assurance – Quality assurance
EN 16602-40	ECSS-Q-ST-40	Space product assurance – Safety
EN 16602-70	ECSS-Q-ST-70	Space product assurance – Materials, mechanical parts and processes
EN 16602-70-15	ECSS-Q-ST-70-15	Space product assurance - Non-destructive testing
	ECSS-Q-ST-70-36	Space product assurance – Material selection for controlling stress-corrosion cracking
	ECSS-Q-ST-70-45	Space product assurance – Mechanical testing of metallic materials
	DOT/FAA/AR-MMPDS	Metallic Materials Properties Development and Standardization (MMPDS) (former MIL-HDBK-5)
	EN ISO 6520-1	Welding and allied processes – Classification of geometric imperfections in metallic materials – Part 1: Fusion welding
	ISO 17659	Welding – Multilingual terms for welded joints with illustrations

Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms from other standards

- a. For the purpose of this Standard, the terms and definitions from ECSS-ST-00-01 apply, in particular for the following terms:

1. catastrophic
2. customer

NOTE In this standard, the customer is considered to represent the responsible fracture control or safety authority.

3. hazard

- b. For the purpose of this Standard, the following terms and definitions from ECSS-E-ST-32 apply:

1. flaw

NOTE The term defect is used as synonymous.

2. maximum design pressure (MDP)
3. service life
4. proof test
5. limit load
6. structure
7. safe life

- c. For the purpose of this Standard, the following terms and definitions from ECSS-E-ST-32-02 apply:

1. burst pressure
2. hazardous fluid container
3. leak before burst, LBB
4. pressure component
5. pressure vessel
6. pressurized structure
7. sealed container
8. special pressurized equipment

9. visual damage threshold, VDT

NOTE 1 For typical implementation of thin-walled composite structure, the VDT is sometimes more specifically defined as the impact energy of an impactor with a hemi-spherical tip of 16 mm diameter resulting in 0,3 mm or more remaining surface deflection, after sufficiently long time to cover potential evolution of the indentation over time (due to e.g. wet ageing, fatigue loading, viscoelasticity of the resin) between impact and non-destructive testing.

NOTE 2 It can be time consuming to determine the VDT based on remaining surface deflection of 0,3 mm (see NOTE 1) after a sufficiently long time. Therefore, tests which cause mechanical damage corresponding to a deflection of at least 1 mm, immediately after impact, are sometimes used to determine the VDT.

10. non-hazardous LBB failure mode

- d. For the purpose of this Standard, the following terms and definitions from ECSS-Q-ST-70-15 apply:
1. close visual testing
 2. special fracture control NDT
 3. standard fracture control NDT

3.2 Terms specific to the present standard

3.2.1 aggressive environment

combination of liquid or gaseous media and temperature that alters static or fatigue crack-growth characteristics from normal behaviour associated with an ambient temperature and laboratory air environment

3.2.2 analytical life

life evaluated analytically by crack-growth analysis or fatigue analysis

3.2.3 containment

damage tolerance design principle that, if a part fails, prevents the propagation of failure effects beyond the container boundaries

NOTE 1 A contained part is not considered PFCI, unless its release can cause a hazard inside the container. The container is a PFCI, and its structural integrity after impact is verified as part of fracture control activities.

NOTE 2 In this standard, the term containment in most cases also covers items which are e.g. restrained

by a tether to prevent the occurrence of hazardous events due to failure of the item.

3.2.4 crack-like defect

defect that has the same mechanical behaviour as a crack

NOTE 1 “Crack” and “crack-like defect” are considered synonymous in this standard.

NOTE 2 Crack-like defects can, for example, be initiated during material production, fabrication or testing or developed during the service life of a component.

NOTE 3 The term “crack-like defect” can include:

- For metallic materials flaws, inclusions, pores and other similar defects.
- For non-metallic materials, debonding, broken fibres, delamination, impact damage and other specific defects depending on the material.

3.2.5 crack aspect ratio, a/c

<part-through surface crack> ratio of crack depth to half crack length

3.2.6 crack aspect ratio, a/c

<part-through corner crack> ratio of crack depth to crack length

3.2.7 crack growth rate

rate of change of crack dimension with respect to the number of load cycles or time

NOTE For example da/dN , dc/dN , da/dt and dc/dt .

3.2.8 crack growth retardation

reduction of crack-growth rate due to overloading of the cracked structural member

3.2.9 critical crack size

the crack size at which the structure fails under the maximum specified load

NOTE The maximum specified load is in many cases the limit load, but sometimes higher than the limit load (e.g. for detected defects, composites and glass items)

3.2.10 critical initial defect, CID

critical (i.e., maximum) initial crack size for which the structure can survive the specified number of lifetimes.

3.2.11 critical stress-intensity factor

value of the stress-intensity factor at the tip of a crack at which unstable propagation of the crack occurs

NOTE 1 This value is also called the fracture toughness. The parameter K_{Ic} is the fracture toughness for plane strain and is an inherent property of the material. For stress conditions other than plane strain, the fracture toughness is denoted K_c or K_{Ie} for part through cracks. In fracture mechanics analyses, failure is assumed to be imminent when the applied stress-intensity factor is equal to or exceeds its critical value, i.e. the fracture toughness. See 3.2.22.

NOTE 2 The term fracture toughness is used as a synonymous.

3.2.12 cyclic loading

fluctuating load (or pressure) characterized by relative degrees of loading and unloading of a structure

NOTE For example, loads due to transient responses, vibro-acoustic excitation, flutter, pressure cycling and oscillating or reciprocating mechanical equipment.

3.2.13 damage tolerance threshold strain

<composite structural items> maximum strain level below which damage compatible with the sizes established by non-destructive testing (NDT), close visual testing, the damage threat assessment, or the minimum sizes imposed does not grow in 10^6 cycles (10^8 cycles for rotating hardware) at a load ratio appropriate to the application

NOTE 1 Strain level is the maximum absolute value of strain in a load cycle.

NOTE 2 The damage tolerance threshold strain is a function of the material type and lay-up and is determined from test data in the design environment to the applicable or worst type and orientation of strain and flaw for a particular design and flaw size (e.g. the size determined by the VDT).

NOTE 3 For definition of “close visual testing” see ECSS-Q-ST-70-15.

3.2.14 damage tolerant

characteristic of a structure for which the amount of general degradation or the size and distribution of local defects expected during operation, or both, do not lead to structural degradation below specified performance

3.2.15 defect

see 'flaw' (3.1)

3.2.16 detected defect

defect known to exist in the hardware

3.2.17 fail-safe

<structures> damage-tolerance design principle, where a structure has redundancy to ensure that failure of one structural element does not cause general failure of the entire structure during the remaining lifetime

3.2.18 fastener

item that joins other structural items and transfers loads from one to the other across a joint

3.2.19 fatigue

cumulative irreversible damage incurred by cyclic application of loads to materials and structures

NOTE 1 Fatigue can initiate and extend cracks, which degrade the strength of materials and structures.

NOTE 2 Examples of factors influencing fatigue behaviour of the material are the environment, surface condition and part dimensions

3.2.20 fracture critical item

item classified as such

3.2.21 fracture limited life item

hardware item that requires periodic non-destructive re-testing or replacement to be in conformance with fracture control requirements

3.2.22 fracture toughness

materials' resistance to the unstable propagation of a crack

NOTE See critical stress intensity factor, 3.2.11.

3.2.23 initial crack size

maximum crack size, as defined by non-destructive testing, for performing a fracture control evaluation

3.2.24 joint

element that connects other structural elements and transfers loads from one to the other across a connection

3.2.25 load enhancement factor, LEF

factor to be applied on the load level of the spectrum of fatigue test(s) in order to demonstrate with the test(s) a specified level of reliability and confidence

NOTE 1 The LEF is dependent upon the material or construction, the number of test articles, and the duration of the tests.

NOTE 2 MIL-HDBK-17F, Volume 3, Section 7.6.3 gives an approach for calculating the LEF for composite structures.

3.2.26 loading event

condition, phenomenon, environment or mission phase to which the structural system is exposed and which induces loads in the structure

3.2.27 load spectrum

representation of the cumulative static and dynamic loadings anticipated for a structural element during its service life

NOTE Load spectrum is also called load history.

3.2.28 mechanical damage

induced flaw in a composite hardware item that is caused by external influences, such as surface abrasions, cuts, or impacts

3.2.29 potential fracture critical item, PFCI

item for which the initiation or propagation of cracks in structural items during the service life can result in a catastrophic hazard

NOTE 1 Pressure vessels and rotating machinery are always considered PFCI. See Figure 6-1.

NOTE 2 This can apply to other manned/human missions.

3.2.30 R-ratio

ratio of the minimum stress to maximum stress

3.2.31 residual stress

stress that remains in the structure, owing to processing, fabrication, assembly or prior loading

3.2.32 rotating machinery

rotating mechanical assembly that has a kinetic energy of 19300 joules or more, or an angular momentum of 136 Nms or more

NOTE The amount of kinetic energy is based on $0,5 I \omega^2$ where I is the moment of inertia (kg.m^2) and ω is the angular velocity (rad/s).

3.2.33 stress-corrosion cracking, SCC

initiation or propagation, or both, of cracks, owing to the combined action of applied sustained stresses, material properties and aggressive environmental effects

NOTE The maximum value of the stress-intensity factor for a given material at which no environmentally induced crack growth occurs

at sustained load for the specified environment
is K_{ISCC} .

3.2.34 stress intensity factor, K

calculated quantity that is used in fracture mechanics analyses as a measure of the stress-field intensity near the tip of an idealised crack

NOTE Calculated for a specific crack size, applied stress level and part geometry. See 3.2.11.

3.2.35 structural screening

screening of structural elements with the objective to identify PFCI for the complete structure

NOTE The structure includes components or assemblies to sustain pressures, or to provide containment (see ECSS-E-ST-32).

3.2.36 threshold stress intensity range, ΔK_{th}

stress-intensity range below which crack growth does not occur under cyclic loading

3.2.37 variable amplitude spectrum

load spectrum or history whose amplitude varies with time

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
a/c	crack aspect ratio (see 3.2.5)
AR	acceptance review
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standard
CDR	critical design review
CID	critical initial defect
COPV	composite overwrapped pressure vessel
DOT	United States Department of Transportation
DRD	document requirements definition
EDM	electrical discharge machining
EN	European Standard
EPFM	elastic-plastic fracture mechanics

Abbreviation	Meaning
ESA	European Space Agency
FAD	failure assessment diagram
FCI	fracture-critical item
FCIL	fracture-critical items list
FE	finite element
FLLI	fracture-limited life item
FLLIL	fracture-limited life items list
FOD	foreign object debris
F_{ty}	design tensile yield strength (in MPa)
F_{tu}	design tensile ultimate strength (in MPa)
GSE	ground support equipment
ISO	International Organisation for Standardisation
ISS	International Space Station
J-R curve	resistance curve based on J-integral
K-R curve	resistance curve based on stress intensity factor (K)
LBB	leak before burst
LEF	load enhancement factor
LEFM	linear elastic fracture mechanics
K_c	fracture toughness for stress conditions other than plane strain
	NOTE: See NOTE 1 of definition 3.2.11.
K_{Ic}	plane strain fracture toughness
K_{ISCC}	threshold stress-intensity factor for stress-corrosion cracking
ΔK_{th}	threshold stress-intensity range
MDP	maximum design pressure
MEOP	maximum expected operating pressure
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDT	non-destructive testing
NHLBB	non-hazardous leak before burst
NSTS	National Space Transportation System (NASA Space Shuttle)
PDR	preliminary design review
PFCI	potential fracture-critical item
PFCIL	potential fracture-critical items list
R	ratio of the minimum stress to maximum stress
RFCP	reduced fracture-control programme
SAE	Society of Automotive Engineers

Abbreviation	Meaning
SCC	stress-corrosion cracking
SI	international system of units
SRR	system requirements review
US	ultrasonic
UTS	ultimate tensile strength
VDT	visual damage threshold

3.4 Nomenclature

The following nomenclature applies throughout this document:

- a. The word “shall” is used in this Standard to express requirements. All the requirements are expressed with the word “shall”.
- b. The word “should” is used in this Standard to express recommendations. All the recommendations are expressed with the word “should”.

NOTE It is expected that, during tailoring, recommendations in this document are either converted into requirements or tailored out.

- c. The words “may” and “need not” are used in this Standard to express positive and negative permissions, respectively. All the positive permissions are expressed with the word “may”. All the negative permissions are expressed with the words “need not”.
- d. The word “can” is used in this Standard to express capabilities or possibilities, and therefore, if not accompanied by one of the previous words, it implies descriptive text.

NOTE In ECSS “may” and “can” have completely different meanings: “may” is normative (permission), and “can” is descriptive.

- e. The present and past tenses are used in this Standard to express statements of fact, and therefore they imply descriptive text.