



21. September 2017
1. Revision vom 16. März 2023

BAM-GGR 021

UN-Service Life Test Programme

Referenced in ISO TR 19811; 5.3 Requirements as Approach No. 2

**Baumusterspezifische Ermittlung
der sicheren Betriebslebensdauer für
Druckgefäße aus Faserverbundwerkstoffen
(Composite-Druckgefäße)
nach dem Konzept zusätzlicher Prüfungen (CAT)**

**Design Type Specific Determination
of the Safe Service Life for
Composite Pressure Receptacles
on the basis of the Concept Additional Tests (CAT)**



UN-Service Life Test Programme for Composite Pressure Receptacles

UN-Betriebslebensdauer-Prüfprogramm für Composite-Druckgefäße

Als zuständige Behörde gemäß den gefahrgutrechtlichen Zuständigkeitsregelungen gibt die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) nach Abstimmung mit dem Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) und der betroffenen Wirtschaft folgende Regel heraus für die Überprüfung der Betriebslebensdauer gemäß

As competent authority in accordance with the national regulations for dangerous goods, the Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM, following consultations with the Federal Ministry for Digital and Transport (BMDV) and the affected economy, provides the following code for service life testing according to

RID/ADR/IMDG-Code 6.2.2.1.1. Bem. 2 und 6.2.2.1.2 Bem. 2

zur Verwendung von Druckgefäßen aus Verbundwerkstoffen für mehr als 15 Jahre, sofern diese für eine Lebensdauer von mehr als 15 Jahre ausgelegt sind nach einer der Normen gelistet in

RID/ADR/IMDG-Code 6.2.2.1.1. Note 2 and 6.2.2.1.2 Note 2

for the use of composite pressure receptacles beyond 15 years, provided they are designed for a life time of more than 15 years in accordance with one of the standards referenced in

RID/ADR/IMDG-Code 6.2.2.1

Festgelegt durch die zuständige Behörde nach

RID/ADR/IMDG-Code 6.2.2.1

Determined by the competent authority according to

GGVSEB § 8 Nr. 1 f) and GGVSee §12 Absatz 1 Nr. 1 f)

Diese 1. Revision der BAM-Gefahrgutregel 021 (BAM-GGR 021) ist ab sofort anwendbar.

This first revision of BAM-dangerous goods regulation 021 (BAM-GGR 021) has to be applied immediately.

In diesem zweisprachigen Dokument ist im Zweifelsfall die deutsche Fassung verbindlich.

This English version is for informative purposes, only. In case of a differing meaning of German and English version, the German version is valid.



Das nachfolgend beschriebene Verfahren dient der Lebensdauerüberprüfung von Druckgefäßen aus Faserverbundwerkstoffen durch die zuständige Behörde in Deutschland.

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 von Druckgefäßen aus Faserverbundwerkstoffen.

The procedure, described in the following, serves the determination of the safe service life of pressure receptacles made from composite materials by competent authority in Germany.

Particular effort is devoted to recognizing the variety of design variables and the complex properties of pressure receptacles designed and tested in accordance with standards. At the same time the specific aspects of life time assessment of composite pressure receptacles is considered.

Inhalt		Content	
CAT 0	Begriffe und Definitionen	Terms and Definitions	CAT 0
CAT 1	Einführung	Introduction	CAT 1
CAT 2	Übersicht	Overview	CAT 2
CAT 3	Schutzziel und Sicherheitsniveau	Protection Goal and Safety Level	CAT 3
CAT 4	Geltungsbereich und Anwendung	Scope and Applications	CAT 4
CAT 5	Zusammenstellung der Stichproben	Sampling of Pressure Receptacles	CAT 5
CAT 6	Langsame Berstprüfung („SBT“)	Slow Burst Test (“SBT”)	CAT 6
CAT 7	Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur („LCT“)	Load Cycle Test at Ambient Temperature (“LCT”)	CAT 7
CAT 8	Klassifizierung bzgl. der Lastwechselempfindlichkeit	Classifications regarding Cycle Fatigue Sensitivity	CAT 8
CAT 9	Bewertung der Prüfergebnisse („SAS“)	Interpretations of Test Results (“SAS”)	CAT 9
CAT 10	Beurteilung des Leck-vor-Bruch-Verhaltens	Assessment of Leak-Before-Break Property	CAT 10
CAT 11	Überwachung der Streuung in der Produktion („SAS“)	Surveillance of Production Scatter (“SAS”)	CAT 11
CAT 12	Bestimmung des Endes der sicheren Betriebsdauer	Determination of the End of Safe Service Life	CAT 12
Literatur		Literature	



Anhänge

Annexes

Anhang „TP Prüfverfahren“ / Annex „TP Test Procedures“

mit den Teilen SBT und LCT bzgl. Bersten und hydraulisches Lastwechseln
including the parts for the hydraulic test procedure „Slow Burst Test (SBT)“
and the hydraulic test procedure „Load Cycle Test (LCT)“

Anhang „SAS Statistische Auswertung von Stichproben“ /

Annex „SAS Statistical Assessment of Sample Test Results“

Anhang „SPC Arbeitsdiagramme“ / Annex „SPC Sample Performance Charts“

zur graphischen Bewertung der Prüfergebnisse
for graphical evaluation of test results

Ansprechpartner / Contact:

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

Dipl.-Ing. (FH) Christian Sklorz
christian.sklorz@BAM.de

Dr.-Ing. Stephan Günzel
stephan.guenzel@BAM.de



CAT 0. Begriffe und Definitionen

Abweichungsmaß einer Stichprobe (x_{ND})

meint hier einen dimensionslosen Wert für den Vergleich einer statistisch verteilten Festigkeit mit einem zugehörigen Belastungswert. Er berechnet sich aus der Differenz der Last und der mittleren Festigkeit, normiert auf die Standardabweichung der Festigkeitseigenschaft einer Stichprobe. Ist die Belastung größer als der Festigkeitsmittelwert, ist das Abweichungsmaß $x_{ND} > 0$; ist die Last kleiner als der Mittelwert der Festigkeit ist $x_{ND} < 0$.

Allgemeiner Betrieb

meint die Verwendung und Zulassung einer Gasflasche oder einer Großflasche für verschiedene Gase oder Gasgruppen. In diesem Fall kann der →maximaler Betriebsdruck (MSP) des kritischsten Gases den →Prüfdruck PH erreichen.

Anfang des Lebens

meint den Zeitpunkt im Leben eines Druckgefäßes, zu dem es im Rahmen der Fertigung erstmalig geprüft wird.

Arbeitsdiagramm (SPC)

meint eine hier verwendete, spezielle Form eines Arbeitsdiagramms, das zur Darstellung der statistischen Auswertung von Stichprobenprobeneigenschaften verwendet wird.

Arbeitsdruck (PW)

(→Nennbetriebsdruck NWP)

Ausfallrate (FR)

meint den relativen Anteil von Prüfmustern, der bis zu einer festgelegten Belastung (Druck, Anzahl der Lastwechsel, Zeit unter Last etc.) ausgefallen ist. Sie ist das Komplement zur →Überlebensrate. Wird im Folgenden aber auch im weiteren Sinne als Synonym für die Ausfallwahrscheinlichkeit verwendet.

CAT 0. Terms and Definitions

Standard score (x-score)

means here a dimensionless value for comparison of a statistically distributed strength with a dedicated load value. It is calculated from the difference of the load and the average strength, normalised on the standard deviation of the strength property of a sample. If the load is higher than the average strength the standard score $x_{ND} > 0$; if the load is smaller than the mean value of strength is $x_{ND} < 0$.

General service

means the approval and use of a gas cylinder or tube for several gases or groups of gases. In this case the →MSP of the most critical gas may reach →PH.

Beginning of life

means the point of time in the life of a pressure receptacle when it is initially tested as last step of production.

Sample Performance Chart (SPC)

means a special kind of a performance chart, developed and used here for statistical assessment of sample properties.

Working pressure (PW)

(→Nominal working pressure NWP)

Failure rate (FR)

means the ratio of specimens within a sample that has failed to a dedicated load level (pressure level, number of load cycles, time under load etc.). It is the complement to →survival rate. In the following FR is used in a wider sense as synonym for probability of failure.

Auslegungsdruck

meint den Druck, für den ein Baumuster eines Druckgefäßes ausgelegt und zugelassen ist. Dieser Druck muss vom Druckgefäß während der gesamten Auslegungslebensdauer ohne plastische Deformation oder andere nicht akzeptable Degradationseffekte ertragen werden können.

Auslegungslebensdauer

meint die Anzahl von Betriebsjahren, für die ein Baumuster nominell ausgelegt und zugelassen ist (begrenztes Leben / nicht begrenztes Leben).

Autofrettage

meint einen Prozess, der mittels Überdruck zum gesteuerten Plastifizieren des metallischen Liners führt. Ziel ist es, eine möglichst dauerhafte Druckvorspannung des Liners zu erreichen, die die Lebensdauer des Liners zu Lasten erhöhter Zugbelastung des Composites verlängert.

Degradation

meint den Verlust an Festigkeitseigenschaften und damit auch an Sicherheit. Der Verlust von Festigkeit kann durch künstliche oder betriebliche Alterung bedingt sein. Die Degradation wird hier als Differenz zweier Stichprobenprüfergebnisse zu einer Festigkeitseigenschaft verstanden (Berstfestigkeit, Lastwechselfestigkeit; Überlebenswahrscheinlichkeit). Eine Degradation gilt dann als kritisch, wenn die verbleibende →Überlebenswahrscheinlichkeit den geforderten Mindestwert nicht mehr erfüllt bzw. deren Erfüllung nicht gewährleistet ist.

Ende des Lebens

meint den Zeitpunkt im Leben eines Druckgefäßes, zu dem es dauerhaft aus dem Verkehr genommen bzw. verschrottet wird.

Design pressure

means the pressure to which a cylinder is designed and approved. This pressure shall be held by the cylinder during its design life without any plastic deformation or other unacceptable effects of degradation.

Design life

means the number of years in service to which a cylinder design type has been designed and formally approved (limited lifetime / non limited lifetime).

Autofrettage process

means a process based on a controlled over-pressurisation, which causes the yielding of the metal liner. The aim is to achieve a permanent compressive pre-stress, which increase the service life of the metal liner but causes higher tensile stress in the composites.

Degradation

means the loss of strength and with it also a loss of safety. The loss of strength can be caused by artificial or operational ageing. The degradation is understood here as a difference of a safety related property determined by comparison of two sample test results addressing the same strength property (burst strength, load cycle strength; survival rate). A Degradation is deemed critical when the remaining →survival rate does not comply with the demanded minimum value any more or just compliance is not guaranteed.

End of life (EoL)

means the point of time in the life of a pressure receptacle when it is permanently putted out of service respectively scrapped.



Ereignishäufigkeit

meint die Häufigkeit mit der ein bestimmter Zwischenfall mit der im Fall des Eintretens zugehörigen Konsequenz akzeptiert ist.

Hier ist die Ereignishäufigkeit an die Betrachtung einer $\rightarrow$ F-N-Kurve gebunden. Das heißt, dass der akzeptierte Wert für die Ereignishäufigkeit F anhand der Kurve abgelesen werden kann, die über die Konsequenz von dem akzeptierten Risiko abhängt,

F-N-Kurve

meint ein Diagramm, das es auf Basis akzeptierter Risikowerte erlaubt, einer Konsequenz eine akzeptierte $\rightarrow$ Eintrittshäufigkeit bzw. jeder Eintrittshäufigkeit eine noch akzeptable Konsequenz zuzuordnen.

Grundgesamtheit

meint die Gesamtanzahl an Druckgefäße eines Baumusters mit der Mächtigkeit Q, aus der die Zufallsstichproben entnommen sind.

In diesem konkreten Fall der Druckgefäße ist die Gesamtanzahl identisch mit der $\rightarrow$ Population.

Falls zusätzlich das als Kriterium für die Stichprobenentnahme verwendet wird, muss die Population enger begrenzt werden, d. h. z. B. auf das Jahr der Herstellung.

Herstellungslos

($\rightarrow$ Produktionslos)

Isoasfale

meint eine Linie konstanter Versagenswahrscheinlichkeit. Sie kann definiert werden mit Bezug auf die $\rightarrow$ Ausfallrate, $\rightarrow$ Überlebenswahrscheinlichkeit/ Zuverlässigkeit oder das $\rightarrow$ Abweichungsmaß. Hier wird es verwendet, um im $\rightarrow$ Arbeitsdiagramm SPC eine grobe Bewertung von graphisch dargestellten Stichprobeneigenschaften zu ermöglichen.

Frequency of occurrence (F)

means the frequentness by which a dedicated incident is assigned to an accepted consequence in case of occurrence.

Here, frequency of occurrence is related to the work with a $\rightarrow$ F-N-curve. It means the accepted value read from an F-N-curve, which depends from the accepted risk (means consequence) of the entry damage frequency F.

F-N-Curve

means a diagram, which allows, on the basis of accepted risk values, the assignment of a consequence to an acceptable $\rightarrow$ frequency of occurrence or the assignment of a frequency of occurrence to an acceptable consequence of a failure.

Basic population

means a basic amount of a design type with a cardinal number Q from which a random sample is taken.

In the concrete case of pressure receptacles, the basic amount is identical with the $\rightarrow$ population.

If, in addition, the age is used as a criterion for sampling, the basic amount, from which the sample is taken, shall be limited more narrowly in accordance with the criterion of the sample; e.g. to a year of production of a population or similar.

Batch

($\rightarrow$ production batch)

Isoasfalion

means a line of constant probability of failure. It can be defined in terms of $\rightarrow$ failure rate, $\rightarrow$ survival rate/reliability or $\rightarrow$ standard-score. Here it is used for enabling a rough evaluation of sample properties plotted in the $\rightarrow$ sample performance chart.



Konfidenzniveau

meint die Wahrscheinlichkeit, dass das verwendete Konfidenzintervall den wahren Wert des Parameters der →Population enthält (Komplement zur Irrtumswahrscheinlichkeit).

Lastwechselempfindlichkeit

meint eine Eigenschaft eines Baumusters, die die Empfindlichkeit gegen zyklische Lasten zum Ausdruck bringt. Es wird als Kriterium für die Auswahl der bevorzugten Methode („Schlüsselprüfung“) zur Restfestigkeitsprüfung herangezogen.

Für die Klassifizierung dieser Eigenschaft wird gefordert, dass eine Stichprobe von mindestens 5 Composite Druckgefäßen der Lastwechselprüfung bei Raumtemperatur (LCT) unterworfen wird. Versagt keines der Prüfmuster innerhalb von 50.000 Lastwechseln gilt das Baumuster als lastwechselunempfindlich.

Anderenfalls wird es als lastwechselempfindlich eingestuft. Diese Eigenschaft kann sich im Laufe des Lebens des Composite Druckgefäßes, d. h. abhängig vom Degradationszustand ändern.

Langsame Berstprüfung (SBT)

meint ein Prüfverfahren, bei dem der Druck gleichmäßig mit einer vorgegebenen, genau kontrollierten Druckanstiegsrate bis zum Versagen gesteigert wird. Als Ergebnis der Prüfung kann sowohl der Berstdruck wie auch die Zeit bis zum Versagen ausgewertet werden. Diese Prüfung wird bevorzugt für die Restfestigkeitsermittlung von Baumustern verwendet, die als lastwechselunempfindlich gelten (→Lastwechselempfindlichkeit).

Confidence level

means the probability that the confidence interval contains the true value of the relevant →population parameter (complement of probability of error).

Cycle fatigue sensitivity (cyfas)

means a property of a design type that expresses the possibility to quantify service strength by load cycle tests. Therefore, it is used as criterion for choosing the method to be preferred for quantification of residual strength (key test).

For classification of this property a sample of at least 5 cylinders undergoes load cycle tests at ambient temperature (LCT). If none of the specimens ruptures or leaks while performing LCT up to 50 000 LCs the design type is classified as non-cycle fatigue sensitive.

Otherwise the design type is classified as cycle fatigue sensitive. This property of a composite pressure receptacle can change during service life, i.e. caused by degradation.

Slow burst test (SBT)

means a test procedure at a specific constant rate of pressure increase. The pressure rate is exactly controlled until rupture occurs. The maximum pressure rate is accepted as double the test pressure in a period of 10 hours. Either time to rupture or pressure at rupture can be evaluated as test result.

This test is the preferred procedure for quantification of residual strength in case of designs classified as non-cycle fatigue sensitive (→cycle fatigue sensitivity).

Lastwechselprüfung (LCT)

meint ein hydraulisches Prüfverfahren, bei dem der Innendruck zwischen zwei Druckniveaus, dem unteren und dem oberen Druckniveau, zyklisch verändert wird. Das untere Druckniveau ist i.d.R. nicht höher als 2 MPa, das obere Druckniveau ist bei Zulassung für ein einziges Gas mindestens der →MSP, oder im Fall einer allgemeinen Zulassung (→allgemeiner Betrieb) der Prüfdruck (PH).

Das Ergebnis der LCT ist die Anzahl der Lastwechsel bis zum ersten Versagen (Leckage oder Bersten). Diese Prüfung ist das bevorzugte Verfahren für die Bestimmung der Neu- und Restfestigkeit im Fall von lastwechselempfindlichen Baumustern (→Lastwechselempfindlichkeit).

Leck-vor-Bruch-Verhalten

meint eine Form der Fail-Safe-Eigenschaft bzw. Schadenstoleranz im Fall einer Rissbildung.

Sofern aus einem Composite-Druckgefäß in der Lastwechselprüfung aufgrund eines ersten Versagens das Druckmedium austritt und kein Bersten auftritt, spricht man im weiteren Sinne von einem Leck-vor-Bruch-Verhalten. Im engeren Sinn kann einem Composite-Druckgefäß nur dann ein LBB-Verhalten bestätigt werden, wenn anhand mehrerer Prüfmuster in der Gaszyklenprüfung nachgewiesen ist, dass keines der Prüfmuster eines Composite-Druckgefäßes durch Bersten versagt.

Mittelwert

meint das arithmetische Mittel von Prüfergebnissen. Es ist die Summe der gesammelten Prüfergebnisse (→Stichprobe) geteilt durch die Anzahl der gesammelten Prüfergebnisse.

Nennbetriebsdruck (PW)

meint den Druck bis zu dem Druckgefäße nominell gefüllt sind bei einer gleichmäßigen Temperatur von 15°C um die maximale zulässige Menge an Gas aufzunehmen. Ein Überschreiten

Load cycle test (LCT)

means a hydraulic test procedure of a periodically alternating internal pressure at ambient temperature. The inner pressure cycles periodically in a range between a defined lower and upper pressure level. The lower pressure value of each cycle is equal or less than 2 MPa, while the upper pressure level is greater than maximum service pressure →MSP (or test pressure PH for →general service).

As result of LCT the number of load cycles to first failure (leakage or to rupture) is evaluated. This test is the preferred procedure for quantification of residual strength and relevant →degradation in case of a cycle fatigue sensitive design type (→cycle fatigue sensitivity).

Leak-before-break (LBB)

means a kind of fail-safe property or damage tolerance in case of leakage due to crack initiation

A pressure receptacle failing by release of the pressure medium and depressurisation instead of a sudden rupture shows a leak-before-break behaviour in a broader sense. In a narrower sense LBB-behaviour of a cylinder means having demonstrated by gaseous sample testing that none of the tested specimens ruptured after leakage when cycled to failure at maximum pressure (MSP or PH).

Mean (value)

means the arithmetic average of experimental results. It is the sum of a collection of test results (→sample) divided by the number of results in the collection (specimens of the sample). In case of LC test results the mean has to be calculated on the basis of log-values.

Nominal working pressure (PW)

means the pressure to which pressure receptacles are nominal filled at 15°C settled temperature to capture the maximum amount



dieser maximalen Obergrenze der Gasmenge bedeutet eine Überfüllung.

Population

meint die Menge von Druckgefäßen, die von dem betreffenden Baumuster (im engsten Sinne; d. h. Baureihen werden ggf. als eigenes Baumuster angesehen) im Verkehr sind. Die mit Population gemeine Menge an Druckgefäßen kann auf nur einen Bertreiber/Eigentümer, ein Herstellungsjahr etc. oder auf Kombinationen mehrerer derartiger Kriterien begrenzt sein (→Grundgesamtheit).

Produktionslos

meint eine Menge von Druckgefäßen zu einem Baumuster, die aufeinanderfolgend und unter Anwendung gleichbleibender Herstellungsparameter gefertigt wurden.

Aus diesem Grund wird den Druckgefäßen in einem Produktionslos nur minimale Abweichungen unterstellt. Die maximale Menge von Druckgefäßen, die einem Los zugeordnet werden dürfen, wird in der jeweiligen Herstellungsnorm vorgegeben.

Stichprobe

meint eine Anzahl von Prüfmustern, bei denen auch der jeweils relevante Stichprobenparameter identisch ist. Wird auch als Los bezeichnet.

Prüfmuster können zu einer Stichprobe/Los zusammengefasst werden, wenn die relevanten Stichprobenparameter bzgl. Produktion und Betrieb identisch sind (z. B. Produktionszeitraum, Betriebsdauer etc.).

Für statistische Vergleichszwecke zweier Stichproben müssen alle grundlegenden Parameter beider Stichproben identisch sein. Nur der Parameter, dessen Bedeutung quantifiziert werden soll, darf sich zwischen beiden Stichproben unterscheiden.

of gas. An exceeding the relevant maximum amount of gas means overfilling.

Population

means the amount of individual cylinders of a design type (design variant) in service relevant for life time test program. Usually the life time testing of cylinders coming out of service is related to the population of each owner separately. (→basic population)

Production batch

means the number of pressure receptacles related to a dedicated design type and produced continuously under the condition of constant production parameters.

Therefore, it is assumed that the properties of one production batch of pressure receptacles scatter to a very limited amount. The maximum number of pressure receptacles, which may be counted as one batch, is determined by the relevant standard for production and initial testing.

Sample

means a number of →specimens that have identical values for the relevant parameters of the sample; it is sometimes called lot.

Specimens can be grouped to a sample/lot if relevant sample parameters of production and service are identical (e.g. the production date, month in service etc.).

For statistical comparison of two samples all essential parameters of both samples have to be identical while one of the parameters differs.

Überlebenswahrscheinlichkeit (SR)

meint den relativen Anteil von Prüfmustern einer Stichprobe, der die Belastung bis zu einem bestimmten Maß (Druck, Lastwechsel, Zeit unter Last) versagensfrei ertragen hat.

In der Regel liegt das Niveau der diskutierten Überlebenswahrscheinlichkeit oberhalb des Wertes, der mit dem verfügbaren Stichprobenumfang dargestellt werden kann. Daher schließt die „Überlebenswahrscheinlichkeit“ auch die Zuverlässigkeit gegen Versagen beim maximalen Betriebsdruck (MSP) mit ein. Letztere wird auf Basis von Prüfergebnissen und unter Verwendung einer angenommenen Verteilungsfunktion auf die entsprechend hohen SR-Werte extrapoliert.

Verwendungsdauer (sichere)

meint die Anzahl von Jahren im Betrieb bevor die Alterung (→Degradation) einer hergestellten →Population eines Baumusters bei allen oder nur bei einem Betreiber kritisch wird; d.h. die Restzuverlässigkeit der relevanten Population unter den für die →Überlebenswahrscheinlichkeit mindestens geforderten Wert fällt.

Survival rate (SR)

means the relative ratio of specimens within a sample that have survived up to a dedicated load level (pressure level, number of load cycles, time under load etc.) without failure.

Usually the addressed level of survival rates is higher than the level to be demonstrated directly by the limited amount of tested specimens in a sample. Therefore “survival rate” includes the reliability of expecting no failure at the maximum service pressure (MSP). Reliability is extrapolated to the addressed SR-value on the basis of test results by using an assumed distribution function.

Service life (safe)

means the amount of years in service before →degradation (Alterung) of the produced population of a cylinder design type either in total or a part of this population being in service at named operators becomes critical; i.e. residual survival rate of the relevant population drops below the minimum requested →survival rate (reliability level).

CAT 1 Einführung

(1) In Deutschland werden auch für den nationalen und innereuropäischen Verkehr nur solche Composite-Druckgefäße in Betrieb genommen und wiederkehrend geprüft, die einem nach RID/ADR bzw. IMDG-Codes und IATA/ICAO-TI zugelassenen Baumuster entsprechen. Dies schließt die Einhaltung der in den o.g. Vorschriften in Bezug genommenen Normen und damit auch die Vorgaben für die Los- und die erstmalige Prüfung mit ein.

(2) Composite Druckgefäße unterliegen aufgrund der verwendeten Werkstoffe anderen Alterungsprozessen als diese von metallischen Druckgefäßen bekannt sind. Aus diesem Grund sehen die UN Modellvorschriften und alle darauf aufbauenden verkehrsträgerspezifischen Transportvorschriften gemäß 6.2.2.1.1 und 6.2.2.1.2 jeweils Bem. 2 eine Überprüfung der (sicheren) Lebensdauer von UN-Composite-Druckgefäßen nach 15 Jahren Betrieb vor.

(3) Das Verfahren zur Überprüfung muss bereits zum Zeitpunkt der Zulassung festgelegt werden.

(4) Das Verfahren, das die BAM im Rahmen ihrer Zuständigkeit anwendet, basiert auf der statistischen Betrachtung abgeprüfter Eigenschaften von Stichproben, aus denen auf die gesamte Population eines Baumusters bei einem Betreiber geschlossen werden kann.

(5) Der Vergleich dieser statistischen Betrachtungen über verschiedene Altersstufen der Population an Druckgefäßen zu einem Baumuster hinweg, erlaubt die fundierte Abschätzung des Endes der sicheren Betriebsdauer der Composite-Druckgefäße.

(6) Ein solcher Ansatz ist darauf ausgerichtet, alterungsbedingte Änderungen festzustellen, die das Baumuster und die zugehörigen Composite-Druckgefäße im Betrieb grundsätzlich betreffen. Es kann zwar helfen, einen kritischen oder unsachgemäßen Umgang und seine Folgen im Einzelfall zu erkennen, fokussiert aber nicht darauf und leitet keinen entsprechenden Anspruch ab, der es gestatten würde, die

CAT 1 Introduction

In Germany those composite pressure receptacles, which are approved according to a design approved according to RID / ADR or IMDG codes and IATA / ICAO-TI are also commissioned and tested for domestic and domestic European traffic. It includes the observance of the methods described above the standard and therefore also the requirements for batch tests and initial testing.

Pressure receptacles from composite are subject to different aging processes due to the materials used than are known from metallic pressure receptacles. For this reason, the UN model regulations and all transport mode-specific regulations based on them require a review of the (safe) lifetime of UN-composite pressure receptacles after 15 years of operation in accordance with 6.2.2.1.1 and 6.2.2.1.2, respectively Note 2.

The review procedure must be determined at the time of approval.

The method applied by BAM within its competence is based on the statistical analysis of verified properties of samples from which the entire population of a design type of an operator can be concluded.

The comparison of these statistical observations on different age grades of the population of pressure receptacles to a design type allows a well-founded estimate of the end of the safe service life of the composite pressure receptacles.

Such an approach intends to determine ageing-related changes which basically affect the design and the relevant composite pressure receptacles in service. This approach may help to recognize a critical or improper usage and its consequences in a particular case. But it does not focus on it and does not derive a corresponding claim which



visuellen Inspektionen vor der Befüllung oder im Rahmen der wiederkehrenden Prüfung zu ersetzen.

(7) Das Schutzziel, dass dieser im Folgenden dargestellte Ansatz verfolgt, basiert auf einer Risikobetrachtung (Häufigkeit x Konsequenz) über das Leben mit Schwerpunkt auf das Lebensende. Vereinfachende Maßgabe für die Konsequenz ist das Druck-Volumen-Produkt des jeweiligen Baumusters. Daraus ist eine akzeptable Eintrittswahrscheinlichkeit abgeleitet, die von einer Population zu keiner Zeit überschritten werden darf.

Die Prüforga-nisation, die die in dieser GGR dargestellten Verfahren und insbesondere den Anhangs SAS anwendet, ist verantwortlich dafür, die Voraussetzung für die Anwendung der statistischen Verfahren hinreichend zu prüfen (z. B. korrekte Wahl der Verteilung, Abwesenheit von Ausreißern und andere statistische Aspekte) und entsprechende Alternativmaßnahmen zu ergreifen.

would allow to substitute the visual inspections prior to filling or within the periodic inspections.

The safety goal as it is addressed by the following approach is based on risk assessment (frequency x consistency) during life with a special focus on the end of life. The pressure-volume product of the respective design type is a simplifying factor. An acceptable probability of occurrence is derived from this, which must never be exceeded by a population at any time.

The inspection body, which operates the procedures described in this GGR and particularly in the annex SAS is responsible for adequate checks of the premises for the application of the statistical procedure (e.g. correct choice of distribution, absence of outliers and other statistical aspects) and for taking appropriate alternative measures.

CAT 2 Übersicht

(1) Zur Beurteilung des Sicherheitszustandes eines Druckgefäßes aus Faserverbundwerkstoffen („Composites“) ist es notwendig, seine aktuellen Festigkeitseigenschaften zu bestimmen: Dies beinhaltet sowohl die Festigkeit im Neuzustand und nach Jahres des Betriebes auch die jeweilige Restfestigkeit.

(2) Das Schutzziel ist die Vermeidung von Schäden für Anwender und Unbeteiligte. Weist eine Population von Composite-Druckgefäßen für das jeweilige Festigkeitskriterium zumindest die in CAT 3 geforderte Überlebenswahrscheinlichkeit auf, werden die Anforderungen zur Erfüllung des Schutzziels zum jeweiligen Zeitpunkt als erfüllt angesehen.

(3) Eine Population von Composite-Druckgefäßen eines Baumusters besteht aus identischer

CAT 2 Overview

The safety assessment of a pressure receptacle made from fibre reinforced plastic, called composite material or „composites“, requires the ascertainment of its current strength proper-ties: The strength in new condition or also the residual strength after years in service.

The protection goal is to prevent harm of operators or unintended bystanders. If a population of composite pressure receptacles shows for each assessed strength property a higher survival probability than required in CAT 3, the protection goal is deemed to be met at the time of assessment.

A population of pressure receptacles of a design type includes all items of identical production



Produktion und Material. Vergleichbare Betriebslasten sind ein weiteres Kriterium.

(4) Varianten eines Baumusters sind in diesem Zusammenhang grundsätzlich wie ein eigenes Baumuster zu betrachten.

(5) Die Sicherheit von in Serienproduktion hergestellten Composite-Druckgefäßen kann mit dem Verfahren gemäß Abschnitt CAT 4 bewertet werden, wenn die Zusammenstellung der Stichproben nach den Anforderungen in CAT 5 erfolgt. Diese Stichproben werden nach dem Aspekt der Berstfestigkeit gemäß Abschnitt CAT 6 und/oder dem der Lastwechselfestigkeit nach Abschnitt CAT 7 geprüft. Hierzu ist die Belastbarkeit bis zum Versagen für alle Prüfmuster dieser Stichprobe nach der entsprechenden zerstörenden Prozedur¹ gleichartig zu ermitteln. Die genauen Verfahren hierzu (SBT und LCT) sind in den technischen Anhängen „Prüfverfahren TP“ beschrieben.

(6) Aus den Ergebnissen ist die statistische Verteilung der geprüften Stichprobe abzuleiten, so dass die Überlebenswahrscheinlichkeit der Population bei der maximal anzunehmenden normalen Betriebslast ermittelt werden kann.

(7) Die entsprechenden Verfahren sind im Anhang SAS beschrieben auf den in CAT 9 Bezug genommen wird. Die abgeleitete Überlebenswahrscheinlichkeit erlaubt eine grobe Abschätzung des Verhaltens einer Druckgefäß-Population des gleichen Baumusters mit vergleichbarer Belastungshistorie. Der Begriff Belastungshistorie beinhaltet hier Alter und Verwendungsart wie z. B: neu aus der Produktion oder 15 Jahre Betrieb in einem Wasserstoff-Batteriefahrzeug.

(8) Weitere Aspekte des Baumuster- oder Stichprobenverhaltens sind die Lastwechselempfindlichkeit, beschrieben in CAT 8 und das Leckvor-Bruch-Verhalten, beschrieben in CAT 10.

and material. Comparable service loads are additional criteria.

Variants of a design type have to be treated as a separate design type in principle.

The safety of composite pressure receptacles from mass production can be assessed in line with the procedure in CAT 4 employing samples compiled according to CAT 5. These samples can be assessed concerning their burst strength as described in CAT 6 and/or their cycle strength as described in CAT 7. For this, the strength of each specimen of a sample has to be determined employing the respective procedure repeated identically until failure. The procedures (“SBT” and “LCT”) are described in technical annexe “test procedures TP”.

The statistical strength distribution of a population has to be derived from the sample test results in a way permitting determination of the survival probability at the highest assumable level of normal operational loads.

The corresponding procedures for this are described in the annex “SAS” referenced in CAT 9. The derived survival rate (reliability) permits an estimation of the behaviour of a population of pressure receptacles of the same design type and load history. The term “load history” here includes age and application in the meaning of for example “new from production” or “after 15 years of service in a hydrogen battery vehicle” and so on.

Further aspects of design type or sample behaviour are cycle fatigue sensitivity as described in CAT 8 and leak-before-break behaviour as described in CAT 10.

¹ In momentaner Ermangelung adäquater zerstörungsfreier Prüfverfahren
Due to the current lack of adequate non-destructive test procedures.



(9) Die Degradation der Festigkeitseigenschaften im Laufe des Betriebes verursacht meistens eine Reduzierung der Sicherheit. Eine Population von Druckgefäßen kann nur so lange als sicher bezeichnet werden, wie die gemäß CAT 9 geschätzten Überlebenswahrscheinlichkeiten die Anforderungen aus CAT 3 erfüllen.

(10) Die Ergebnisse der nach diesem Konzept ergänzend durchgeführten Prüfungen und dem nachfolgenden Vergleich neuer Druckgefäße mit im Betrieb gealterten Druckgefäßen eines Baumusters gemäß CAT 12, erlauben einen vertieften Einblick in die Sicherheitseigenschaften von Baumustern.

(11) Dieses Zusatzwissen wird als erforderlich angesehen, um die baumusterspezifische Degradation eines Druckgefäßes aus Verbundwerkstoffen beurteilen zu können. Solche Untersuchungen sind eine Voraussetzung für die Überwachung der verbleibenden Lebensdauer dieser Druckgefäße wie es für die UN-Composite-Druckgefäße gemäß Bem. 2 in 6.2.2.1.1 bzw. 6.2.2.1.2 der UN Model-Vorschriften gefordert ist.

(12) Aber auch außerhalb harmonisierten Vorschriften kann diese Art von Untersuchungen notwendig sein, solange keine für die Lebensdauerbewertung hinreichend guten zerstörungsfreien Prüfverfahren für Composite-Druckgefäße allgemein verfügbar sind. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Fristen der wiederkehrenden Prüfung ausgedehnt werden sollen.

(13) Das Vertrauen in eine statistische Überprüfung einer Grundgesamtheit (Population), wie sie hier beschrieben ist, erfordert eine angemessene Inspektion vor der Befüllung zur individuellen Überprüfung auf Schäden, die den Degradationsprozess beschleunigen könnten (mindestens ISO 24431:2017). Diese Inspektion vor der Befüllung umfasst eine externe visuelle Inspektion, in einer für die Kombination von Linermaterial und Gas angemessenen Art.

Degradation of properties during service in most cases causes a reduction of safety. For this reason, a population of pressure receptacles can only be considered safe as long as survival probabilities according to CAT 9 can be expected at least as high as demanded in CAT 3.

Results of these additional destructive tests according to this concept and the subsequent comparison of new specimens and such aged by service permit a deeper insight into the safety properties of design types of composite pressure receptacles.

This additional knowledge is considered mandatory to assess the design type specific degradation behaviour of composite pressure receptacles. Such an assessment is a precondition for monitoring the residual lifetime of composite receptacles in a well-founded way as explicitly demanded for UN composite receptacles in Note 2 of the UN-Model Regulations 6.2.2.1.1.

But also outside of harmonized regulations this kind of safety assessment is necessary until sufficient non-destructive testing methods are available. It helps to avoid statistically critical safety conditions of a population of pressure receptacles in service. This is particularly relevant if extended retest periods are aspired.

The confidence in a statistical assessment of populations, as described here, requires appropriate pre-fill inspection for individual surveillance of damages that may increase degradation processes (at least ISO 24431:2017). Pre-fill inspection shall include external visual inspection before filling and an internal inspection as appropriate for the combination of gas and liner material.

CAT 3 Schutzziel und Sicherheitsniveau

(1) Das Schutzziel gilt als erreicht, wenn die Population von Druckgefäßen das geforderte Sicherheitsniveau erfüllt, das hier durch die Überlebenswahrscheinlichkeit SR (survival rate) oder die Ausfallrate FR (failure rate) beschrieben ist.

(2) In Ermangelung einer allgemeinverbindlichen Regelung der minimal geforderten Zuverlässigkeit, werden für die vorübergehende Anwendung die in **Abb. 1** und **Tab. FR** für das spontane Bersten dargestellten Werte herangezogen.

CAT 3 Protection Goal and Safety Level

The protection goal deems to be met if the population of a pressure receptacle fulfils the required safety level expressed here by survival rate SR or failure rate FR.

In absence of legal requests concerning minimum reliability the values shown in **Fig. 1** and **Table FR** for sudden rupture are intended for provisory use.

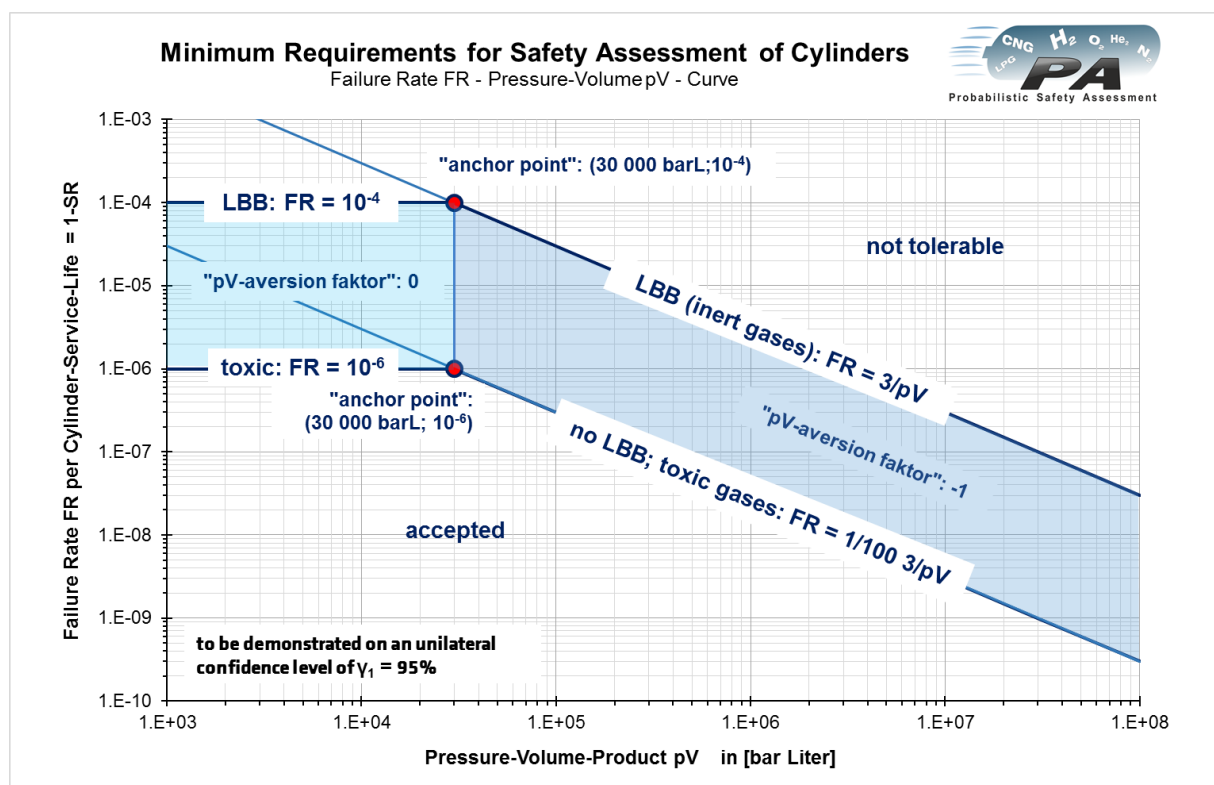


Abb. 1: Häufigkeits-Konsequenz-Diagramm als Darstellung der akzeptablen Ausfallwahrscheinlichkeit für Druckgefäße im Rahmen dieser GGR

Fig. 1: F-pV-curve showing the acceptable failure rates as operated for pressure receptacles within this GGR

Tab. FR: Geforderte Obergrenzen für die akzeptable Ausfallwahrscheinlichkeit bis zum Ende des Lebens von Druckgefäßen

Table FR: Required maximum failure rates or minimum survival rates as safety criterion for residual strength during service life until end of use

Versagensart failure mode Gaseigenschaft gas property pV: Druck- Volumen- Product <i>pressure- volume- product</i> (PH·Vol _{water})** in [bar Liter]	Leck-vor-Bruch (LvB) leak before burst (LBB) (fail-safe design)		Spontanversagen/Bersten sudden rupture / burst
	inerte Gase inert gas	giftige Gase toxic gas	Unabhängig independent
	Maximale Ausfallrate FR_{max} einer Population von Druckgefäßen Während des Betriebs bis zum Ende des Lebens (EoL) <i>Maximum failure rate of a population of pressure receptacles during life until end of service life (EoL)</i> $FR_{max} = 1 - SR_{min}$		
$pV \leq 30\,000 \text{ bar L}$ (= 3 000 MPa L)	$FR_{max} = 10^{-4}$ $SR_{min} = 99,99\%$	s. rechts⇒ "Spontanversagen" as sudden rupture	$FR_{max} = 10^{-6}$ $SR_{min} = 99,9999\%$
$pV > 30\,000 \text{ bar L}$ (= 3 000 MPa L)	$FR_{max} = \frac{3}{pV}$ (⇒ $SR_{min} > 99,99\%$)	s. rechts⇒ "Spontanversagen" as sudden rupture	$FR_{max} = \frac{1}{100} \frac{3}{pV}$ (⇒ $SR_{min} > 99,9999\%$)

** PH gemäß der Kennzeichnung auf dem Druckgefäß/ according to the marking on the pressure receptacle

Vergl. nachfolgende Seite mit Hinweisen / see next page for annotations

Bem.1: Die Referenzwerte dieser Tabelle und die Methode zur Berücksichtigung der Konsequenz aus dem Versagen sind Bestandteil der aktuellen Diskussion und können ggf. abweichend hiervon angewendet werden.

Bem.2: Solange die Eigenschaften einer Druckgefäß-Population nicht bekannt sind, müssen sie aus den Eigenschaften einer Stichprobe abgeschätzt werden. Entsprechende Prüfungen und Bewertungsverfahren werden in Kapitel CAT 5 und CAT 6 vorgestellt und in Bezug genommen. Für die Bewertung des Leck-vor-Bruch-Verhaltens ist CAT 8 heranzuziehen.

Note 1: The reference values of this table and the method for considering the consequences of a failure are under discussion and may be applied different.

Note 2: Since properties of a population of cylinders in use are unknown, they have to be estimated by sample properties. Relevant test and evaluation methods are presented and referenced in chapters CAT.5 and CAT.6. For assessment of LBB-CAT 8 shall be followed.



Hinweise zur Tabelle FR

- A Die geforderten Werte basieren auf einer groben Risikoabschätzung entsprechend den Konsequenzen eines Versagens. Dieses auf die Konsequenz bezogene Kriterium basiert auf dem Druck-Volumen-Produkt, der Versagensart und den Eigenschaften des enthaltenen Gases, z.B. Toxizität.
- B Das Druck-Volumen-Produkt ist die wesentliche Größe zur Beschreibung der gespeicherten Energie. Sie beinhaltet sowohl die potentiell für eine chemische Reaktion freisetzbare Gasmenge als auch die physikalische vorhandene Druckenergie des komprimierten Gases und des elastisch verformten Druckgefäßes.
- C Es wird angenommen, dass eine Berstprüfung immer zum Spontanversagen führt.
- D Bei der Beurteilung von Lastwechselprüfungen kann das Kriterium Leck-vor-Bruch zusätzlich berücksichtigt werden
- E Abhängig von den Bedingungen des Alterungsprozesses kann sich das Leck-vor-Bruch-Verhalten eines Behälters ändern. Dieses Verhalten muss in jeder Prüfung wieder bestätigt werden, wenn die für das Leck-vor-Bruch-Verhalten reduzierten Überlebenswahrscheinlichkeiten angewendet werden.
- F Es wird angenommen, dass die Leckage von inerten Gasen, im Gegensatz zu toxischen Gasen, zu keinen direkten Auswirkungen, außer dem Verlust der Verwendungsfunktion, führt. Letzteres ist nicht Gegenstand dieser Sicherheitsbeurteilung.
- G Aus diesem Grund ist die angenommene Konsequenz der Leckage eines Druckgefäßes, gefüllt mit inertem Gas signifikant geringer als die im Fall des Berstens oder einer Leckage mit Freisetzung eines toxischen oder entflammbaren Gases.
- H Die Anforderungen für brennbare und oxidierende Gase basieren in Abhängigkeit von der Anwendung auf einer Wahrscheinlichkeitsbetrachtung der Zündung bei Gasaustritt.

Annotation for Table FR

- A The demanded values are based on a rough risk assessment according to failure consequences. This consequence related criterion is built on the pressure-volume-product, the behaviour of the pressure receptacle during failure and properties of the contained gas as e. g. toxicity.
- B The pressure-volume-product is a fundamental dimension for the amount of stored energy and based on the permanent marking of the pressure receptacle. This includes the potentially released gas available for a chemical reaction as well as for the physical reaction, which results from the contained energy from gas compression and from elastic expansion of the shell of the pressure receptacle.
- C It is assumed that a burst test will lead to a sudden rupture.
- D During the assessment of load cycle tests the criterion of leak before burst can be considered additionally.
- E Leak before burst behaviour may be dependent on the aging conditions of the receptacle. For that reason this behaviour has to be re-evaluated during every test, if the reduced minimum survival rate based on leak before burst is employed.
- F It is assumed that the leakage of inert gases has no direct consequences opposite to leakage of toxic gas except loss of functionality. The last is not a subject of this safety assessment.
- G For this reason, the consequence of leakage of a pressure receptacle filled with inert gas is considered significantly smaller than a cylinder rupture or a leakage with release of toxic or flammable gas.
- H The requirements for flammable or oxidizing gasses are guided by likeliness of ignition depending on the application.

(3) **Abb. 1** und **Tab. FR** zeigen die maximalen Ausfallraten FR bzw. zur besseren Lesbarkeit die Überlebenswahrscheinlichkeiten SR:

For a better reading, **Fig. 1** and **Table FR** show the maximum failure rates FR:

$$SR = 1 - FR$$

Eq. CAT-1

(4) SR muss hier als Zuverlässigkeit der Druckgefäße zu jeder Zeit des Betriebes interpretiert werden. Wenn eine Druckgefäß-Population des gleichen Baumusters und ähnlicher Historie diese oder höhere Überlebenswahrscheinlichkeiten nachweisen kann, gilt das Schutzziel als erfüllt.

SR has to be interpreted as reliability for pressure receptacles at any time during service life. If a population of a pressure receptacle of this design type with comparable service history provides these or higher survival probabilities, the protection goal is deemed to be met.

(5) Für entflammbare oder oxidierende Gase, welche in der **Tab. FR** nicht gelistet sind, gelten folgende Regeln:

For flammable or oxidizing gasses, which are not mentioned in **Table FR** the following rules applies:

- a) Grundsätzlich werden brennbare oder oxidierende Gase wie toxische Gase behandelt.
- b) Es gibt Anwendungen, in denen die Konsequenz einer Leckage von entflammbaren oder oxidierenden Gasen vergleichbar zu inerten Gasen ist. In solchen Fällen können die Anforderungen an die Druckgefäße mit entflammbaren oder oxidierenden Gasen denen mit inerten Gasen angeglichen werden. Dies gilt beispielsweise für Druckgefäße mit entflammbarem Gas, wenn zu jeder Zeit des Betriebes garantiert werden kann, dass die Umgebung frei von Zündquellen und gut belüftet ist.
- c) **Abb. 1** stellt die oben dargestellten Anforderungen graphisch dar. Es zeigt den Einfluss des Druck-Volumen-Produktes auf die geforderte Mindest-Überlebenswahrscheinlichkeit.

- a) In general flammable or oxidizing gasses shall be treated like toxic gasses.
- b) There are applications where the consequence of a leakage of flammable or oxidizing gas is comparable to an inert gas. In such cases, the requirements on the pressure receptacles can be equalized between inert and flammable or oxidizing gases. This can, for example, be considered applicable to a pressure receptacle containing flammable gas if it is secured at all times during service that its surrounding is free from ignition sources and properly ventilated.
- c) **Fig. 1** shows the above requirements graphically. It shows the influence of the pressure-volume product on the required minimum survival probability.

CAT 4 Geltungsbereich und Anwendung

(1) Das hier als „Konzept zusätzlicher Prüfungen (CAT)“ dargestellte Verfahren zur Sicherheits-

CAT 4 Scope and Applications

The safety assessment procedure described in this “concept of additional tests (CAT)” is

bewertung ist anwendbar auf alle Arten und Größen von Druckgefäßen aus Verbundwerkstoffen, sofern diese in einer Serie von mehr als 200 Stück hergestellt sind.

(2) Das Verfahren für die Bestimmung der aktuellen Sicherheit im Sinne der Überlebenswahrscheinlichkeit (d.h. Zuverlässigkeit) einer Population von Druckgefäßen ist in **Abb. 2** dargestellt und muss wiederholt bzw. periodisch angewendet werden.

applicable to composite pressure receptacles of all types and sizes produced in more than 200 numbers.

The procedure for the determination of the current safety level in the meaning of survival rate (i.e. reliability of probability of survival) of a population of pressure receptacles described in **Fig. 2** and shall be used on a repeated respectively periodic base.

Evaluation of current safety level of CCs in accordance with the Concept Additional Tests (CAT)

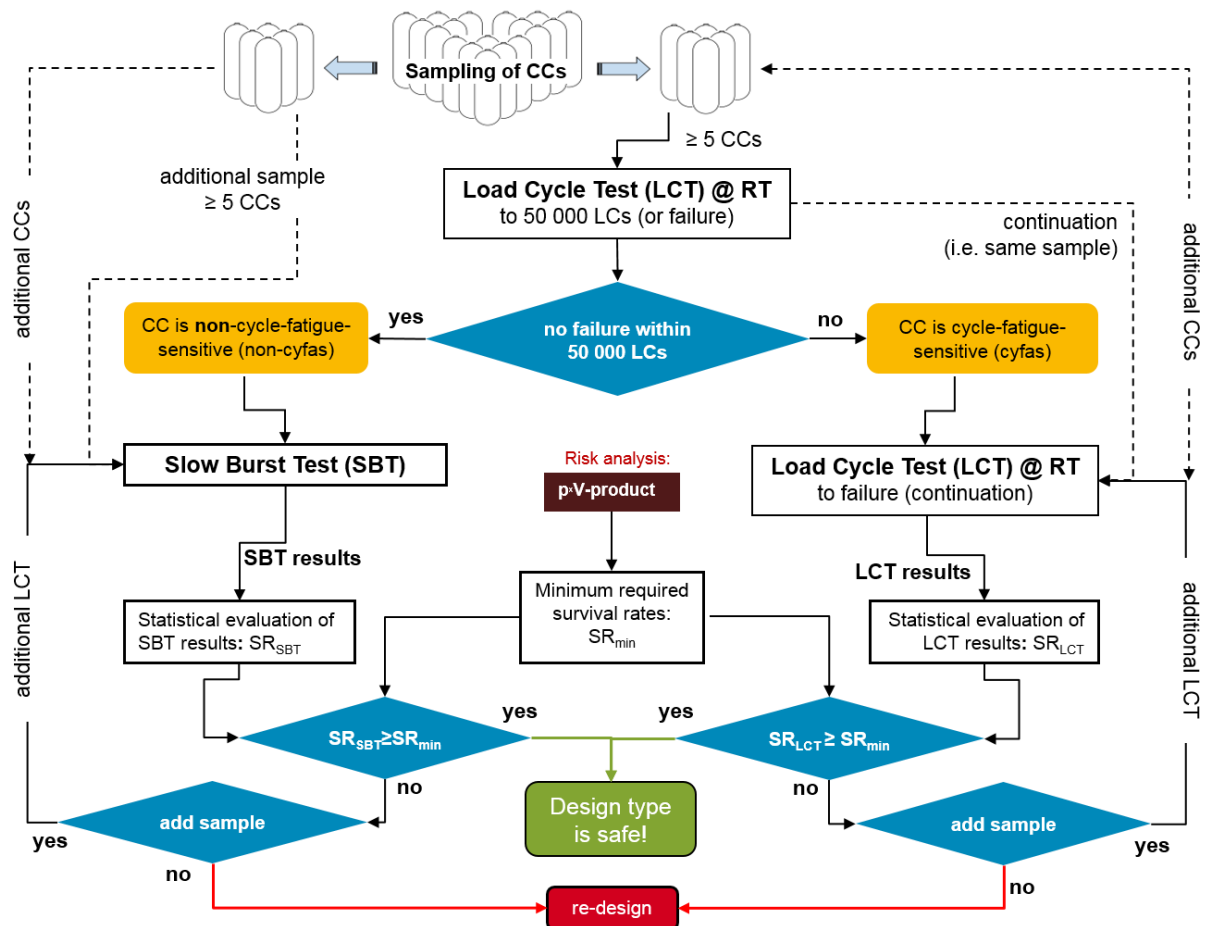


Abb. 2: Flussdiagramm für den Nachweis der Sicherheit der durch die geprüften Stichproben repräsentierten Altersgruppe einer Population

Fig. 2: Flow chart for the evaluation of safety level of the tested samples, which represents a certain age range of a population.

(3) Dieses Konzept zusätzlicher Prüfungen erlaubt eine allgemeine Untersuchung des momentanen Sicherheitsniveaus. Im Fall von Wiederholungen (erneuten Prüfungen) bietet dieses Konzept eine vergleichende Betrachtung der betrieblichen Sicherheit an. Wenn der hier beschriebene Ansatz zur Anwendung kommt, muss er vollständig angewendet werden und darf nicht auszugsweise zur Anwendung kommen.

(4) Der Vergleich der Sicherheitsniveaus verschiedener Altersstufen beschreibt die betriebliche Alterung (Degradation) der Druckgefäße. Dadurch ist das Verfahren sowohl geeignet zur Überprüfung der Restlebensdauer wie auch für die Festlegung darauf abgestimmter Fristen für die wiederkehrende Prüfung. Die Betriebssicherheit für eine Population von Druckgefäßen kann bestätigt werden, wenn zu Beginn des Betriebes (Begin of Life, BoL) und wenn möglich auch am Ende des Lebenszyklus (End of Life, EoL) die Überlebenswahrscheinlichkeit über dem geforderten Mindestmaß liegt.

(5) Die maximale Betriebslast ist der Prüfdruck PH. Im Fall der begrenzten Verwendung eines Baumusters für nur ein Gas kann alternativ der entwickelte Druck dieses Gases bei 65°C und maximaler Füllung (Nennbetriebsdruck bei 15°C) als maximaler Betriebsdruck (maximum service pressure, MSP) zugrunde gelegt werden.

(6) Ist die Verwendung nicht auf ein Gas beschränkt, wird im Folgenden der Prüfdruck PH als MSP verwendet. Dies schließt auch die Arbeitsdiagramme in Bild SAS-1 und SAS-2 in Anhang SAS ein. Auch das Druckniveau in Bild SAS-3 und SAS-4 in Anhang SAS muss entsprechend angepasst werden.

(7) Das in **Abb. 2** dargestellte Verfahren für die erstmalige Prüfung erlaubt eine belastbare Abschätzung des momentanen Sicherheitsniveaus der Population von Composite-Druckgefäßen bzgl. Alterung und Materialermüdung, das durch die Stichproben repräsentiert wird. Die Erklärung der verschiedenen Schritte und Abweichungen

This concept of additional tests provides a general assessment of the current safety level. In the case of repetition (in the following called: re-evaluation), this concept provides a comparing assessment of safety levels in service. If the procedure described here is used it shall be used as its whole and cannot be used partially.

A comparison of safety levels at different ages describes the in-service degradation of pressure receptacles. Therefore, the procedure is applicable to a verification of residual life expectancy as well as to the setting of suited retest periods adapted to the expected life time. Safety is confirmed if the survival rate of the relevant population of a design type is demonstrated for the Begin of Life (BoL) and if possible for the End of Life (EoL) as being higher than the minimum required level.

The maximum service pressure is considered the test pressure PH. If a design type is only used for one dedicated gas, the developed pressure at a settled temperature of 65°C in a maximum filled pressure receptacle (working pressure at 15°C) can be assumed as maximum service pressure (MSP).

If the design type approval is not dedicated to one specific gas, the value of MSP is defined as PH in the following including the performance charts Fig. SAS-1 and SAS-2 in annex "SAS". The pressure level in Fig. SAS-3 and Fig. SAS-4 in annex SAS shall be altered respectively.

The procedure of initial sample testing shown in **Fig. 2** provides a reliable estimation of the safety level at time of testing with respect to aging and fatigue procedures for a population of composite pressure receptacles represented by the tested samples. The explanation of the different steps

davon sind in den nachfolgenden Abschnitten CAT 5 bis CAT 10 erläutert.

(8) Ist für ein Baumuster Lastwechselempfindlichkeit gemäß CAT 8 nachgewiesen, kann gemäß **Abb. 1** und **Tab. FR** eine höhere Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. reduzierte Überlebenswahrscheinlichkeit (Zuverlässigkeit) gegen Leckage akzeptiert werden.

and variants of this is given in the following chapters CAT 5 to CAT 10.

In the case of a pressure receptacle design demonstrating load cycle fatigue sensitivity in accordance with CAT 8 (**Fig. 1** and **Table FR**), a higher failure rate respectively reduced survival rate (reliability) against leakage as first failure may be accepted.

Evaluation of leak before break property (LBB) of CCs in accordance with the Concept Additional Tests (CAT)

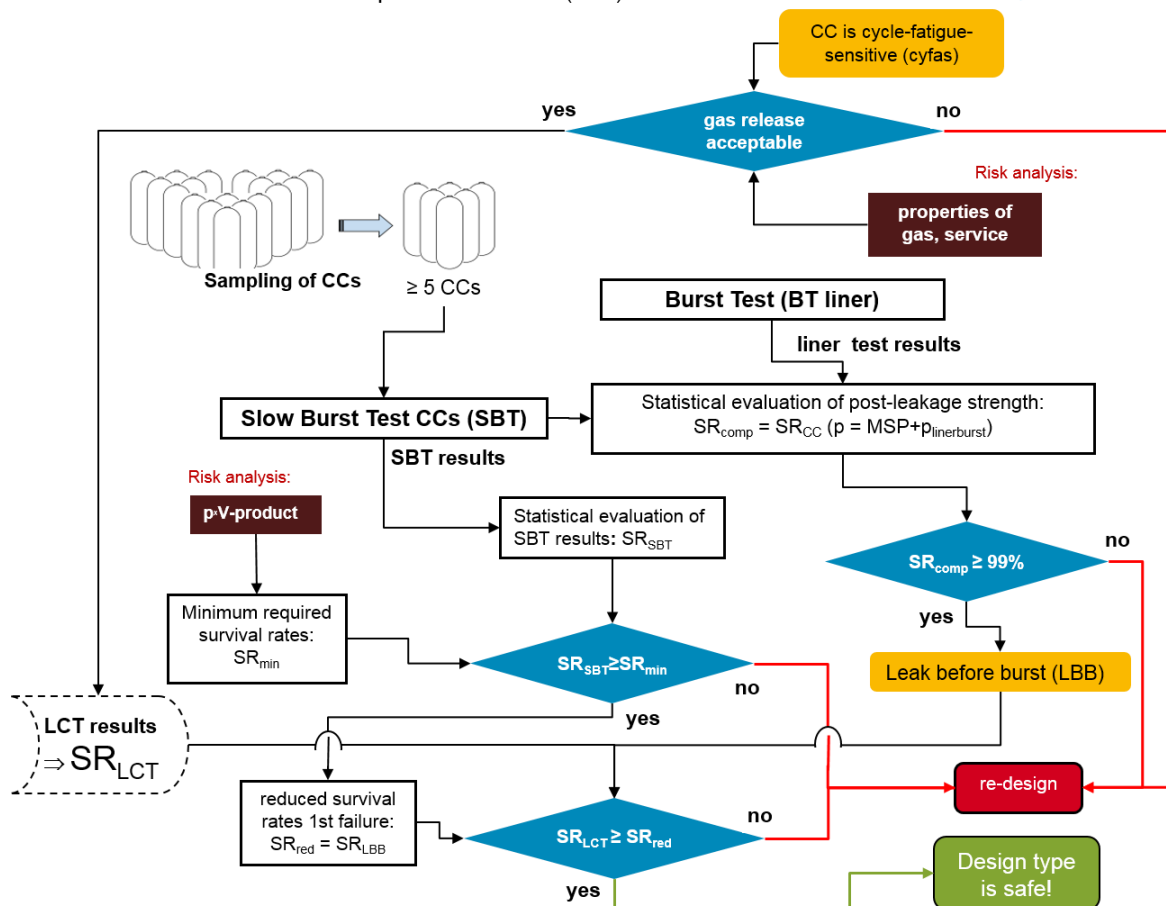


Abb. 3: Flussdiagramm zur Anwendung reduzierter Zuverlässigkeitsanforderungen mit L-v-B-Nachweis

Fig. 3: Flow chart for the usage of reduced reliability requirements based on LBB-assessment

(9) Voraussetzung dafür ist der Nachweis des Leck-vor-Bruch-Verhalten (L-v-B) gemäß dem in **Abb. 3** dargestellten und in CAT. 10 beschriebenen

Condition for this is the demonstration of a leak before burst (LBB) property in accordance with the procedure displayed in **Fig. 3** and described



Verfahren in Verbindung mit bestimmten Gaseigenschaften und Betriebsbedingungen.

(10) Für die Übertragung der eingangs durchgeführten Prüfungen und deren Bewertung auf eine laufende Produktion muss die Qualität dieser Produktion besonders überwacht werden.

(11) Das entsprechende Verfahren ist in CAT 11 (vergl. Anlage SAS) beschrieben.

(12) Baumuster, die aufgrund ihrer Stückzahl nicht entsprechend geprüft werden können, müssen in Abstimmung mit der zuständigen Behörde gleichwertig untersucht bzw. überwacht werden. Dies bezieht das permanente zerstörungsfreie Online-Monitoring auf Basis von z. B. Schallemissionsanalyse oder integrierten optischen Dehnungssensoren ausdrücklich mit ein, sofern die Wirksamkeit der Überwachung zur frühen Erkennung von Vorzeichen eines ersten Versagens nachgewiesen ist.

CAT 10 in combination with certain gas properties and service conditions.

For operating the initially performed test results and their evaluation on an ongoing production the quality of this production shall be surveyed by a dedicated procedure.

The relevant procedure is described in CAT 11 (cf. Annex "SAS").

Design types not assessable according to this concept of additional tests (CAT) for the reason of their limited production numbers need to be examined and monitored in an equivalent way approved by the competent authority. The effectiveness of the monitoring methods need to be proven regarding the early and reliable detection of preliminary signs of a first failure or speeding up of micro cracks. Under this condition those methods can include the permanent online-monitoring based on acoustic emission testing (ISO-short cut: AT) and integrated optical strain sensors.

CAT 5 Zusammensetzung der Stichprobe

(1) Aufgrund des unterschiedlichen statistischen Verhaltens verschiedener Baumuster oder gar Varianten, muss jede Baumustervariante grundsätzlich separat betrachtet werden.

(2) Die zuständige Behörde kann ausnahmsweise zustimmen, verschiedene Varianten in einer Stichprobe zusammenzufassen. Hierfür sollte der alle Beteiligten umfangreiche Erfahrung mit der statistischen Sicherheitsbewertung bzgl. Produktion und Alterung haben.

Bem. 3: Dieses Vorgehen der Zusammenfassung verschiedener Varianten birgt aufgrund statistischer Effekte das Risiko, dass die Streuung aufgrund der übergreifenden Stichprobe größer ist und auch schneller zunimmt, als dies bei der separaten Betrachtung der Überlebenswahrscheinlich-

CAT 5 Composition of a Sample

Due to different statistical behaviour of different design types or even design variants each design type variant has to be assessed separately in principle.

The competent authority may exceptionally agree to sampling of different variants in one sample. In this case all involved parties should be experienced in statistical safety assessment concerning production and ageing.

Note 3: Due to statistical effects, this procedure bares the risk that even if the BoL-survival rate (BoL: Beginning of Life) of the different variants of a design are quantified as sufficient, the increase of scatter of these variants during service is much higher than of the scatter of each individual variants.



keiten der verschiedenen Varianten beobachtet werden würde.

(3) Für beide nachfolgend beschriebenen Prüfungen ist eine Stichprobe aus der betreffenden Population zusammen zu stellen. Hierfür gilt:

- a) Jede Stichprobe besteht aus mindestens 5 Prüfmustern², die nach dem Zufallsprinzip aus der zu bewertenden Population oder Teil einer Population entnommen wird.
- b) Eine Stichprobe kann je nach Intention der Prüfung aus dem neuen oder aus dem gebrauchten Bestand an Druckgefäßen des relevanten Baumusters entnommen werden.
- c) Im Fall einer gebrauchten Population müssen alle Prüfmuster aus dem Teil der Population entnommen werden, der der Beschreibung der zu untersuchende Historie entspricht. Für eine vergleichbare Historie sind die Aspekte Alter, Klimazone der Verwendung, Größenordnung der Füllzyklen, evtl. Gasbesonderheiten bzgl. Korrosion, Versprödung etc. zu betrachten.
- d) Ferner müssen im Fall der parallel Beurteilung nach CAT 6 und CAT 7 beide benötigen Stichproben eine vergleichbare Historie aufweisen.
- e) Soll das Ergebnis zur Beurteilung im Neuzustand dienen, muss die Stichprobe(n) aus einer Vorserie entnommen oder im besseren Fall einer laufenden Fertigung aus allen verschiedenen Herstellungslosen der letzten 3 Monate zusammengestellt sein. Die Herstellung darf nicht länger als 3 Monate zurück liegen.

Each of the test procedures described in the following requires a sample taken from the relevant population. The following requirements apply:

- a) Each sample consists of at least 5 test specimens, which are taken from the basic populations or the part of a population that has to be evaluated.
- b) A sample of a design type may consist of operated or of new test specimens, depending on the intention of the test.
- c) Only specimens taken from a population with comparable service history shall be compiled to a sample. The service history can only be considered comparable if the aspects of climate conditions, age, intensity of use, extraordinary properties of the stored gases concerning corrosion, embrittlement etc. are comparable.
- d) In the case of a parallel assessment acc. to CAT 6 and CAT 7 both required samples shall have a comparable service history.
- e) If an assessment of new pressure receptacles is intended, the sample(s) shall be taken from a pre-production batch or in the better case of a running production a better out of all different batches of the last 3 months. The production shall not be dated back more than 3 months.

² Durch die Berücksichtigung des Konfidenzniveaus gibt es keine Mindeststichprobengröße. Ein Stichprobenumfang von 5 wird empfohlen, daher basieren die Arbeitsdiagramme auf einen Umfang von 5. Andere Stichprobengrößen können genutzt werden, benötigen aber eine gesonderte Berechnung.
Due to consideration of confidence level there is no minimum samples size. It is recommended to use a sample size of at least 5, therefore performance charts are based on a sample size of 5. Differing sample sizes may be used but need separate calculation.



- | | |
|--|---|
| <p>f) Im Fall gebrauchter, aus dem Betrieb genommener Prüfmuster darf das Herstellungsdatum der Prüfmuster einer/der Stichprobe(n) nicht mehr als 6 Monate auseinander liegen, um als gleich alt zu gelten. Im Einzelfall kann bei Baumustern, die nicht in großer Stückzahl von mehr als 200 Druckgefäßen hergestellt wurden, der 6-Monatszeitraum auf 12 Monate ausgedehnt werden.</p> <p>g) Jedes aus dem Betrieb entnommene Prüfmuster muss vor der zerstörenden Restfestigkeitsprüfung erfolgreich den üblichen Verfahren der zerstörungsfreien wiederkehrenden Prüfungen unterworfen worden sein.³</p> <p>h) Werden Prüfmuster mit vergleichbarer Historie von verschiedenen Betreibern zu einer Stichprobe zusammengefasst, muss jede Stichprobe auf mindestens 8 Prüfmuster vergrößert werden, wobei jeder Betreiber grundsätzlich mindestens 3 Prüfmuster beizutragen hat (1 x 5 ⇨ 2 x 4, 3 x 3 oder 4 x 3 etc.)</p> <p>i) Das Ergebnis zu Prüfmustern aus dem Betrieb kann grundsätzlich nur auf die Druckgefäße der Betreiber angewendet werden, die Prüfmuster der betreffenden Baumuster zur Stichprobe beigetragen haben.</p> <p>j) Von den beiden vorgenannten Grundsätzen 3h) und 3i) kann nur gegenüber dem Hersteller einer Großserie abgewichen werden. Hierzu muss er darlegen, dass das gesamte Spektrum der Betriebsbedingungen bereits durch die Betreiber, die Prüfmuster beigesteuert haben, vollständig abgedeckt wird. In diesem Fall muss die Stichprobe aus mind. 13 Prüfmustern bestehen, die von mind. 3 Betreibern bereitgestellt wurden.</p> | <p>f) In case of used specimens taken out of service, dates of manufacturing shall not differ more than 6 months for being considered as being of the same age and composed to one sample either for cycle or burst testing. In particular cases of a design type that has not been produced in high of more than 200 pressure receptacles the 6 month limitation can be expanded to 12 month.</p> <p>g) Before any specimen is subjected to destructive testing it has to pass the non-destructive periodic inspection and all tests as requested for each individual of the population in accordance to the relevant standard.</p> <p>h) Samples may consist of specimens of comparable service history from a population used at varying operators. In this case every sample has to be increased to at least 8 specimens, while including at least 3 specimens from each operator (1 x 5 ⇨ 2 x 4, 3 x 3 or 4 x 3 etc.).</p> <p>i) Results derived from samples taken out of service shall only be applied to the receptacle population of operators who supplied specimens for the sample.</p> <p>j) Exceptions from both essential requirements above 3h) and 3i) can be made to a manufacturer of design types in mass production. For this the manufacturer has to prove that the variety of all service conditions has been completely covered by specimens supplied by other operators. In this case the sample has to consist of at least 13 specimens from at least 3 operators.</p> |
|--|---|

³ So 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.
This is to secure the specimens in the sample to be representative for all composite pressure receptacles of this design type in service after periodic retesting.

Bem. 4: Aufgrund des unterschiedlichen Betriebes kann die Zusammenfassung von Druckgefäßen unterschiedlicher Betreiber zu einer Stichprobe zu erhöhten Streuungen bei der Restfestigkeit führen. Dies hat gemäß CAT 12 eine Lebensdauer verkürzende Wirkung.

Note 4: Due to the differences in service the composition of pressure receptacles from different operators to one sample may lead to an increased scatter of residual strength. This may cause an effect that reduces the service life acc. CAT 12.

CAT 6 Die langsame Berstprüfung (Anhang SBT)

(1) Alle Berstprüfungen sind in Übereinstimmung mit dem Anhang TP Teil SBT durchzuführen.

(2) Die Anforderungen an die (langsame) Berstfestigkeit der Grundgesamtheit nach Kapitel CAT 3 sind in **Abb. CAT-4** in Form der Linien konstanter Überlebenswahrscheinlichkeiten grafisch dargestellt.

CAT 6 Slow Burst Test (Annex SBT)

All burst tests shall be performed in accordance with annex TP part SBT,

Requirements concerning (slow) burst strength of the basic population in accordance to chapter CAT 3 are graphically displayed in **Fig CAT-4** by showing lines of constant survival rate.

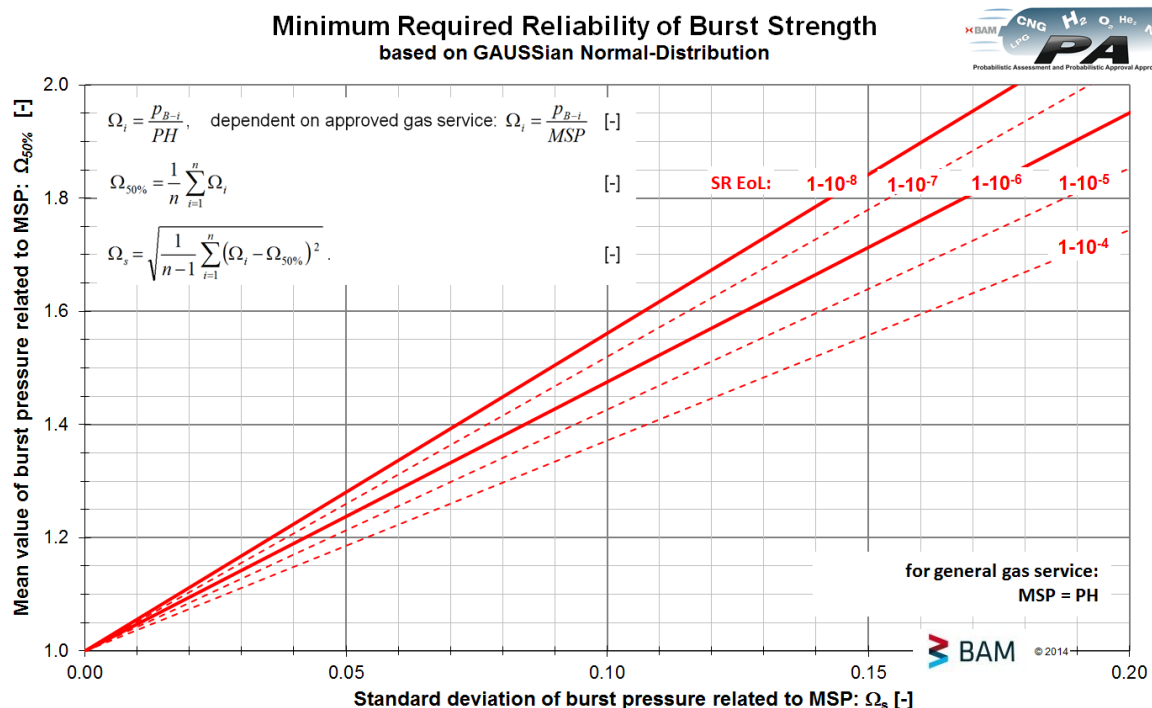


Abb. 4 Arbeitsdiagramm zur grafischen Auswertung der gesamten Population (unbegrenzte Stichprobengröße) für Prüfungen nach SBT

Fig. 4 Performance chart for a graphical assessment of whole population (unlimited sample size) tested by SBT



(3) Da die Eigenschaften der Grundgesamtheit nicht bekannt sind und nur durch Stichproben abgeschätzt werden können, muss die stichprobenabhängige „Straffunktion“, wie in Anhang SAS beschrieben und im Anhang SPC dargestellt, hinzugefügt werden

(4) Zunächst ist eine Stichprobe von Prüfmustern in Übereinstimmung mit CAT 5 zusammen-zustellen. Diese Stichprobe ist dann nach dem Verfahren der langsamen Berstprüfung gemäß dem Abschnitt SBT des Anhangs TP zu prüfen und graphisch oder rechnerisch gemäß Anhang SAS auszuwerten. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Stichprobe muss größer sein als die in **Tab. FR** angegebene Mindestüberlebenswahrscheinlichkeit SR_{min} bei maximalem Betriebsdruck (MSP gemäß CAT 3) unter Berücksichtigung der Stichproben-größe und einem einseitigen Vertrauensniveau von 95%.

(5) Wird die geforderte Überlebenswahrscheinlichkeit nicht erreicht, kann die Stichprobe durch weitere Prüfungen in Übereinstimmung mit CAT 5 beliebig vergrößert werden, um das Vertrauen in die Prüfergebnisse zu erhöhen und damit die Abschläge für kleine Stichproben auf dem geforderten Konfidenzniveau zu reduzieren.

(6) Es müssen jedoch unabhängig von der Stichprobengröße immer alle Prüfergebnisse in die statistische Auswertung unmittelbar einfließen. Davon abgewichen und ein Prüfergebnis verworfen werden darf nur dann, wenn nachgewiesen werden kann, dass eine Fehlfunktion der Prüfanlage etc. vorliegt und der Frühausfall nicht auf das Prüfmuster zurückgeführt werden kann. Eine solche Wiederholung muss dokumentiert werden.

(7) Ist die Erfüllung der Anforderungen nach **Tab. FR** mit **Abb. 1** und **Abb. 4** nicht nachgewiesen, ist das Baumuster abzulehnen bzw. die Nutzung der Druckgefäße dieses Baumusters gleicher Historie oder älter zu beenden.

Bem. 5: Führt diese Bewertung zu unzureichenden Zuverlässigkeiten für eine Stichprobe von produktionsneuen Druckgefäßen, gibt es gegenwärtig keine Grundlage für einen

Since the properties of a whole population are unknown and can just be estimated by sample properties, uncertainty margins (“penalty function”) must be added as shown in annex SAS und displayed in annex SPC.

First a sample has to be compiled according to CAT 5. The sample shall be subjected to slow burst testing as described in part SBT in annex TP. The test results shall be evaluated graphically or computed according to annex SAS. The resulting sample survival rate based on maximum allowed service pressure (MSP acc. to CAT 3) shall be compared to SR_{min} found in **Table FR**. The sample survival rate shall be higher than SR_{min} under the consideration of sample size and a unilateral confidence level of 95%.

If the required survival probability was not achieved, additional pressure receptacles can be tested. It is acceptable to expand the sample arbitrarily in accordance with CAT 5, which increases the confidence in test results and reduces the “subtractions” for small samples on the dedicated confidence level.

Independent of sample size, all results shall be directly included in the statistical examination. Deviating from that, single results may be removed from statistics only if it is proven that there was a mal-function in the test equipment or similar and there cannot be any reason for failure in the tested specimen. Such an elimination of test results and each test repetition shall be documented.

If the compliance with the requirements from **Table FR** with **Fig. 1** and **Fig. 4** is not verified, the design type shall not be approved for further use. Respectively the use of pressure receptacles of this design type shall end depending on service history.

Note 5: If this assessment shows insufficient reliability of a sample of cylinders coming from production, there is currently no formal basis for a refusal of an approval if



Widerruf der Baumusterzulassung, sofern die anzuwendende Norm erfüllt ist. In diesem Fall sollte aber der Hersteller über den aufgedeckten Sicherheitsmangel informiert werden, um Verbesserungen in der Konstruktion vornehmen zu können.

the mandatory standard is fulfilled. But in this case the manufacturer shall be informed about the detected lack of safety and consider improvement of his design.

CAT 7 Die Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur (Anhang LCT)

(1) Alle Lastwechselprüfungen von lastwechselempfindlichen Baumustern sind in Übereinstimmung mit dem Anhang TP inkl. Teil LCT immer und unabhängig von der Anzahl der Lastwechsel bis zum Versagen durchzuführen.

(2) Wurde eine Stichprobe bereits im Rahmen der Bestimmung der Lastwechselfestigkeit bis 50.000 LW geprüft können die zugehörigen Lastwechselprüfungen, die nach 50.000 LW unterbrochen wurden, bis zum Versagen fortgesetzt werden.

(3) Ersatzweise kann auch eine neue vollumfängliche Stichprobe des gleichen Herstellungsloses bis Versagen geprüft werden. Nur die fehlende Anzahl von Prüfergebnissen durch neue Prüfungen bis zum Versagen zu ersetzen, ist nicht zulässig.

Bem. 6: *Das ausschließliche Ersetzen der Prüfmuster in einer Stichprobe, die nicht bis 50.000 LW versagt haben, durch eine Zufallsstichprobe neuer Druckgefäße, würde die Datenbasis für den Neuzustand statistisch verzerrt darstellen und damit die spätere Beurteilung der Alterung/Degradation verzerren.*

(4) Die Ergebnisse aller vollständig bis zum Versagen getesteten Stichproben, sind graphisch oder rechnerisch nach Anhang SAS auszuwerten.

(5) Die Anforderungen an die Ergebnisse der Lastwechselprüfung der Grundgesamtheit nach Kapitel CAT 3 sind in **Abb. 5** in Form der Linien konstanter Überlebenswahrscheinlichkeiten grafisch dargestellt.

CAT 7 Load Cycle Test at Ambient Temperature (Annex LCT)

All load cycles tests of cycle-fatigue-sensitive design types shall be performed in accordance with annex TP incl. part LCT and independently from the amount of load cycles continued until failure,

When a sample has already been tested within the tests for the determination of the load-cycle-sensitivity the load cycle tests, which were interrupted at 50 000 load cycles may be continued until failure.

Alternatively, a completely new composed sampled from the same production batch may be tested until failure.

The completion of sample testing until failure on the bases of a partial substitution of the samples is not acceptable.

Note 6: *The exclusive substitution of those specimens within a sample, which have not failed before 50.000 LCs by a random sample of new pressure receptacles would show a statistically blurred data base and would deform the later evaluation of degradation.*

The results of each sample completely tested to failure shall be evaluated graphically or calculated according to annex SAS.

Requirements concerning test results of the load cycle tests of the basic population in accordance to chapter CAT 3 are graphically displayed in **Fig. 5** by showing lines of constant survival rate.

(6) Das Arbeitsdiagramm **Abb. 5** fasst die Mittelwerte und Streuungen aus den Lastwechseleigenschaften zusammen und zeigt die maßgeblichen Linien konstanter Zuverlässigkeit ("Isoasfalia") für die Grundgesamtheit.

The sample performance chart **Fig. 5** summarises the mean value and the scatter of load cycle properties and shows relevant lines of constant reliability ("isoasfalia") for the basic population.

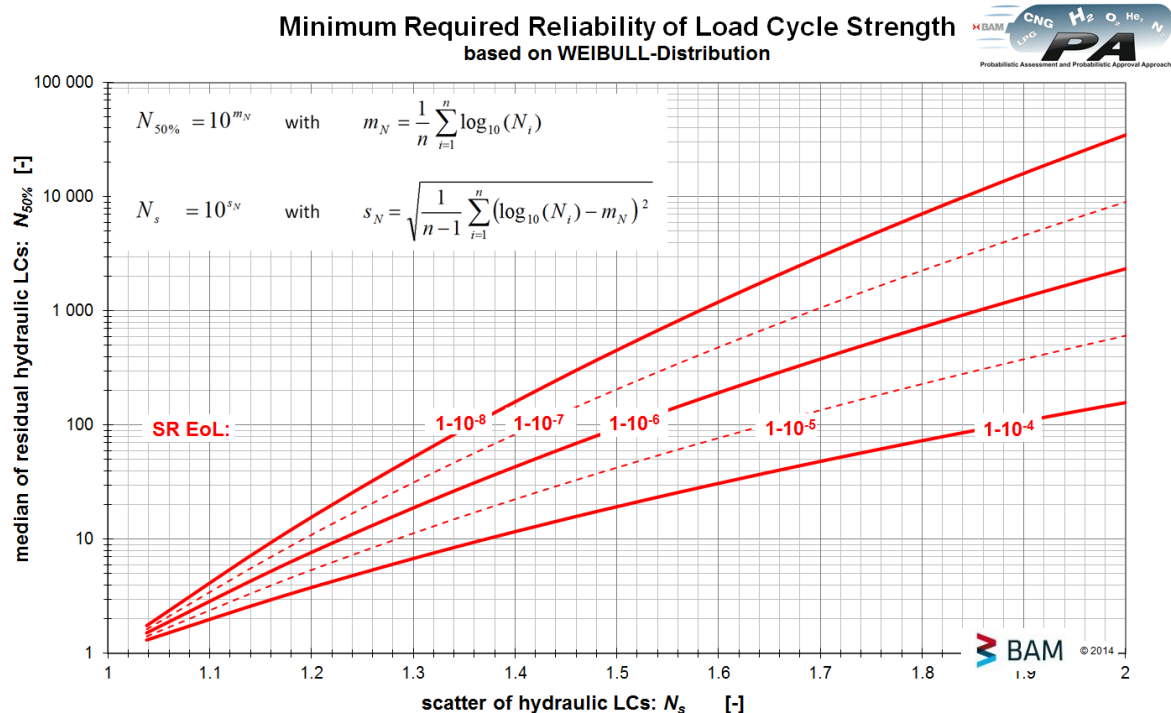


Abb. 5 Arbeitsdiagramm zur grafischen Auswertung der gesamten Population (unbegrenzte Stichprobengröße) für Prüfungen nach LCT

Fig. 5 Performance chart for a graphical assessment of whole population (unlimited sample size) tested by LCT

(7) Da die Eigenschaften der Grundgesamtheit nicht bekannt sind und nur mittels Stichprobenprüfungen abgeschätzt werden können, muss die stichprobenabhängige „Straffunktion“, wie in Anhang SAS beschrieben, hinzugefügt werden

Since the properties of a whole population are unknown and can just be estimated by sample testing, uncertainty margins ("penalty function") must be added as shown in Annex SAS.

(8) Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Stichprobe gemäß Anhang SAS muss größer sein als SR_{min} unter Berücksichtigung der Stichprobengröße und einem einseitigen Vertrauensniveau von 95%.

The sample survival rate acc. to annex SAS shall be higher than SR_{min} under the consideration of sample size and a unilateral confidence level of 95%.

(9) Erfüllt die Stichprobe die in **Tab. FR** angegebene Mindestüberlebenswahrscheinlichkeit nicht, kann auch in diesem Fall nachgearbeitet und die Stichprobe beliebig vergrößert werden. Es müssen

If the sample shows less than the required survival probability from **Table FR**, this sample size may be increased according to preferences or requirements, too. Like demanded in CAT 6

jedoch, wie zuvor schon in CAT 6 beschrieben, unabhängig von der Stichproben-größe immer alle Prüfergebnisse in die statistische Auswertung unmittelbar einfließen, es sei denn, es kann nachgewiesen werden, dass ein Anlagenfehler etc. vorliegt und der Frühausfall nicht auf das Prüfmuster zurückgeführt werden kann. Jeder Ausschluss von Prüfergebnissen oder Wiederholung von Prüfungen muss dokumentiert werden.

(10) Ist die Erfüllung der Anforderungen nach **Tab. FR** mit **Abb. 1** und **Abb. 5** nicht nachgewiesen, ist das Baumuster abzulehnen bzw. die Nutzung der Druckgefäße dieses Baumusters gleicher Historie oder älter zu beenden (s.o. Bem. 5).

all test results have to be included in the statistical assessment independent of sample size. A test results may only be removed in a case where malfunctioning equipment can be proven and failure caused by specimen performance can be excluded. Such an elimination of test results or test repetition shall be documented.

If the requirements from **Tab. FR** with **Fig. 1** and **Fig. 5** are not fulfilled, the design type must not be approved; respectively the use of pressure receptacles of this design type shall end depending on service history (see Note 5 above).

CAT 8 Klassifizierung der Lastwechselempfindlichkeit

(1) Gemäß **Abb. 2** beginnt die Sicherheitsbewertung nach diesem Konzept der zusätzlichen Prüfungen CAT mit der Ermittlung der Lastwechselempfindlichkeit, um die effizienteste der Methode SBT oder LCT als zentrale Prüfung („Schlüsselprüfung“) festlegen zu können.

(2) Zur Ermittlung der Lastwechselempfindlichkeit ist eine Stichprobe von Druckgefäßen in Übereinstimmung mit CAT 5 zusammenzustellen. Diese ist dann der Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur nach dem Anhang TP Teil LCT zu unterziehen,

(3) Hierbei darf die erstmalige Lastwechselprüfung jedes Prüfmusters nach 50.000 LW unterbrochen werden. Die Bedingungen für einen endgültigen Abbruch der Lastwechselprüfungen oder einer Weiterführung bis zum Versagen der gesamten Stichprobe richtet sich gemäß **Abb. 2** nach dem Ergebnis der Lastwechselempfindlichkeitsbeurteilung wie folgt.

(4) Das Baumuster wird als **lastwechsel-unempfindlich (non-cyfas)** eingestuft, wenn aus einer Stichprobe von wenigstens 5 Prüfmustern

CAT 8 Classifications of Cycle Fatigue Sensitivity

According to **Fig. 2** the safety assessment following this concept of additional tests CAT begins with the evaluation of the cycle fatigue sensitivity. This aims for the determination of the most efficient test method - SBT ore LCT - as key method.

For determination of the cycle fatigue sensitivity a sample of pressure receptacles shall be composed in accordance with CAT 5. This shall then be subjected to the load cycle test at ambient temperature according to Annex TP part LCT.

In case of initial load cycle testing of a design type each cycling of specimens may be interrupted at 50 000 load cycles. The conditions for a final abortion of cycle testing or for a continuation of interrupted cycling to failure of the whole sample are in line with **Fig. 2** dependent from their property with respect to cycle fatigue sensitivity as follows.

The design type is considered as being **non load-cycle-fatigue-sensitive (non-cyfas)** if none of a sample of at least 5 specimens fail up to

keines innerhalb von 50 000 Lastwechseln versagt. Sollte ein Prüfmuster der Stichprobe versagen, wird das Baumuster als **lastwechselempfindlich (cyfas)** bezeichnet.

Bem. 7: *Im Fall metallischer Liner ist in der Regel von einem lastwechselempfindlichen (cyfas) Baumuster auszugehen; im Fall von Carbonfaser mit Kunststoffliner dagegen von lastwechselunempfindlichem (non-cyfas) Verhalten.*

(5) Die Lastwechselempfindlichkeit kann vom Alterungszustand der Druckgefäße eines Baumusters abhängen. Entsprechend ist diese Einstufung auf das jeweils der Stichprobe zugrundeliegende Alter und die zugehörige Belastungshistorie beschränkt.

Die Einstufung darf nicht unmittelbar auf andere Alters- oder Belastungszustände übertragen werden und muss grundsätzlich bei jeder Re-Evaluierung eines Baumusters wiederholt nachgeprüft werden.

Bem. 8: *Im Fall von Linern aus Kunststoff muss darauf geachtet werden, dass es trotz formaler Lastwechselunempfindlichkeit im Neuzustand alterungs- und temperaturbedingt nach wenigen Jahren zu Undichtigkeit (Leck) in der Liner-Boss-Anbindung oder im Liner kommen kann.*

(6) Die wiederholte Beurteilung der Lastwechselempfindlichkeit auf Basis von weniger als 5 Prüfmustern ist in Abstimmung mit der zuständigen Behörde bei Erfüllung aller folgenden Bedingungen a), b), c) und d) zulässig.

- a) Bei dem Baumuster handelt es sich um eine Großflasche oder ein anderes Composite-Druckgefäß, das fest verbaut wird.
- b) Das Baumuster ist aufgrund seiner Werkstoffkombination und Bauweise und der vorliegenden Erfahrung mit vergleichbaren Baumustern/Varianten zweifelsfrei bzgl. cyfas oder non-cyfas klassifizierbar.
- c) Es gibt keine Hinweise aus der Praxis, dass es zu Undichtigkeit oder zu anderen

50 000 load cycles. If a specimen of the sample fails, the design type is considered as being **load-cycle-fatigue-sensitive (cyfas)**.

Note 7: *In case of design types with a metallic liner a cycle-fatigue-sensitive behaviour is usually expected; in case of carbon fibre with plastic liner usually a non-cycle-fatigue-sensitive behaviour is expected.*

The cycle-fatigue-sensitivity may depend on the age of the tested sample and the known history of population that is represented by the sample(s). Consequently it is limited to groups of the same age and load history.

It shall not be directly used for other conditions of age or service loads. For this reason, the load cycle sensitivity should be reassessed during every re-evaluation of a design type.

Note 8: *In the case of plastic liners, it must be considered that leakage in the liner-boss connection or in the liner can occur after a few years of use due to aging and temperature, despite a formal non-cycle-fatigue-sensitivity at BoL.*

The repetition of the cycle-fatigue-sensitivity assessment based on less than 5 test specimens is permitted with the approval of the competent authority, if all of the following conditions a), b), c) and d) are met.

- a) The design type is a tube or another composite pressure receptacle, which is permanently mounted.
- b) The design type is doubtless classifiable with regard to cyfas or non-cyfas, due to its combination of materials, its construction and experience with comparable designs/design variants.
- c) There is no evidence that leakage or other failures occur in a manner deviating from



Versagensformen kommt als zu den in der ursprünglichen Klassifizierung als erstes Versagen beschrieben. Eine Bestätigung durch den Hersteller ist erforderlich.

- d) Die Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen (siehe CAT 8(1), SBT und LCT) werden unmittelbar nach Abschluss des Prüfprogramms dem Hersteller zur Verfügung gestellt.

(7) Zusätzlich zur festgelegten Schlüsselprüfung einer Stichprobe (s. CAT8(1)) muss spätestens nach 15 Jahren Betrieb ein Prüfmuster je 1000 Druckgefäße einer Population auf Restfestigkeit mit der jeweils anderen Methode einer Schlüsselprüfung geprüft; d.h. mit LCT bis 50.000 LW im Fall der Klassifizierung als „non-cyfas“ bzw. mit SBT im Fall der Klassifizierung als „cyfas“.

(8) Liegt eine abgeschlossene Klassifizierung eines vergleichbaren Baumusters/einer Variante des gleichen Herstellers vor, kann das Ergebnis dieser Klassifizierung im Einzelfall in Abstimmung mit der zuständigen Behörde für eine vergleichbare Stichprobe (vergleichbare Historie der Population bzw. vergleichbare Verwendung der Druckgefäße mit späterem Produktionsdatum) übernommen werden. Hierzu müssen die Anforderungen gem. CAT 8 (6) abgesehen von CAT 8 (6) a) eingehalten sein.

the description of first failures in the original classification. A confirmation by the manufacture is required.

- d) The test results carried out (see CAT 8(1), SBT and LCT) shall be made available to the manufacture immediately after completion of the test program.

In addition to the key testing of a sample (see CAT 8(1)), a single test specimen each 1000 pressure receptacles of the population is tested for its residual strength not later than 15 years of operation with the respectively other test method; i.e. with either LCT up to 50,000 LW in case of a "non-cyfas" or with SBT in the case of a "cyfas" classification.

If a completed classification of a comparable design type / design variant of the same manufacturer is available, which is based on a comparable sample description (comparable history of the population respectively comparable usage of pressure receptacles produced later) the result of this classification may be transferred without carrying out the above mentioned tests to its full extend. For this purpose, the requirements of CAT 8 (6) disregarding CAT 8 (6) a) shall be met.

CAT 9 Interpretation der Prüfergebnisse (Anhang SAS)

(1) Im Rahmen des in **Abb. 2** dargestellten Verfahrens CAT wird auf Basis entsprechender Stichprobenprüfungen (LCT und/oder SBT) eine Abschätzung der Zuverlässigkeit von Composite-Druckgefäßen zu einem von der Vorgeschichte (Historie) abhängig definierten Zustand durchgeführt werden.

(2) Gibt es pro Art der Festigkeitsprüfung (SBT oder LCT) Auswertungen von zwei oder idealerweise drei Stichproben unterschiedlichen Alters (z. B. neu, nach 15 und nach 30 Jahren Betrieb), kann fundiert

CAT 9 Interpretations of Test Results (Annex SAS)

Within the procedure CAT presented in **Fig. 2** an estimation of reliability of the investigated composite pressure receptacles is done. This is based in available sample test results and the current conditions depending from the loading history.

If there are evaluation results available for two or better three different aging conditions (i.e. new, after 15 years, after 30 years) per strength test (SBT or LCT) of the population of a pressure



abgeschätzt werden, wie stark ein Baumuster im Betrieb degradiert. Daraus lassen sich Hinweise ableiten, ob die Druckgefäße dieses Baumusters das gekennzeichnete Lebensende in einem sicheren Zustand erreichen werden.

(3) Das hier beschriebene Verfahren CAT erfüllt die Anforderungen an Prüfprogramme zur Bestimmung der Betriebsdauer gemäß Bem. 2 aus 6.2.2.1.1 der UN Modellvorschriften. CAT entspricht auch den neuen Definitionen und Anforderungen, die mit der 19. überarbeiteten Ausgabe der UN Modellvorschriften eingeführt wurden.

(4) Ist die Erfüllung der Sicherheitsanforderungen gemäß CAT 3 (Zuverlässigkeit) nachgewiesen, kann nach 6.2.2.1 in Verbindung mit der Bemerkung in ADR/RID/IMDG-Code 6.2.2.7.4 die vorläufige Begrenzung der Betriebsdauer auf 15 Jahre aufgehoben bzw. verlängert werden. Die genehmigte Betriebslebensdauer darf weder die Auslegungslbensdauer überschreiten noch über den Zeitpunkt hinaus verlängert werden, für den auf Basis der Degradation der Zuverlässigkeit zu erwarten ist, dass Sicherheitsanforderungen (Zuverlässigkeit) aus CAT 3 nur mehr knapp/gerade nicht mehr erfüllt werden.

(5) Das Verfahren, nach dem diese vergleichende Beurteilung von Stichproben unterschiedlichen Alters erfolgen kann, ist derzeit als Stand von Wissenschaft und Technik (SWT) einzustufen. Damit ist es noch nicht unmittelbar in Form eines festgelegten Verfahrens im Sinne des Standes der Technik (ST) beschreibbar und sollte von der jeweils zuständigen Behörde zunächst auf wissenschaftlicher Ebene durchgeführt werden.

receptacle a well-founded estimation of the design type's degradation is possible. This can result in evidence whether pressure receptacles of this design type may reach the end of their service life in a safe condition.

The procedure CAT described here is in line with the requirements for service life test programmes as described in the current Notes 2 in 6.2.2.1.1 and 6.2.2.1.2 of UN Model Regulations. CAT reflects already the new definitions and requirements introduced with the 19th revised edition of the UN Model Regulations.

In case of proven compliance with the safety requirements (reliability) according to CAT 3, the initial limitation of 15 years of service life time can be lifted or extended according to 6.2.2.1 in conjunction with the Note in ADR/RID/IMDG-Code 6.2.2.7.4. The service life time herewith accepted shall neither exceed the design life time nor the point of life at which the safety might go under the reliability requirements of CAT 3 due to degradation.

This procedure, which employs a comparing assessment of samples of different ages from a population, may be considered as current state of science and technology (SST). It cannot be described in a fixed procedure as it is common for the state of the art (SA). For this reason it should be performed by the competent authority on a scientific level until further notice.

CAT 10 Klassifizierung des Leck-vor-Bruch-Verhaltens (LvB)

(1) Diese Klassifizierung zielt auf das Gestatten der Erfüllung reduzierter Anforderungen bzgl. der Zuverlässigkeit gegen erstes Versagen in Form von

CAT 10 Classification of leak-before-break behaviour (LBB)

This classification aims for the permission of reduced requirements concerning the reliability against first failure under the operational conditions described in CAT 3.



Leckage unter den in CAT 3 beschriebenen Voraussetzungen.

Bem. 9: In Fällen für die erwartet wird, dass ein Gasaustritt wahrscheinlich keine weiteren Konsequenzen nach sich zieht, bedeutet ein Leck einen Funktionsausfall, aber keinen Risiko-erhöhenden Beitrag und kann daher auch als Risiko-senkenden Aspekt betrachtet werden: In Fällen sicherer Leckage-bedingter Druckabfälle kann es im Nachgang des ersten Versagens nicht mehr zum Totalversagen kommen.

(2) Das Leck-vor-Bruch Kriterium (LvB; oder besser "Leck vor Bersten") gilt als erfüllt, wenn die folgenden Eigenschaften auf Basis der Überlebenswahrscheinlichkeit SR oder Fehlerrate FR nachgewiesen sind (siehe Anhang SAS):

- a) Das Baumuster ist als lastwechselempfindlich gemäß CAT 8 klassifiziert.
- b) In den Lastwechselprüfungen hat keines der Prüfmuster durch Bersten anstelle von Leckage versagt.
- c) Es gibt auch keine Hinweise auf ein (Teil-) versagen des Faserverbundwerkstoffs vor oder während der Leckage in hydraulischen oder pneumatischen Lastwechselprüfungen.
- d) Die Ergebnisse bezüglich der Überlebenswahrscheinlichkeit SR oder Fehlerrate FR ($FR = 1 - SR$) aus der Prüfung gemäß CAT 6 (Berstfestigkeit) liegen für dieses Baumuster vor.
- e) Zusätzlich liegen mindestens 3 Ergebnisse aus Berstprüfungen des Liners vor (vergl. „BT liner“ in Abb. 3).
- f) Auf Basis der Berstergebnisse für das Druckgefäß und für den Liner kann die Überlebenswahrscheinlichkeit der Composite-

Note 9: In case of plastic liners, for which it is considered that a gas release will probably not cause further consequences, leakage means loss of functionality but no increase of risk. In this case LBB may be considered having a risk-reducing aspect: In cases of leakage caused but safe gas release it means a decrease of pressure and the avoidance of total rupture i.e. the worst case failure.

The LBB-criterion ("leak-before-break" or better "leak-before-burst") is considered fulfilled for pressure receptacles of a certain design type and service history if the following properties are proven on the basis of survival rate SR or failure rate FR (see annex "SAS"):

- a) The design is classified as load-cycle-fatigue-sensitive in line with CAT 8.
- b) None of the load cycle tests has caused a rupture before leakage.
- c) There are no hints for a (partly) failure of the composite before or during the leaking phase in hydraulic or pneumatic cycle tests.
- d) Results concerning survival rate SR or failure rate FR ($FR = 1 - SR$) are available according to CAT 6 (burst strength) for the design type.
- e) Additionally there are at least 3 test results available from liner burst tests (cf. "BT liner" in Fig. 3)
- f) On the basis of burst test results for the pressure receptacle and the liner, the survival rate of the composite wrapping can be estimated for the case of leakage by:

Armierung im Fall einer Leckage abgeschätzt werden mit⁴:

$$SR_{comp} = SR_{BT} (p^*) > 99\% \quad \text{mit / with} \quad p^* = MSP + \max(p_{linerburst}) \quad \text{Eq. CAT-2}$$

- g) Ist der Wert SR_{comp} mindestens 99% und sind alle vorgenannten Bedingungen erfüllt, gilt LvB als nachgewiesen.

Bem. 10: Liegt der Wert der Überlebenswahrscheinlichkeit SR bzw. der Ausfallwahrscheinlichkeit FR ($FR = 1 - SR$) aus der Prüfungen gemäß CAT 7 (Lastwechsel-festigkeit LCT) für das Baumuster vor, kann ein Verhältnis der Fehlerrate FR_{LCT} zur FR_{SBT} aus den langsamen Berstprüfungen (CAT 6) von mehr als 100 als weiteres Indiz für ein L-v-B-Verhalten gewertet werden:

- g) A sufficient LBB-property seems to be demonstrated if the value SR_{comp} is at least 99% and all other already mentioned requirements are met:

Note 10: If the results concerning survival rate SR or failure rate FR ($FR = 1 - SR$) are available according to CAT 6 (burst strength SBT) and CAT 7 (cycle strength LCT) for the design type, a ratio of FR_{LCT} to FR_{SBT} of at least 100 can be understood as an additional hint for LBB behaviour:

$$FR_{LCT} / FR_{SBT} \geq 100.$$

Eq. CAT-3

CAT 11 Überwachung der Streuung in der Produktion (Anhang SAS)

Die Produktionsüberwachung hat zwei Sicherheitsaspekte: Zum einen geht es um die Beurteilung der Herstellungslose im Hinblick auf Produktionsfehler (Übereinstimmung mit dem Baumuster), zum anderen geht es um die Überwachung der statistischen Abweichungen der Druckgefäßseigenschaften innerhalb eines definierten Produktionszeitraumes (Aussagekraft der Zuverlässigkeitswerte). Zeigen sich hier keine signifikanten Abweichungen, können ggf. Lebensdauerbeurteilungen früherer Produktionszeiträume verwendet werden. Dies reduziert den Prüfaufwand.

Bem. 11: Dies ist ein Aspekt zur Vereinfachung der Aufhebung von Lebenszeitbegrenzungen. Herstellungslose, die in Übereinstimmung mit CAT erstmalig beurteilt wurden, bilden die Basis für nachfolgende Festigkeitsbetrach-

CAT 11 Surveillance of Production Scatter (Annex SAS)

The surveillance of production has two safety related aspects. One is the assessment of each production batch with respect to a manufacturing failure (compliance with the design type). The other is the surveillance of statistical properties of pressure receptacles produced in a dedicated period of time (validity of reliability value). In case of no significant changes of these properties, life time assessment results from pressure receptacles produced in preliminary periods may be taken in consideration and reduce test effort.

Note 11: This is an aspect of simplification for lifting of the service life limitations. The production batches, which were assessed in accordance with CAT initially, are the base for assessment of following strength

⁴ Für p^* sollte 130% MSP erwartet werden. / Usually p^* is expected not to be lower than 130% MSP.



tungen und Beurteilung der Degradation. Dies ist aufgrund der kurzen Produktionszeiträume eine nötige Voraussetzung. Nur in Ausnahmefällen ist mit der unveränderten Herstellung eines Baumusters von mehr als 10 Jahren zu rechnen. Daher wird meist die Produktion des Baumusters abgeschlossen sein, bevor z.B. die 15-Jahresfrist nach UN-Bemerkung 2 wirksam wird.

behaviour and degradation assessment. This condition is necessary due to relatively short production periods. Only in exceptional cases it is expected to see a production of an unchanged design type for more than 10 years. For this reason in most cases the production will be finished before e. g. the 15 years period of UN- Note 2 becomes relevant.

CAT 11.1 Herstellungslose

Zusätzliche Anforderungen für die Losprüfungen:

(1) Eins von tausend hergestellten Druckgefäßen, mindestens jedoch 5 pro Jahr, müssen zufällig aus der Produktion für weitere Prüfungen entnommen werden. Die Wahl der Prüfung hängt von der Klassifizierung gemäß CAT 8 ab, im Fall von lastwechselempfindlichen (cyfas) Baumustern ist LCT anzuwenden und im Fall von lastwechselunempfindlichen (non-cyfas) Baumustern ist SBT anzuwenden.

Bem. 12: Im Fall grenzwertiger L-v-B-Eigenschaften wird empfohlen, die erstmalige Klassifizierung der Lastwechsel-empfindlichkeit gemäß CAT 8 jährlich mit einer zusätzlichen, der Produktion zufällig entnommenen Stichprobe zu überprüfen, die nicht Inhalt der Losprüfungen sind.

(2) Jedes einzelne Prüfergebnis sollte größer sein als der Mittelwert der Stichprobe aus den erstmaligen Prüfungen minus dem zweifachen Wert des dort ermittelten Streuwertes:

Berstprüfung (s. Anhang SAS 3.1)

CAT 11.1 Production Batches

Additional requirement for batch testing of production:

One pressure receptacle per 1000 produced, but at least 5 per annual production have to be taken randomly out of the production for further testing. The test to be used depends on the classification in accordance with CAT 8: In case of a cyfas-design type the LCT shall be used; in case of a non-cyfas design type the SBT shall be used.

Note 12: In case of a borderline LBB-property, we recommend to check the initial classification concerning cycle fatigue sensitivity according to CAT 8 annually by a complementary sample of cylinders randomly picked out production. This sample should be tested according to CAT 8 and is not part of batch testing.

Each result of an individual test should be higher than the mean value of the initial sample minus two times of the initial scatter value:

burst test (s. annex SAS 3.1)

$$p_{batch} \overset{!}{>} m_{pB} - 2s_{pB} \qquad \text{Eq. CAT-4}$$

Lastwechselprüfung (s. Anhang SAS 3.1)

load cycle test (cf. annex SAS 3.1)

$$N_{batch} > 10^{m_{\log N} - 2s_{\log N}}$$

Eq. CAT-5

- | | |
|--|---|
| <p>A) Werden diese Anforderungen von einem Prüfungsergebnis nicht erfüllt aber die zugehörige Prüfung auf zufriedenstellende Weise durchgeführt, muss die Ursache hierfür identifiziert werden oder das Herstellungslos für den beabsichtigten Zweck unbrauchbar gemacht werden.</p> <p>B) Ist der Grund für das Versagen identifiziert, ist eine weitere Stichprobe von drei Druckgefäßen in der gleichen Art zu prüfen wie das fehlerhafte Druckgefäß. Erfüllt jeder dieser Prüflinge die Anforderungen, kann das Herstellungslos freigegeben werden.</p> <p>C) Ist der Grund für das Versagen identifiziert und erfüllen eins oder mehr von diesen drei Druckgefäßen nicht die zugehörigen Gleichungen CAT-1 oder CAT-2, kann das gesamte Produktionslos in Bezug auf die statistische Auswertung wie ein neues Baumuster oder eine Baumustervariante gesondert behandelt werden. In diesem Fall kann die weitere Produktion keine Vorteile aus den vorangegangenen Sicherheitsbeurteilungen nutzen. Anderenfalls ist das Herstellungslos für den vorgesehenen Zweck unbrauchbar zu machen.</p> | <p>A) If a test result does not meet this requirement and the test has been carried out in a satisfactory manner, the cause of test failure shall be identified or the batch shall be rendered unserviceable for the intended purpose.</p> <p>B) If the cause of failure is identified, a sample of three pressure receptacles shall be tested in the same way as the not passed pressure receptacle. If each specimen of this sample meets the requirement, the production batch may be reclaimed.</p> <p>C) If the cause of failure is identified and one or more of these three pressure receptacles does not meet the relevant Eq. CAT-1 or CAT-2, the whole production batch may be treated with respect to statistical assessment separately in the manner requested for a new design/design variant. In this case, the further production cannot take advantage from the preliminary safety assessments. Otherwise the batch shall be rendered unserviceable for the intended purpose.</p> |
|--|---|

CAT 11.2 Jahresproduktion

(1) Alle Prüfergebnisse aus den SBT- und LCT-Herstellungslos-Prüfungen, die innerhalb von 12 Monaten aus der Produktion gesammelt wurden, sollen statistisch analysiert und gemäß SAS bewertet werden. Das Ergebnis soll zeigen, dass jede innerhalb eines Jahres produzierte Population von Druckgefäßen, das gleiche minimale Niveau der Überlebenswahrscheinlichkeit zum Nutzungsbeginn (BoL – Beginning of Life) aufweist wie bei den erstmaligen Prüfungen.

CAT 11.2 Annual Production

All test results from SBT- and LCT-production batch testing collected during 12 month of production shall be assessed by statistical analysis in accordance with SAS. The result shall demonstrate that each annually produced population of pressure receptacles shows the same minimum level or BoL-survival rate (BoL: Beginning of Life) as demonstrated initially.

(2) Liegen die Überlebenswahrscheinlichkeiten der jährlichen Prüfergebnisse unterhalb der Werte aus den erstmaligen Prüfungen nach SBT oder LCT, müssen weitere Maßnahmen getroffen werden.

D) Überprüfung der Signifikanz der Abweichung zwischen erstmaliger Stichprobe und Losprüfungsstichprobe (Parametertest in Übereinstimmung mit SAS 3.3). Zeigt die Stichprobe aus der Losprüfung signifikant größere Streuungen oder signifikant kleinere Mittelwerte, sind E) oder F) anzuwenden.

E) Entweder kann die Übereinstimmung mit dieser Anforderung durch eine Erhöhung der zufällig entnommenen Proben für weitere Werte der entsprechenden Jahresproduktion erreicht werden,

F) oder die Druckgefäße aus der entsprechenden Jahresproduktion müssen in Bezug auf die statistische Auswertung gesondert, wie ein neues Baumuster oder eine Baumustervariante, behandelt werden und es kann bei der Re-Evaluation der Druckgefäße kein Vorteil aus dem ersten Jahr der Produktion genutzt werden.

If test results show a survival rate lower than the initial value of SBT- or LCT-assessment further measures shall be taken:

D) Check significance of deviation between initial sample and batch sample (parameter test in compliance with SAS 3.3). If the batch sample shows a significantly higher scatter or significantly lower mean value, then go ahead with E) or F).

E) Either the conformity with this requirement can be demonstrated by an increase of the number of randomly taken specimens for further data on the relevant annual production;

F) or the composite pressure receptacles from relevant annual production shall be treated separately, with respect to statistical assessment as necessary for a new design/design variant and cannot take advantage from the re-evaluation of the cylinders from the first year of production.

CAT 12 Bestimmung des Endes der sicheren Betriebsdauer

(1) Die Bestimmung des Endes der sicheren Betriebsdauer nach dieser GGR bzw. dem Konzept zusätzlicher Prüfungen (CAT) basiert auf der Bewertung von Stichproben verschiedenen Alters nach **Abb. 2**.

(2) Die vergleichenden Betrachtung dieser Bewertungen der Sicherheit unterschiedlicher Betriebsalter (z.B. neu, nach 7 und nach 14/15 Jahren) ist schematisch in **Abb. 6** (aus [1]; engl. Fassung) dargestellt.

(3) Innerhalb des Zeitraums der bereits abgeprüften Alterszustände kann die Degradation der Überlebenswahrscheinlichkeit SR interpoliert werden. Darüber hinausgehend muss die Alterung

CAT 11 Determination of the End of Safe Service Life

The determination of the end of the safe service life time according to this GGR respectively the concept of additional tests (CAT) is based upon the evaluation of samples of different ages, as shown in **Fig. 2**.

The comparing assessment of these evaluations of safety at different points of service life (e.g. new, after 7 and after 14/15) is schematically displayed in **Fig. 6** (taken from [1]).

The degradation of the survival rate SR can be interpolated within the already examined period of service life. Beyond this, aging must be extrapolated until the end of the design life

auf Basis der vorliegenden Daten aus zwei, dann drei und später ggf. mehr Stichprobenprüfungen bis zum Ende der Auslegungslbensdauer extrapoliert werden.

(4) Die Inter- wie auch die Extrapolation erfolgt nach [1] am besten durch die getrennte Betrachtung der beiden Stichprobeneigenschaften „Mittelwert“ und „Streuung“. Die Kombination beider Werte für jede betrachtete Betriebslebensdauer ergibt dann die gesuchte Abschätzung des Verlaufs der Überlebenswahrscheinlichkeit SR, wie er in **Abb. 6** dargestellt ist.

Bem. 13: Damit ist das Verfahren für die Festlegung der sicheren Betriebsdauer/Restlebensdauer geeignet. Entsprechend kann es auch für die Festlegung von auf die Lebensdauer abgestimmten Fristen für die wiederkehrende Prüfung herangezogen werden. Letzteres ist insbesondere bei Prüf Fristen von mehr als 5 Jahren von Bedeutung.

on the basis of the test data available from two, then three, and later, if necessary, more samples.

According to [1], the interpolation as well as the extrapolation is best done by the separate consideration of the two sample properties "mean value" and "scatter". The combination of both values for each considered point of service life yields the aimed estimation of the survival rate SR as shown in **Fig. 6**.

Note 13: Therefore, this procedure is appropriate for the determination of the safe service life/residual life. Consequently, it is appropriate for the determination of suitable retest periods adapted to the expected service lifetime. The last is especially important in case of retest periods longer than 5 years.

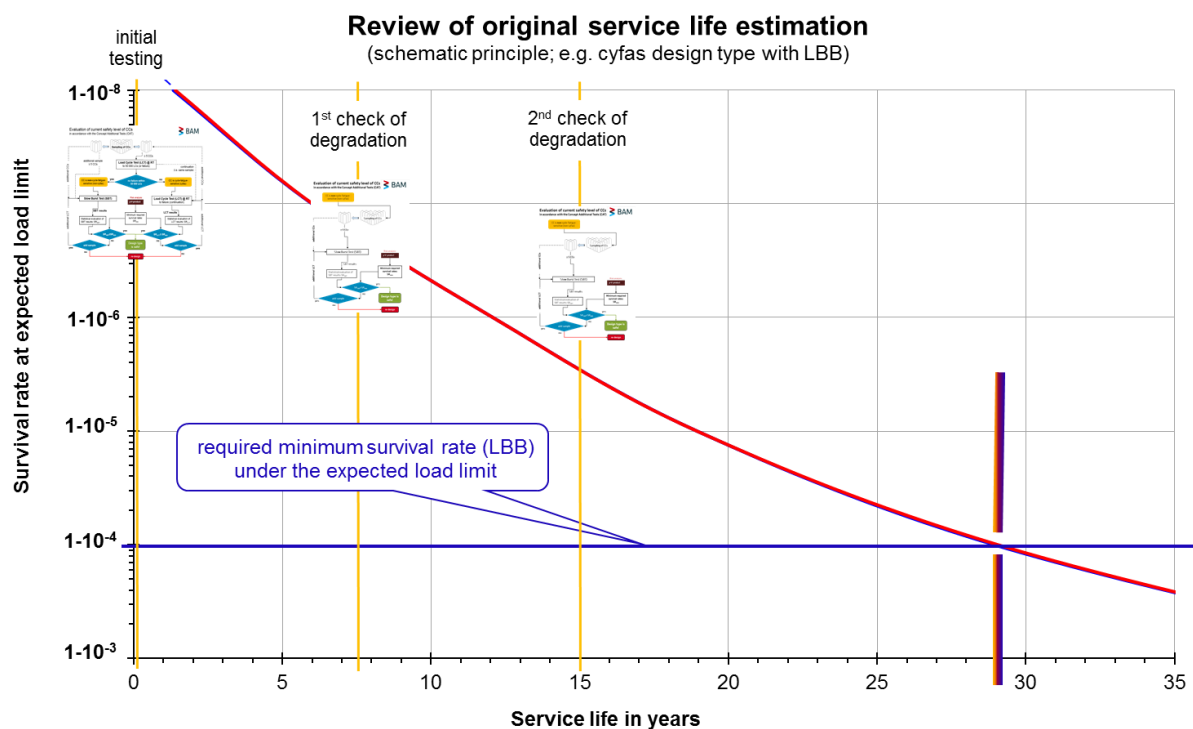


Abb. 6 Prinzip der Degradation der Überlebenswahrscheinlichkeit und deren Extrapolation auf Basis des Vergleiches von drei Stichprobenprüfungen pro Festigkeitsmerkmal (aus [1])

Fig. 6 Principle of the degradation of the survival probability and its extrapolation on the basis of the comparison of three sample tests per strength characteristic (from [1])



(5) Das Ende des sicheren Betriebes ist für eine Population von Druckgefäßen zu dem Zeitpunkt erreicht, zu dem die anhand für diese Population repräsentativer Stichproben ermittelter Verlauf der Überlebenswahrscheinlichkeit nicht mehr über dem gemäß CAT 2 geforderte Mindestwert liegt.

(6) Die Weiterverwendung gemäß ADR/RID/IMDG-Code 6.2.2.1.1 und 6.2.2.1.2 Bem. 2 darf weder über die zugelassene Auslegungsliebendauer hinaus genehmigt werden, noch über das Ende des sicheren Betriebes hinaus,

(7) Die sichere Betriebslebensdauer ist im Gegensatz zur zugelassenen Auslegungsliebendauer immer begrenzt.

(8) Die nach dieser GGR durchgeführte Bestimmung der sicheren Betriebslebensdauer kann auf alle Teile einer Population einer Baumuster-Variante angewendet werden, für die Nachfolgendes erfüllt ist:

12(8) a. Die Überwachung der Produktion nach CAT 11 ist gewährleistet und alle Ergebnisse belegen die Übertragbarkeit der ermittelten Eigenschaften auf alle relevanten Teile der Produktion bzw. Population.

12(8) b. Es ist sichergestellt, dass die Eigenschaften aller für die Überwachung der Alterung nach CAT 12 (1) bis (6) erforderlichen Stichproben von allen nach CAT 5 einbezogenen Eigentümern/ Betreibern gemeinsam und lückenlos erarbeitet und beachtet werden.

The end of safe service life is reached for a population of pressure receptacles at the point of time when the course of the survival rate determined for the samples representative for the population is no longer above the minimum value required according to Chapt. CAT 2.

The service life of a composite pressure receptacle according to ADR / RID / IMDG-Code 6.2.2.1.1 and 6.2.2.1.2 Note 2 shall not be extended beyond the approved design life or beyond the determined end of safe service life.

In opposite to the approve design life, the safe service life is always limited.

The determination of safe service life in accordance with this GGR may be applied to all parts of a population of a design variant, to which the following is valid:

12(8) a. The surveillance of production according to CAT 11 is ensured and all test results confirm the transferability of the determined properties to all relevant parts of the production respectively population.

12(8) b. It is ensured that the properties of all samples required in accordance with CAT 12(1) to (6) are commonly elaborated and consistently respected by all owners/operators as described in CAT 5.



Literatur

deutschsprachig

- [1] Mair, Georg W.: **Sicherheitsbewertung von Composite-Druckgasbehältern - Potential statistischer Methoden jenseits aktueller Vorschriften**;
Berlin, Heidelberg: Springer-Vieweg 2016.
- [2] Mair, G. W.; Scherer, F.:
Statistische Bewertung von Prüfergebnissen zur Restfestigkeitsbetrachtung von Composite-Druckgefäßen;
Technische Sicherheit (TS) Bd. 3 (2013), Nr. 7/8 (Juli/Aug.), S. 41 - 49.
- [3] Becker, B.; Mair G. W.:
Einfluss der Stichprobengröße auf die Bewertung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Druckgefäßen aus Verbundwerkstoffen;
Technische Sicherheit (TS) Bd. 4 (2014), Nr. 7/8 (Juli/Aug.),
- [4] Mair, G. W., Duffner, E.; Schoppa, A., Szczepaniak, M.: **Betrachtung von Grenzwerten der Restfestigkeit von Composite-Druckgefäßen - Teil 3: Phänomene der Berstprüfung**
Technische Sicherheit (TS) Bd. 2 (2012), Nr. 11/12 (Nov./Dez.) (2012); S. 43-50

Alle BAM-Dokumente und ihre evtl. überarbeiteten Versionen sind veröffentlicht unter:

www.tes.bam.de/de/

Literature

comparable content in English language

- [1] Mair, Georg W.: **Safety Assessment of Composite Cylinders for Gas Storage by Statistical Methods: Potential for Design Optimisation Beyond Limits of Current Regulations and Standards**,
London: Springer Ltd. 2017.
- [2] Mair, G. W.; Hoffmann, M.:
Statistic Evaluation of Sample Test Results to Determine Residual Strength of Composite Gas Cylinders;
MP Materials Testing, Volume 55 (2013) No 10, p. 728 - 736;
- [5] Mair, G. W.; Hoffmann, M.; Schönfelder, T.:
The Slow Burst Test as a Method for Probabilistic Quantification of Cylinder Degradation;
proceedings of the „International Conference on Hydrogen Safety ICHS 2013“,
- [6] Mair, G. W., Hoffmann, M., Scherer, F., Schoppa, A., Szczepaniak, M.: **Slow Burst Testing of Samples as a Method for Quantification of Composite Cylinder Degradation**; Elsevier: International Journal of Hydrogen Energy; Vol. 39 (2014), Issue 35, p. 20522 - 20530

All BAM-documents and their eventually revised versions are published under:

www.tes.bam.de/en/



Technischer Anhang TP

Technical Annex TP

Technischer Anhang „Prüfverfahren“

Verfahren zur Prüfung von Druckgefäßen aus Verbundwerkstoffen mit besonderem Fokus auf die statistische Auswertung der Prüfergebnisse

für die Bestimmung der momentanen Überlebenswahrscheinlichkeit und der sicheren Betriebslebensdauer von Druckgefäßen aus Verbundwerkstoffen

Technical Annex “Test Procedures”

Procedure for testing composite pressure receptacles with special focus in the statistical assessment of test results

for assessment of current survival rate and safe service life of composite pressure receptacles

Inhalt

TP 1	Einführung
TP 2	Allgemeine Anforderungen - Datenaufzeichnung
SBT	Die langsame Berstprüfung
SBT 1	Datenaufzeichnung
SBT 2	Durchführung der Berstprüfung
LCT	Hydraulische Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur
LCT 1	Datenaufzeichnung
LCT 2	Prüfprozedur - allgemeine Anforderungen

Content

Introduction	TP 1
General Requirements - Data Recording	TP 2
Slow Burst Test SBT	SBT
Data Recording	SBT 1
Performance of the burst test	SBT 2
Hydraulic Load Cycle Test at ambient temperature	LCT
Data Recording	LCT 1
Test Procedure - General Requirements	LCT 2



TP 1 Einführung

Nachfolgend sind Konkretisierungen von Freiräumen ausgeführt, die in mandatierten Normen zur Berstprüfung und zur Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur gegeben sind.

Diese Konkretisierungen sind anzuwenden, wenn die Prüfergebnisse der statistischen Bewertung einer Stichprobe von Bau- bzw. Prüfmustern dienen sollen.

TP 1 Introduction

Below concretisations of freedom in the performance of test procedures are explained, which are given in mandated standards concerning burst test and load cycle test at ambient temperature.

These concretisations shall be applied, whenever test results are intended to serve the statistical evaluation of a sample of cylinders from a design type.



TP 2 Allgemeine Anforderungen

Datenaufzeichnung

TP 2.1 Folgende Daten zur Identifikation und Beschreibung jeden Prüfmusters sind zu protokollieren:

- (1) Name desjenigen, der das Prüfmuster identifiziert; Datum der Identifikation des Prüfmusters
- (2) Baumusterzulassungsnummer und die Stelle, die die Zulassung erteilt hat;
- (3) Hersteller der Druckbehälter (Adresse) und Hersteller ID;
- (4) Behältertyp;
- (5) Betriebsdruck (PW), Prüfdruck (PH); bei Zulassung für ein bestimmtes Gas auch den MSP (MAWP);
- (6) Faser- und Linerwerkstoff;
- (7) Einmalige Identifikationsnummer jedes Prüfmusters;
- (8) Herstellungsdatum oder Losnummer jedes Baumusters;
- (9) Angaben zu einer evtl. künstlichen Alterung/Vorkonditionierung jedes Prüfmusters;
- (10) Angaben zur Verwendung jedes Prüfmusters, sofern bekannt (Gaseart, Zahl der Füllzyklen etc.; Einsatzbedingung (z. B. Land der Nutzung).

TP 2 General Requirements

Data Recording

TP 2.1 The following data shall be kept on file for identification and description of tested specimens:

- (1) Name of test engineer identifying the specimen; date of identification of the specimen
- (2) Design type approval ID and third party, which issued the approval;
- (3) Manufacturer of pressure receptacle (address) and manufacturer ID;
- (4) Type of pressure receptacle;
- (5) Working pressure (PW), test pressure (PH); MSP (MAWP) in case of approval for a dedicated gas – if applicable
- (6) Material of fibre and liner;
- (7) Unique identification number of each specimen;
- (8) Date of manufacturing or batch number of each specimen;
- (9) Details about intentional artificial aging or pre-conditioning of each specimen;
- (10) Details about previous usage (type of gas, intensity of usage, number of refills etc. as far as available) and service conditions (e. g. country of usage) of each specimen.



SBT Die langsame Berstprüfung

SBT 1 Datenaufzeichnung

- SBT 1.1 Folgenden Parameter müssen während jeder Prüfung überwacht und kontinuierlich aufgezeichnet werden:
- (a) hydraulischer Druck im Prüfmuster⁵; mindestens eine Messung pro Sekunde;
- SBT 1.2 Folgende Daten zur Beschreibung jeden Prüfungsablaufes sind zu protokollieren:
- (b) Name des Prüfers und Datum der aktuellen Prüfung
 - (c) Prüfanlage (Ort, Bezeichnung), Prüforganisation (TPED-ID⁶)
 - (d) Temperatur der Testumgebung oder Probenoberfläche zu Beginn und am Ende jedes Tests;
 - (e) Relative Luftfeuchtigkeit in der Prüfkammer; mindestens zu Beginn der Prüfung;
 - (f) Verwendetes Prüfmedium;
 - (g) Verwendeter Druckaufnehmer inkl. Genauigkeitsklasse und weiterer Druckmesstechnik;
 - (h) Informationen über Druckerzeugung (Bezeichnung des Druckerzeugers, Druckrate, Anzahl der Schritte, etc. soweit zutreffend);
 - (i) Besondere Auffälligkeiten vor, während und nach der Prüfung in Bezug auf Probe, Prüf- und Messgeräte etc.;

SBT Slow Burst Test

SBT 1 Data Recording

- SBT 1.1 The following data shall be kept on file for identification and description of tested specimens:
- (a) Hydraulic pressure inside the specimen; measured and recorded at least once per second;
- SBT 1.2 Data to be recorded for description of each test:
- (b) Name of test engineer and test date(c)
 - (c) Test-facility (location, description), name of organization (TPED-ID);
 - (d) Temperature of test environment or on specimen surface at beginning and end of each test;
 - (e) Relative air humidity in test environment (chamber) at least at beginning of test;
 - (f) Test fluid employed;
 - (g) Applied pressure sensor (gauge) incl. accuracy class and further measurement equipment;
 - (h) Information about pressure generation (type of pressure generator, pressurization rate e.g., steps, settings etc. if available);
 - (i) Each abnormality before, during and after test regarding specimen, test equipment etc.;

⁵ Der Druck ist möglichst nah am Prüfmuster zu messen / Pressure must be measured as close to specimen as possible

⁶ Sofern zutreffend / if applicable



- (j) Spitzendruck, Zeit bis zum Versagen und Versagensart (Bersten oder Leck)

- (j) Peak pressure, time to failure and mode of failure (burst or leak).

SBT 2 Durchführung der Berstprüfung

SBT 2 Performance of the burst test

SBT meint eine Druckrate $\dot{p} \leq 20\% \text{ PH/h}$

SBT means a pressure rate $\dot{p} \leq 20\% \text{ PH/h}$

Allen Prüfungen muss eine Stichprobengröße von mindestens 5 Prüfmustern je Bauart gleicher Alters- und Betriebshistorie zu Grunde liegen, wenn nichts anderes von der zuständigen Behörde festgelegt oder im Verfahren SBT angegeben ist.

All Tests have to be performed on a sample size of at least 5 specimens per design type of equivalent age and service history unless otherwise noted by the competent authority or stated in the procedure of SBT.

Die Prüfprozedur ist auf alle Prüfmuster einer Stichprobe mit dem geforderten Umfang identisch anzuwenden. Während jeder Prüfung müssen die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

The procedure shall be applied identically to all specimens of a sample as described. During each test the following conditions have to be guaranteed:

SBT 2.1 Neue Prüfmuster dürfen im Nachgang zum Autofrettageprozess bzw. zur erstmaligen Prüfung keinen Innendruck erfahren haben, der höher ist als 20% des Prüfdrucks.

SBT 2.1 New specimens shall not be exposed to a pressure higher than 20% of test pressure after autofrettage or initial (proof) test otherwise the specimens shall not be deemed as new anymore.

SBT 2.2 Die Temperatur in der Prüfkammer, des Prüfmediums und der Prüfmusteroberfläche liegt zwischen 18°C und 28°C;

SBT 2.2 Temperature of test fluid, surface of specimen and environment of specimen stays between 18 and 28°C;

SBT 2.3 Jedes Prüfmuster muss vollständig befüllt und entlüftet sein ⁷;

SBT 2.3 Each specimen is completely filled and bled from air;

SBT 2.4 Die Prüfmuster sind, wie in Abb. SBT dargestellt, mit einer kontinuierlichen Druckrate $\dot{p} = \Delta p / \Delta t = 20\%$ des

SBT 2.4 As shown in figure SBT, all specimens shall be loaded with a continuous pressure rate $\dot{p} =$

⁷ *Verträglichkeit des Prüfmediums mit dem Linermaterial muss beachtet werden; die Temperatur des Prüfmediums muss annähernd der Prüftemperatur entsprechen, um eine Änderung des Drucks durch Temperaturveränderung zu vermeiden.*

Compatibility of test fluid with liner material has to be considered; temperature of fluid has to be similar to ambient and specimen temperature to prevent pressure change through warming.



Prüfdruckes (PH) pro Stunde bis zum Bersten zu belasten (s. [1]).

Die Druckregelung erfolgt auf Basis einer laufenden Aufzeichnung.

Es können auch kleinere Druckanstiegsraten verwendet werden. Hierzu muss aber sichergestellt sein, dass alle nachfolgenden Prüfungen, auch die an gealterten Prüfmustern Jahre später, eine gleiche Druck-Zeit-Kurve erfahren.⁸

SBT 2.5 Der SOLL-Ausgangspunkt für den kontinuierlich langsamen Druckanstieg mit $\dot{p}$ ist 0 MPa. Praktisch wird ein IST-Anfangsdruck bis zu 5% PH als akzeptabel angesehen.

SBT 2.6 Im Fall eines besonders langsamen Druckanstiegs mit einer Druckrate $\dot{p} = \Delta p / \Delta t \leq 2 \% \text{ PH}$ kann der SOLL-Startpunkt für den langsamen Druckanstieg alternativ auf den Prüfdruck PH verschoben werden.

$\Delta p / \Delta t = 20\%$ of PH per hour until failure (see also [1]).

Pressure control shall be performed under continuous recording.

Smaller pressure rates can be applied. But it must be ensured that all following tests are performed with the same pressure-time curve. This includes also tests on aged cylinders years' later.¹⁷

SBT 2.5 The starting point for continuous slow loading with $\dot{p}$ should be 0 MPa. A starting pressure up to 5% PH is acceptable.

SBT 2.6 Alternatively the starting point for slow pressure increase with a pressure rate of $\dot{p} = \Delta p / \Delta t \leq 2 \% \text{ PH}$ can be shifted up to PH.

⁸ Aus Gründen der Vergleichbarkeit muss die Soll-Druckkurve bei allen Prüfmustern und allen Prüfungen einer Bauart während seines gesamten Lebenszyklus identisch festgelegt werden. Diese ist bei der Baumusterzulassung auszuwählen und festzulegen. Diese Festlegung gilt obligatorisch für alle Prüfungen unabhängig von der beteiligten Prüfstelle.

To ensure comparability of test results, the pressure-time curve must be same for all test samples and all the tests of a design throughout its life cycle. These should be determined in the type approval. The defined pressure-time curve applies to all tests independent from involved inspection authority.

SBT 2.7 Druckschwankungen sind während einer Anfangsstabilisierungszeit der Druckregelung bis zu einem maximalen Druck von 20% des Prüfdruckes PH akzeptabel. Oberhalb dieses Wertes muss bis zum ersten Teilversagen für die Druckabweichungen von der Soll-Druckrate gelten:
(Vergl. grünes Band in Abb. SBT)

SBT 2.7 Pressure fluctuations are acceptable during an initial stabilization period of the pressure control system up to a maximum pressure not higher than 20% of test pressure PH. After that, up to pressure of first failure, deviations from the target pressure rate shall be less than:
(see green area in Fig. SBT)

$$\Delta p_d \leq 1,0 \% PH$$

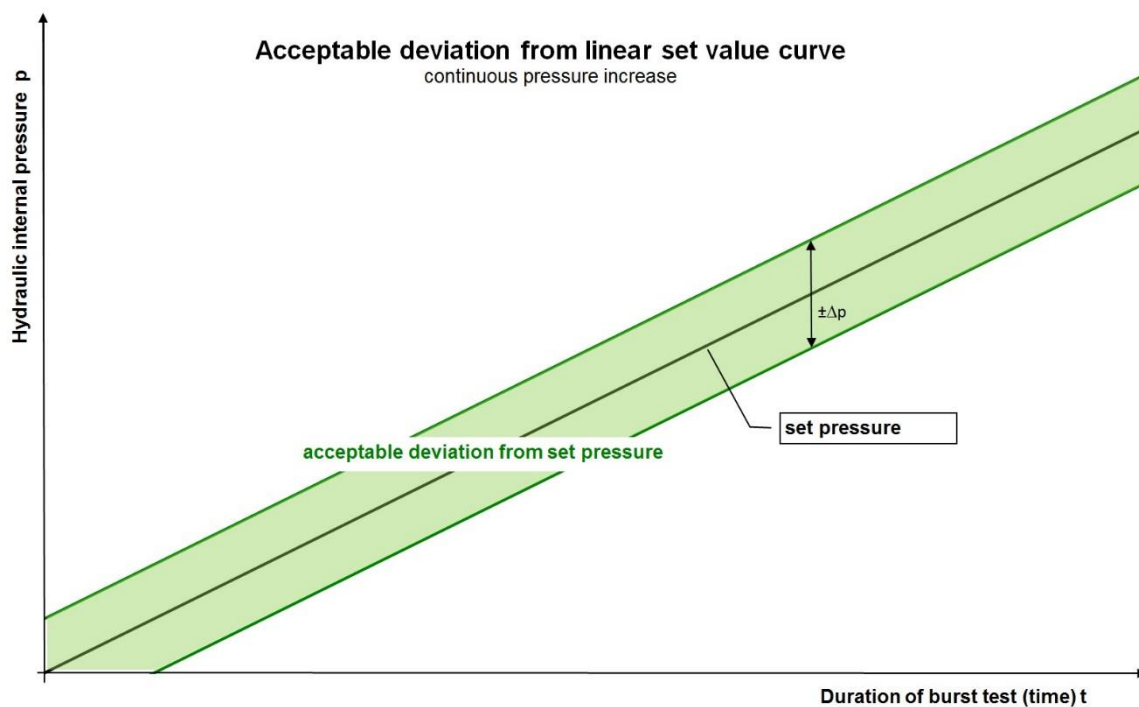


Abb. SBT: Das Toleranzband des IST-Druckes gegenüber der idealen Soll-Druckkurve (vergl. [1])

Fig. SBT: Range of pressure tolerance related to ideal set pressure curve (cf. [1])

Diese Bedingung gewährleistet Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Testergebnisse. Beispiele für die maximalen Abweichungen sind in Tab. SBT zusammengestellt.

This requirement ensures reproducibility and comparability of test results. Examples of acceptable maximum deviations are shown in Table SBT.



Tab. SBT:
Solldruck

Zulässige Abweichung vom idealen

Table SBT: Acceptable deviation from ideal
set pressure

PW	PH	$\Delta p_d = 1\% PH$
200 bar	300 bar	3,0 bar
300 bar	450 bar	4,5 bar
700 bar	1050 bar	10,5 bar

SBT 2.8 Eine Undichtigkeit im Anschlussgewinde während der Berstprüfung zählt nicht als Versagen. Der Test kann nach dem Wiederabdichten im Falle der Unterbrechung der Prüfung unter 20% vom Prüfdruck bei neuwertigen Prüfmustern oder unter 2/3 vom Prüfdruck (bzw. PW bei Druckgasen) bei verwendeten Prüfmustern fortgesetzt werden.⁹

SBT 2.8 Leakage at the connection thread during burst testing is not considered as failure. The test may be continued after resealing in case of interrupting the test below 20% of test pressure for new specimens or below 2/3 of test pressure for used specimens.

SBT 2.9 Ist ein kontinuierlicher Anstieg des Druckes wie oben dargestellt nicht möglich, Ist eine schrittweise Druckerhöhung nach [1] in Absprache mit der zuständigen Behörde möglich.

SBT 2.9 If a continuous pressure increase is not feasible, pressure can also be stepwise increased acc. [1] as agreed by the competent authority.

⁹ Wird das Prüfmuster oberhalb dieser Grenzen einem erneuten Prüfbeginn ausgesetzt, ist nicht auszuschließen, dass die ermittelten Ergebnisse der Stichprobe beeinflusst werden.

In case of a specimen load above this limit it cannot be excluded that a restart of the test will influence the sample test result.



LCT Hydraulische Lastwechselprüfung bei Umgebungstemperatur

LCT 1 Datenaufzeichnung

LCT 1.1 Folgende Parameter müssen während jeder Prüfung überwacht und kontinuierlich aufgezeichnet werden:

- (a) Druck-Zeitverlauf am Prüfmuster (Druckmessung¹⁰); die Messfrequenz muss geeignet sein, die Maximal- und Minimalwerte zu erfassen. Diese Werte müssen entweder vollständig aufgezeichnet werden oder deren Streuung bzgl. beider Sollwerte online statistisch ausgewertet und abgelegt werden oder als Rain-Flow-Klassierung abgelegt werden;
- (b) Temperatur-Zeitverlauf an der Oberfläche des Prüfmusters und vom Druckmedium¹¹
- (c) Kolbenhub bzw. das Volumen des Mediums, das während jedes Druckzyklusses nachgedrückt wird, ist soweit technisch möglich aufzuzeichnen;

LCT 1.2 Folgende Daten zur Beschreibung jeden Prüfungsablaufes sind zu protokollieren:

LCT Hydraulic Load Cycle Test at Ambient Temperature

LCT 1 Data Recording

LCT 1.1 The following parameters have to be recorded and monitored continuously during each test:

- (a) Hydraulic pressure-time-trace at the specimen. The sampling rate must be suitable to detect minimum and maximum values. These values should be either recorded completely or evaluated online regarding scatter of min and max values or recorded according to the rain-flow counting method
- (b) Temperature-time recording on surface of specimen and in test fluid;
- (c) Piston stroke or volume of pumped pressure media during each pressure cycle, if technically feasible;

LCT 1.2 Following data have to be recorded for description of each test:

¹⁰ Der Druck ist möglichst nah am Prüfmuster zu messen

Pressure should be measured as close to specimen's pressure connector/valve thread as possible.

¹¹ Der Sensor für die Medientemperatur muss so nah wie möglich zum Druckanschluss/Ventilgewinde am Prüfmuster positioniert werden.

: Sensor for fluid temperature should be placed as close to specimen's pressure connector/valve thread as possible.



- (e) Name des Prüfers und Datum der aktuellen Prüfung
- (f) Prüfanlage (Ort, Bezeichnung), Prüforganisation (TPED-ID¹²)
- (g) Anzahl der Druckzyklen bis zum Versagen, das unteres und oberes Soll-Druckniveau, und die Lastwechselgeschwindigkeit;
- (h) Luftfeuchtigkeit in der Prüfkammer;
- (i) Verwendetes Prüfmedium;
- (j) Eingesetzte Druckwandler, Temperatursensoren, die Ausrüstung in dieser Messkette; inkl. Genauigkeitsklasse (für die gesamte Messkette);
- (k) Beschreibung des Druckerzeugers und seiner Regelung
- (l) Besondere Auffälligkeiten vor, während und nach der Prüfung am Prüfmuster und der Prüfausrüstung;
- (m) Versagensart (Undichtigkeit, Bersten oder Unterbrechung ohne Versagen); inkl. fotografischer Dokumentation

LCT 2 Prüfprozedur – allgemeine Anforderungen

Für alle Lastwechselprüfungen gilt einheitlich:

LCT 2.1 Das Prüfmuster wird vollständig mit einer Flüssigkeit gefüllt, an die Druckleitung der Prüfanlage angeschlossen, entlüftet und dann bis zur Leckage wie nachfolgend

- (e) Name of test engineer and test date
- (f) Test-facility (location, description), name of organization (TPED-ID);
- (g) Number of load cycles until failure, upper set pressure, lower set pressure and load cycle frequency;
- (h) Humidity in test chamber;
- (i) Employed test fluid;
- (j) Employed pressure transducer, temperature sensors and the equipment in this measurement chain; incl. accuracy class (for the sensor and the whole measurement chain);
- (k) Type of pressurization including list of employed equipment;
- (l) Each abnormality before, during and after test regarding specimen, test equipment etc.;
- (m) Mode of failure (leak, burst or interruption without failure) incl. photo documentation.

LCT 2 Test Procedure – General Requirements

For all cycle tests following is applicable:

LCT 2.1 The specimen to be tested shall be completely filled with a non-corrosive fluid. It shall be connected to the pressure cycling equipment, purged from air and then exposed to a

¹² Sofern zutreffend / if applicable



beschrieben einer hydraulischen Schwelllast unterworfen.

LCT 2.2 Die Prüfung muss bei Umgebungstemperatur zwischen +18°C und +28°C durchgeführt werden.

LCT 2.3 Das Druckmedium darf während der Prüfung +40°C nicht überschreiten. Hierzu ist die Medientemperatur im Prüfmusteradapter oder ersatzweise die Oberflächentemperatur des Bosses zu messen.

LCT 2.4 Bei jedem Lastwechselzyklus (vergl. **Abb. LCT**) darf das obere Druckniveau¹⁹ nicht geringer sein als der Prüfdruck.

Wenn das Prüfmuster nur für ein dezidiertes Gas zugelassen werden soll, kann ein reduziertes Druckniveau gewählt werden. Dabei muss mindestens der maximale Betriebsdruck MSP erreicht werden: Das zu wählende Druckniveau resultiert ausgehend bei Befüllung eines Druckbehälters von der Temperatur von 15 °C bis auf die sich maximal einstellende Temperatur, jedoch nicht weniger als 65°C.

pulsating hydraulic load until failure as described below.

LCT 2.2 The test shall be performed at regular ambient (air) temperature between +18°C and +28°C.

LCT 2.3 During the test the pressure fluid temperature shall not exceed +40°C. This requires temperature measurement of test fluid at specimen's pressure connector or alternatively at boss surface.

LCT 2.4 The upper set pressure level to be achieved during each pressure cycle (compare **Fig LCT**) shall not be less than test pressure.

If the pressure receptacle is only to be approved for service with one dedicated gas a reduced set pressure level can be chosen. This shall be at least the maximum service pressure MSP: The pressure resulting from heating a pressure receptacle filled at 15°C to working pressure to the maximum expected settled temperature but not less than 65°C.

¹⁹ Betrag und das Auftreten des Unterschneidens oder Überschreitens der oberen und unteren Druckniveaus soll klein gehalten werden. Dies verbessert die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

The amount and occurrence of undercutting or exceeding the lower and upper pressure levels should be kept small. This improves reproducibility of results.

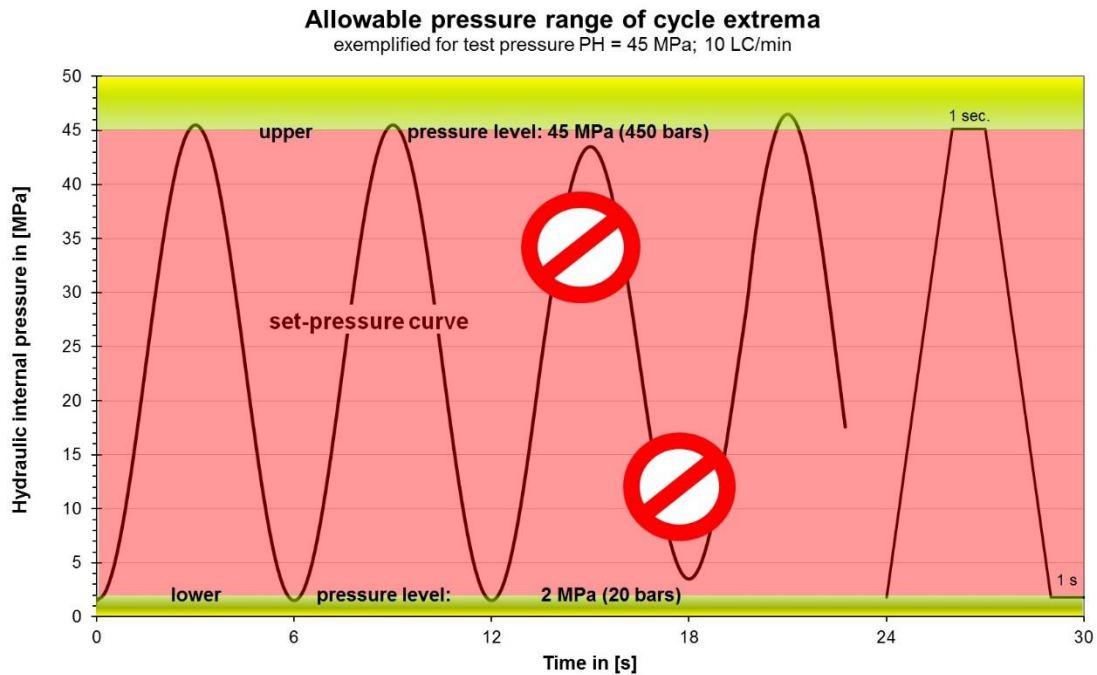


Abb. LCT: Bereich des oberen und unteren Druckniveaus sowie möglicher Druckverläufe (Trapez; vergl. [1])

Fig. LCT: Pressure area (extremes) for high reproducibility and possible sets of pressure curves (trapezoid; cf. [1])

LCT 2.5 Wie in **Abb. LCT** dargestellt, darf während jedes Druckzyklus das untere Druckniveau nicht überschritten werden. Das untere Druckniveau richtet sich nach der angewendeten Baumusterprüfnorm. Wenn die Norm nichts angibt, sind 10% des nominellen Prüfdrucks aber nicht mehr als 20 bar¹⁴ für das untere Druckniveau anzuwenden.

LCT 2.5 The low of one pressure cycle shall not exceed the lower pressure level, as shown in **Fig LCT**. The lower pressure level shall follow the applied standard for load cycle tests. If not mentioned in the standard, the lower pressure level during each pressure cycle shall be 10% of test pressure, but not more than 20bar.

¹⁴ Aus Gründen der Vergleichbarkeit muss die Solldruckkurve bei allen Prüfmustern und allen Prüfungen einer Bauart während seines gesamten Lebenszyklus identisch festgelegt werden. Diese ist bei der Baumusterzulassung auszuwählen und festzulegen. Diese Festlegung gilt obligatorisch für alle Prüfungen unabhängig von der beteiligten Prüfstelle

To ensure comparability of test results, the pressure-time curve must be same for all test samples and all the tests of a design throughout its life cycle. These should be determined in the type approval. The defined pressure-time curve applies to all tests independent from involved inspection authority.



LCT 2.6 Ungeachtet der Form der Druckkurve dürfen die in den Punkten LCT 2.4 und 2.5 angegebenen Werte das obere und das untere Solldruckniveau nicht unter- bzw. überschreiten.

Abweichend hiervon können abweichende Druckwerte zwischen dem unteren und oberen Druckniveau akzeptiert werden, wenn nachgewiesen wird, dass Abweichungen von den Vorgaben bei nicht mehr als 5% der Druckzyklen aufgetreten sind.

LCT 2.7 Die Lastwechselgeschwindigkeit darf nicht höher als 5 Zyklen pro Minute sein. Lastwechselfrequenzen bis zu 15 Zyklen pro Minute sind zulässig, wenn dargestellt ist, dass die geforderten Drücke im Inneren des Behälters wirksam auftreten.

In Fällen von Behältern mit zwei Anschlussgewinden kann dies durch Messen des Druckes gegenüber dem Druckanschluss am Prüfmuster erreicht werden. Im Falle von Behältern mit nur einem Anschlussgewinde kann der Einfluss der Frequenz der Lastwechsel durch Erfassen der Oberflächendehnung, des Zyklusvolumens des Druckmediums oder ähnliches kontrolliert werden.

Voraussetzung dafür ist, dass die Temperatur am Prüfmuster während dieses Nachweises konstant gehalten werden kann. Ist der Nachweis für andere Baumuster mit vergleichbarem Hubvolumen und sonst gleichen Prüfparametern erfüllt, kann dieser herangezogen sein.

LCT 2.6 The upper set pressure according to LCT 2.4 and lower set pressure according LCT 2.5 have to be exceeded respectively undercut during each pressure cycle regardless of pressure curve shape.

Deviating from this, extreme pressure values between the minimum and maximum set pressures may be accepted if it is proven that there are not more than 5% of the pressure cycles with non-sufficient extreme pressures.

LCT 2.7 Load cycle frequency must not be more than 5 cycles per minute. Load cycle frequencies up to 15 cycles per minute are acceptable if it is satisfactorily shown that the demanded pressures are effective inside the receptacle.

In cases of receptacles with two connecting threads this can be achieved by measuring pressure opposite to the fluid feed connection. In case of receptacles with only one connecting thread, influences of load cycle frequency may be sensed through surface strain, fluid cycle volume or similar arrangements, assuming temperatures can be kept constant.

If a satisfying pressure level is already proven for design types with a similar stroke volume and same test parameters, the load cycle frequency can be increased based on this results.



LCT 2.8 Prüfungen müssen bis zum Versagen der Prüfmuster durchgeführt werden. Wenn das Prüfmuster nach 50.000 Lastwechseln keine Anzeichen von Versagen aufzeigt und das Baumuster (noch) nicht als lastwechselempfindlich (cyfas) bewertet ist, können Prüfungen nach diesen 50.000 Lastwechseln beendet/unterbrochen werden.

LCT 2.9 Wurde eine Prüfreihe nach 50.000 LW ohne Versagen beendet gilt:

Stellt sich im Nachgang zu abgebrochenen Prüfungen heraus, dass die Einschätzung als nicht-lastwechselempfindliches Baumuster nicht durch die Eigenschaft aller Einzelprüfungen bestätigt werden kann, muss die Prüfung an den bereits teilgeprüften Prüfmustern oder an weiteren Prüfmustern unabhängig von der Lastwechselzahl bis zum Versagen fortgesetzt werden.

LCT 2.10 Leckagen am Anschlussgewinde werden nicht als Versagen betrachtet. Nach dem Wiederabdichten muss die Prüfung fortgesetzt werden.

LCT 2.11 Wenn eine Prüfung nicht zum Versagen geführt hat, ist das Prüfmuster vom Eigentümer unter der Aufsicht des Prüfers unbrauchbar zu machen. Ausgenommen hiervon sind nur Prüfmuster, die unmittelbar danach zerstörend geprüft werden. In diesem Falle muss die Vorbehandlung berücksichtigt werden, um zu überprüfen, ob dieses Prüfmuster die Anforderungen an die Definition der Stichprobe in der statistischen Auswertung erfüllt.

LCT 2.8 All tests shall be performed until failure. A load cycle test can be terminated in case that the specimen shows no sign of failure or damage after 50.000 load cycles and the design type is not evaluated as load cycle sensitive (cyfas).

LCT 2.9 In case of having stopped a load cycle test series at 50 000 LC without a failure it is valid:

If it becomes obvious after having interrupted tests that not all individual test results of a sample confirms finally a non-load cycle sensitive design type property, all load cycle tests of this design type which were interrupted after 50.000 LC shall be continued until failure or may be performed to failure by using an additional sample with identical sample criteria.

LCT 2.10 Leakage at the connection thread during load cycle or burst testing is not considered as failure, testing shall continue after resealing.

LCT 2.11 After testing, all tested specimens shall be made unserviceable by its owner under supervision of the test engineer if testing did not lead to leakage or burst. Excepted from this are only specimen to be tested in a destructive procedure directly afterwards. In this case the preconditioning shall be taken into consideration to determine if the specimen is going to match the rest of the sample in case of a statistical assessment.



Wenn nicht besondere Verfahren oder Vorschriften insbesondere von der jeweiligen zuständigen Behörde verlangt werden, ist jedes Prüfverfahren mit einer Stichprobe von mindestens 5 Behältern durchzuführen. Dabei müssen die Behälter von jeder Stichprobe das gleiche Alter und vergleichbare Betriebshistorie haben.

If not demanded differently by procedure regulations or the respective competent authority each test procedure shall be performed with a sample of at least 5 specimens. The specimens of each sample shall have the same age and comparable service history.



Anhang SAS

Annex SAS

Anhang SAS

Statistische Bewertung der Prüfergebnisse von Stichproben (SAS)

des Konzepts ergänzender Prüfungen für die Bestimmung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Druckgefäßen aus Verbundwerkstoffen (CAT, Abk. s. rechts).

Annex SAS

Statistical Assessment of Sample Test Results (SAS)

in regards with the concept for assessment of safe service life of composite pressure receptacles by additional tests, Concept Additional Tests (CAT)

Inhalt

SAS 1 Einführung

SAS 2 Anwendungsbereich

SAS 3 Statistische Bewertung von SBT und LCT

SAS 4 Beurteilung der Überlebenswahrscheinlichkeit

SAS 5 Vergleich von zwei Stichproben durch Parametertests

SAS 6 Ausreißertests für extreme Werte

Content

Introduction SAS 1

Scope SAS 2

Statistical Assessment of SBT and LCT SAS 3

Assessment of survival rate SAS 4

Comparison of two samples by parameter test SAS 5

Outlier test for extreme values SAS 6

Der Anwender des Anhangs SAS ist verantwortlich dafür, die Voraussetzung für die Anwendung der statistischen Verfahren hinreichend zu prüfen (z. B. korrekte Wahl der Verteilung, Abwesenheit von Ausreißern und andere Aspekte der Statistik) und entsprechende Alternativmaßnahmen zu ergreifen.

The user of the procedure described in annex SAS is responsible for adequate checks the premises for the application of the statistical procedures (e.g. correct choice of distribution, absence of outliers and other aspects of statistics) and for taking appropriate alternative measures.



SAS 1 Einführung

Das hier beschriebene Verfahren dient der statistischen Bewertung von Berst- und Lastwechselversuchen, für die Beurteilung innerhalb des „Konzepts ergänzender Prüfungen“ (CAT). Ziel ist die Berücksichtigung von Mittelwert und Streuung sowie der Unsicherheiten aufgrund eines begrenzten Stichprobenumfangs im Rahmen der Sicherheitsbeurteilung.

Grundlage für dieses Verfahren sind die Prüfergebnisse von Stichproben, der langsamen Berstprüfung (Slow Burst Tests, SBT) gemäß CAT 6 und der Lastwechselprüfung (Load Cycle Test, LCT) gemäß CAT 7. Das Verfahren beinhaltet die Berechnung von Mittelwert und Streuung. Diese Stichprobeneigenschaften werden mit den geforderten Mindestwerten für die Überlebenswahrscheinlichkeit (survival rate) SR_{min} aus CAT 3 verglichen. Die dort definierte minimale Überlebenswahrscheinlichkeit gilt für die gesamte Betriebsdauer bis zum Lebensende (end of life, EoL). Druckgefäße aus Faserverbundwerkstoffen (Composite-Druckgefäße) müssen am Lebensbeginn (beginning of life, BoL) bzw. während des Betriebs (mid of life, MoL) ausreichende Sicherheitsreserven aufweisen, da ihre Festigkeitseigenschaften über die Lebensdauer degradieren können.

Sicherheitsbewertungen auf Grundlage limitierter Stichprobengröße beinhalten immer eine Unsicherheit bezogen auf die tatsächlichen Eigenschaften des geprüften Baumusters. Diese Unsicherheit ist stark abhängig von der Anzahl der geprüften Druckgefäße und kann durch Vergrößerung des Stichprobenumfangs verringert werden. Das folgende Verfahren berücksichtigt die Stichprobengröße durch die Einführung eines definierten Vertrauensbereiches.

Die empfohlene Stichprobengröße für die Sicherheitsbeurteilung beträgt 5 gemäß CAT 5. Das Verfahren deckt davon abweichende Stichprobengrößen ab. Eine größere Stichprobe reduziert die statistische Unsicherheit und führt somit zu einer Reduzierung der Anforderungen an die Stichprobeneigenschaften zur

SAS 1 Introduction

This document describes a procedure for the statistical assessment of burst and load cycle tests intended for evaluation within the “concept additional tests” (CAT). The main purpose is to consider mean and scatter values as well as uncertainties due to a limited sample size for safety assessments.

The described statistical procedure is based on sample test results from Slow Burst Tests (SBT) according to CAT 6 and Load Cycle Test (LCT) according to CAT 7. The procedure includes the calculation of mean and scatter values. These sample properties will be compared to a dedicated minimum survival rate SR_{min} according to CAT 3. The defined minimum survival rate is valid for the whole service life until end of life (EoL). Composite pressure receptacles at beginning or mid of life (BoL or MoL) have to provide a proper reserve due to degradation of their strength properties over lifetime.

A safety assessment with limited sample size generally includes an uncertainty regarding the true values of the tested design type. This uncertainty strongly depends on the number of tested specimens and can be reduced by an increase of sample size. The following procedure considers sample size as part of the safety assessment by implementation of a defined confidence level.

Recommended sample size for a safety assessment is 5 according to CAT 5. The procedure covers the assessment of samples with a sample size different from 5 as well. A higher sample size reduces uncertainty and therefore leads to a reduction of required



Überschreitung der geforderten Mindest-Überlebenswahrscheinlichkeit.

sample properties for exceeding the minimum survival rate.

SAS 2 Anwendungsbereich

Dieser Anhang SAS „Statistische Bewertung der Prüfergebnisse von Stichproben“ ist Bestandteil des UN-Betriebslebensdauer-Prüfprogramms für Composite-Druckgefäße und hat den gleichen, auf in Großserien hergestellte Composite-Druckgefäße beschränkten Anwendungsbereich.

Baumuster, die aufgrund ihrer geringen produzierten Stückzahlen durch Stichprobenprüfungen nicht hinlänglich beurteilt werden können, müssen in Abstimmung mit der zuständigen Behörde mit anderen, gleichwertigen Verfahren untersucht und überwacht werden.

SAS 2 Scope

This annex SAS “statistical assessment of sample test results” is part of the UN-Service Life Test Programme for Composite Pressure Receptacles and is suitable for the same scope, i.e. for composite pressure receptacles produced in large numbers.

Design types which are not assessable by sufficient sample testing due to their limited production numbers shall be examined and monitored with an equivalent procedure in accordance with the competent authority.

SAS 3 Statistische Bewertung von SBT und LCT

Die folgenden Abschnitte beschreiben eine Methode zur Quantifizierung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Stichproben, die gemäß CAT 6 (Slow Burst Test) und/oder CAT 7 (Load Cycle Test) geprüft wurden. Grundlage dieser Methode ist die Ermittlung von Mittelwert und Streuung einer Stichprobe und eine anschließende grafische oder analytische Bewertung. Die resultierenden Eigenschaften einer Stichprobe sind mit den Mindestwerten für die Überlebenswahrscheinlichkeit SR_{min} (siehe CAT 3) je nach Art der durchgeführten Festigkeitsprüfung zu vergleichen.

Bem SAS-1: Die statistische Beschreibung und Beurteilung von Prüfergebnissen wurde an praktischen Beispielen in [1] bis [6] erarbeitet und angewendet.

SAS 3 Statistical Assessment of SBT and LCT

The following chapters describe a method to quantify the survival rate of samples tested in accordance with CAT 6 (Slow Burst Test) and/or CAT 7 (Load Cycle Test). The method is based on the calculation of sample mean and scatter properties and the comparison by graphical or analytical assessment. The resulting properties of a sample are intended to be compared with the minimum survival rate SR_{min} (defined in CAT 3) for the relevant test.

Note SAS-1: The statistical description and evaluation of test results are elaborated employing examples in [1] to [6].

Der Bezugsdruck für die Bewertung der Sicherheit ist der maximale Betriebsdruck MSP.

Er umfasst die Zulassung den allgemeinen Betrieb mit unterschiedlichen Gasen, dann entspricht MSP dem Prüfdruck PH. Bei Beschränkung der Baumusterzulassung auf ein

Reference load for safety evaluation is the maximum service pressure MSP.

It means the developed gas pressure at maximum allowable settled temperature (65 °C) in case of a design type approval for dedicated gas service. It depends from the design type



bestimmtes Gas, ist der MSP definiert durch den entwickelten Gasdruck bei maximal erlaubter Betriebstemperatur (65 °C).

Bem. SAS-2: Die statistische Beschreibung und Beurteilung von Prüfergebnissen wurde an praktischen Beispielen in [1] bis [6] erarbeitet und angewendet.

approval and the service conditions. If the approval is not limited to a dedicated service the test pressure PH shall be used as MSP.

Note SAS-2: The statistical description and assessment of test results are elaborated employing examples in [1] to [6].

Tab. SAS-1: Formelzeichen zur Berechnung der Stichprobenparameter für SBT und LCT

Table SAS-1: Symbols used for the calculation of sample parameters for SBT and LCT

SBT	LCT
Langsame Berstprüfung / <i>Slow Burst Test</i>	Lastwechselprüfung / <i>Load Cycle Test</i>
Formelzeichen / <i>Symbols</i>	
n = Stichprobengröße <i>Sample size</i> p_i = Berstdruck eines individuellen Prüflings (Ergebnis eines Bersttests) <i>Burst pressure of an individual specimen (Result of one burst test)</i> m_{pB} = Mittelwert des Berstdrucks <i>Mean value of burst pressure</i> s_{pB} = Standardabweichung des Berstdr. <i>Standard deviation of burst pressure</i> $\Omega_{50\%}$ = relativer Mittelwert des Berstdr. <i>Relative mean of burst pressure</i> Ω_s = relative Standardabw. des Berstdr. <i>Relative scatter of burst pressure</i>	n = Stichprobengröße <i>Sample size</i> N_i = Anzahl der Lastwechsel bis zur Leckage eines individuellen Prüflings (Ergebnis eines Lastwechselversuchs mit PH oder MSP) <i>Number of load cycles to leakage of individual specimen (Result of a hydraulic load cycle test to PH or MSP)</i> m_N = Mittelwert von log-LCT <i>Mean value of log- LCT</i> s_N = Standardabweichung von log-LCT <i>Standard deviation of log-LCT</i> $N_{50\%}$ = Median d. Lastwechselergebnisse <i>Median of load cycle results</i> N_s = Streuung der Lastwechselergeb. <i>Scatter of load cycle results</i>



Tab. SAS-2: Berechnung der Stichprobenmittelwerte für SBT und LCT

Table SAS-2: Calculation of the mean value of a sample for SBT and LCT

SBT Langsame Berstprüfung / Slow Burst Test	LCT Lastwechselprüfung / Load Cycle Test
Berechnung des Stichproben-Mittelwerts / Calculation of sample mean	
$m_{pB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$ $\Omega_{50\%} = \frac{m_{pB}}{MSP}$	$m_{\log N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_{10}(N_i)$ $N_{50\%} = 10^{m_{\log N}}$

Tab. SAS-3: Berechnung der Stichprobenstreuung für SBT und LCT

Table SAS-3: Calculation of scatter value of a sample for SBT and LCT

SBT Langsame Berstprüfung / Slow Burst Test	LCT Lastwechselprüfung / Load Cycle Test
Berechnung der Stichproben-Streuung / Calculation of sample scatter	
$s_{pB} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (p_i - m_{pB})^2}$ $\Omega_s = \frac{s_{pB}}{MSP}$	$s_{\log N} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\log_{10}(N_i) - m_{\log N})^2}$ $N_s = 10^{s_{\log N}}$

SAS 4 Beurteilung der Überlebenswahrscheinlichkeit

Nach der Bestimmung der Stichprobeneigenschaften gemäß **Tab. SAS-1** können diese in das entsprechende Arbeitsdiagramm der Anlage SPC übertragen werden: Entweder in **Abb. SPC-SBT5** und **Abb. SPC-SBTn** für Ergebnisse der langsamen Berstprüfung (SBT) oder in **Abb. SPC-LCT5** und **Abb. SPC-SCTn** für Ergebnisse der Lastwechselprüfung (LCT). Jede Stichprobe wird,

SAS 4 Evaluation of Survival Rate

After having quantified the sample properties in accordance with **Table SAS-1**, they can be drawn into the relevant performance charts of annex SPC: Either in **Fig. SPC-SBT5** and **Fig. SPC-SBTn** for burst test results (SBT) or in **Fig. SPC-LCT5** and **Fig. SPC-LCTn** for cycle test results (LCT). There each sample is represented by one dot, independent from the sample size.

unabhängig von der Stichprobengröße, durch einen Punkt dargestellt.

Bem. SAS-2: Die Arbeitsdiagramme enthalten Linien konstanter Überlebenswahrscheinlichkeiten. Diese Linien erlauben eine Abschätzung der Überlebenswahrscheinlichkeit der untersuchten Population unter Berücksichtigung der bestehenden Unsicherheiten. Diese Unsicherheiten werden durch ein statistisches Konfidenzniveau berücksichtigt und hängen direkt von der Stichprobengröße ab.

Die Mindest-Überlebenswahrscheinlichkeit SR_{min} nach CAT 3, wird durch eine Linie repräsentiert. SR_{min} muss jeweils einzeln für SBT und LCT gemäß CAT 3 bestimmt werden. Die Anforderungen an die Sicherheit einer Population können gemäß CAT als erfüllt gelten, wenn der Punkt einer Stichprobe sich oberhalb der Linie befindet, die für SR_{min} , Stichprobengröße und Konfidenzniveau maßgeblich ist.

Die Arbeitsdiagramme in **Abb. SPC-SBT5** und **Abb. SPC-LCT5** berücksichtigen bereits die Unsicherheiten einer begrenzten Stichprobengröße von $n = 5$. Liegt der Punkt einer entsprechenden Stichprobe oberhalb der zu SR_{min} gehörenden Linie, kann davon ausgegangen werden, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% die Überlebenswahrscheinlichkeit für das geprüfte Baumuster höher ist, als die geforderte Mindest-Überlebenswahrscheinlichkeit SR_{min} .

Bem. SAS-3: Ein höherer Stichprobenumfang reduziert im Allgemeinen aufgrund der geringeren statistischen Unsicherheit die nachzuweisenden Werte für Mittelwert und Streuung.

Sollte die Stichprobengröße von $n = 5$ abweichen, müssen die Ergebnisse dieser Stichprobe mit einem angepassten Arbeitsdiagramm überprüft werden (beispielsweise **Abb. SPC-SBTn** und **Abb. SPC-LCTn**) oder die Anforderungen, wie in Tabelle SAS-2 gezeigt, erfüllen. Werte für k_{BT} und k_{LC} für verschiedene Stichprobengrößen n können

Note SAS-2: These performance charts are supplemented by lines of constant survival rates SR . These lines permit an estimation of the SR of the whole population within the uncertainty expressed by the confidence level. The assessment of confidence depends on the sample size.

The survival rate SR_{min} as demanded in CAT 3 is represented by a curve. SR_{min} need to be separately determined for SBT and LCT according to CAT 3. The safety of a population deems to meet requirements as requested in CAT if the sample dot is found to be above the curve, relevant for SR_{min} , sample size and confidence level.

The performance charts **Fig. SPC-SBT5** and **Fig. APC-LCT5** already considers the uncertainty due to a limited sample size of 5 specimens. If the sample dot is found above the relevant curve for SR_{min} , the survival rate of the tested design type is higher than SR_{min} with a probability of at least 95%.

Note SAS-3: A higher sample size usually reduces the values to be demonstrated for mean and scatter, due to a reduction of statistical uncertainty.

In case of a sample size different from $n = 5$ the sample should be checked with an adjusted performance chart (e.g. **Fig. SPC-SBTn** and **Fig. APC-LCTn**) or has to fulfil the requirement as shown in table SAS-2. Values for k_{BT} and k_{LC} for different sample size n can be found in table SAS-3 and table SAS-4.



Tabelle SAS-3 und Tabelle SAS-4 entnommen werden.

Bem. SAS-4: Die Mindest-überlebenswahrscheinlichkeit SR_{min} nach CAT sowie daraus abgeleitete Arbeitsdiagramme und Tabellen, gelten für das Betriebsende (end of life, EoL). Druckgefäße zu Betriebsbeginn oder während des Betriebs müssen eine ausreichende Reserve bieten, um die zu erwartende Degradation während des Betriebes abzudecken.

Note SAS-4: Minimum survival rates SR_{min} as defined in CAT and deduced performance charts and tables as presented here focuses on end of life (EoL). Cylinders at begin or mid of life have to provide a proper reserve to cover expected degradation during service.

Tab. SAS-4: Überprüfung der hinreichenden Überlebenswahrscheinlichkeiten

Table SAS-4: Check of sufficient survival rate

SBT Langsame Berstprüfung / Slow Burst Test	LCT Lastwechselprüfung / Load Cycle Test
Überprüfung der Überlebenswahrscheinlichkeiten von Stichproben in Übereinstimmung mit den Anforderungen aus CAT und einem Vertrauensniveau von 95% Check of sample survival rate in compliance with requirements in CAT and a confidence level of 95%	
Anforderung $SR_{SBT} > SR_{min}$ ist erfüllt, wenn / Requirement $SR_{SBT} > SR_{min}$ is met if $\Omega_{50\%} - k_{BT} \cdot \Omega_s > 1$	Anforderung $SR_{LCT} > SR_{min}$ ist erfüllt, wenn / Requirement $SR_{LCT} > SR_{min}$ is met if $m_{\log N} - k_{LCT} \cdot s_{\log N} > 0$

Tab. SAS-5: Werte für k_{BT} für Berstergebnisse verschiedener Stichprobengrößen

Table SAS-5: Values for k_{BT} for burst test results of different sample sizes

k_{BT} für ein Vertrauensniveau von 95% k_{BT} for confidence level 95%			
n	$SR_{min} = 1 - 10^{-6}$	$1 - 10^{-7}$	$1 - 10^{-8}$
2	79.6	86.7	93.2
3	22.6	24.6	26.4
4	15.1	16.4	17.6
5	12.2	13.3	14.3
6	10.8	11.7	12.5
7	9.8	10.7	11.5

n	$SR_{\min} = 1 - 10^{-6}$	$1 - 10^{-7}$	$1 - 10^{-8}$
10	8.4	9.1	9.8
15	7.4	8.0	8.6
20	6.9	7.5	8.1
∞	4.75	5.2	5.61

Tab. SAS-6: Werte für k_{LC} für verschiedene Stichprobengrößen

Table SAS-6: Values for k_{LC} for different sample size

k_{LCT} für ein Vertrauensniveau von 95% k_{LC} for confidence level 95%					
n	$SR_{\min} = 1-10^{-4}$	$1-10^{-5}$	$1-10^{-6}$	$1-10^{-7}$	$1-10^{-8}$
2	119.9	150.7	181.5	212.2	243.0
3	33.9	42.4	51.0	59.6	68.2
4	22.5	28.2	33.9	39.5	45.2
5	18.3	22.9	27.5	32.1	36.7
6	16.1	20.1	24.2	28.3	32.4
7	14.7	18.5	22.2	25.9	29.6
10	12.6	15.8	19.0	22.2	25.4
15	11.1	14.0	16.8	19.6	22.5
20	10.4	13.1	15.7	18.4	21.1
∞	7.3	9.25	11.2	13.1	15.1

SAS 5 Vergleich von zwei Stichproben durch Parametertests

Der in **Tab. SAS-7** und **Tab. SAS-8** definierte Parametertest erlaubt einen überschlägigen Vergleich von Mittelwert und Streuung von 2 Stichproben mit einer statistischen Signifikanz von 95%. Das heißt, bei einem erfolgreichen Test sind mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 95% die wahren Werte der geprüften

SAS 5 Comparison of two samples by parameter test

The parameter test as defined in **Tables SAS-7** and **SAS-8** permits a rough comparison of mean and scatter values of two samples. The statistical significance of this test is around 95%. That means in case of a successful test, the true values of the tested pressure receptacles are with a probability of at least 95% different from each other.



Population von Druckgefäße aus den beiden Stichproben unterschiedlich.

Die Stichprobengröße für den Vergleich der Mittelwerte sollte 5 Prüflinge nicht unterschreiten. Für einen sinnvollen Vergleich der Streuung wird eine Stichprobengröße von jeweils mindestens 10 Prüflingen empfohlen.

The sample size for a comparison of mean values should be at least 5 specimens for each sample. For a sufficient comparison of scatter values, a sample size of at least 10 specimens for each sample is recommended.

Tab. SAS-7: Parametertest für Mittelwert

Table SAS-7: Parameter test for mean value

SBT Langsame Berstprüfung / Slow Burst Test	LCT Lastwechselprüfung / Load Cycle Test
Prüfung auf Ähnlichkeit von zwei Stichproben / Similarity test of two samples	
Mittelwert der Stichprobe 2 ist signifikant kleiner als der von Stichprobe 1, wenn: Mean value of sample 2 is significantly lower than sample 1 if:	
$\Omega_{50\%,1} > \Omega_{50\%,2} + T_m \sqrt{\frac{\Omega_{s1}^2}{n_1} + \frac{\Omega_{s2}^2}{n_2}}$	$m_{\log N,1} > m_{\log N,2} + T_m \sqrt{\frac{S_{\log N,1}^2}{n_1} + \frac{S_{\log N,2}^2}{n_2}}$
Mit/with: $T_m = 1.8$ $T_m = 1.7$ $T_m = 1.6$	wenn/if $n_1 + n_2 \leq 10$ $n_1 + n_2 > 10$ $n_1 + n_2 \geq 25$

Der Parametertest kann beispielsweise für den Vergleich von Stichproben aus zwei Herstellungslosen gemäß CAT 11 dienen. Stichprobe 1 beinhaltet in dem Fall die Ergebnisse aus den Eingangs-Losprüfungen und Stichprobe 2 ist eine nachfolgende Stichprobe z.B. aus den Prüfergebnissen einer Jahresproduktion.

The parameter test can be used for the comparison of e. g. two production batch samples according to CAT 11. In this case, sample 1 contains the results out of the initial batch and sample 2 is a follow up sample representing e.g. the annual production batch test results.

Tab. SAS-8: Parametertest für Streuung

Table SAS-8: Parameter test for scatter value

SBT Langsame Berstprüfung / Slow Burst Test	LCT Lastwechselprüfung / Load Cycle Test
Prüfung auf Ähnlichkeit von zwei Stichproben / Similarity test of two samples	
Streuwert der Stichprobe 2 ist signifikant größer als der von Stichprobe 1, wenn: Scatter of sample 2 is significantly higher than sample 1 if:	

$T_s < \Omega_{s2} / \Omega_{s1}$	$T_s < S_{\log N2} / S_{\log N1}$
Mit/with:	wenn/if
$T_s = 2.5$	$n_1 + n_2 \leq 10$
$T_s = 2.0$	$n_1 + n_2 > 10$
$T_s = 1.8$	$n_1 + n_2 \geq 15$
$T_s = 1.5$	$n_1 + n_2 \geq 20$

SAS 6 Ausreißertest für extreme Werte

SAS 6 Outlier test for extreme values

Das folgende Prüfverfahren nach GRUBBS (Tab. SAS-9) kann einzelne Ausreißer innerhalb einer Stichprobe von Berst- oder Lastwechselprüfsergebnissen nachweisen. Die statistische Signifikanz dieses Tests liegt bei 95%. Das heißt, dass bei einem erfolgreichen Test, mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 95%, der nachgewiesene Wert ein Ausreißer ist.

The following test procedure in accordance with GRUBBS (Table SAS-9) is able to detect single outliers within a sample of burst or load cycle test results. The statistical significance of this test is around 95%. That means in case of a successful test the detected value is an outlier with a probability of at least 95%.

Tab. SAS-9: Ausreißertest nach GRUBBS

Table SAS-9: Outlier test according to GRUBBS

SBT Langsame Berstprüfung / Slow Burst Test	LCT Lastwechselprüfung / Load Cycle Test
Ausreißertest für maximale und minimale Werte / Outlier Test for maximum and minimum values	
Der minimale Berstdruck ist ein Ausreißer, wenn: /minimum burst pressure is an outlier if: $\frac{m_{pB} - \min(p_i)}{s_{pB}} > G$ Der maximale Berstdruck ist ein Ausreißer, wenn: /maximum burst pressure is an outlier if: $\frac{\max(p_i) - m_{pB}}{s_{pB}} > G$	Das minimale Lastwechselergebnis ist ein Ausreißer, wenn: /minimum load cycle result is an outlier if: $\frac{m_{\log N} - \log_{10}(\min(N_i))}{s_{\log N}} > G$ Das maximale Lastwechselergebnis ist ein Ausreißer, wenn: /maximum load cycle result is an outlier if: $\frac{\log_{10}(\max(N_i)) - m_{\log N}}{s_{\log N}} > G$

Für die Anwendung des Tests wird der Differenzbetrag zwischen dem Maximum bzw. Minimum einer Stichprobe und ihrem Mittelwert

The application of the test requires to search the maximum or minimum value of the sample and to calculate the absolute differences between

gebildet und anschließend durch die Standardabweichung der Stichprobe geteilt. Ist das Ergebnis größer als der kritische Wert G , wird der entsprechende Wert als Ausreißer bezeichnet. Die kritischen Werte G sind in der folgenden **Abb. SAS-1** dargestellt.

this value and the sample mean. The result is divided by the standard deviation of the sample. If the result is higher than the critical value G , the corresponding value can be considered an outlier. The critical values are shown in the following **Fig. SAS-1**.



Abb. SAS-1: Kritische Werte für Grubbs' Ausreißertest (statistische Signifikanz von 95%)

Fig. SAS-1: Critical values for Grubbs' outlier test for a statistical significance of 95%

Bem. SAS-5: Das hier beschriebene Verfahren kann nicht für alle Eventualitäten Vorgaben für die statistische Betrachtung enthalten. Eine weitere Hilfestellung bietet das Auswerte-Tool, das die BAM für die erweiterte Auswertung auf Antrag zur Verfügung stellt.

Note SAS-5: The procedure described here cannot contain prescriptions for statistical purposes for all eventualities. A further support is provided by the evaluation tool, which BAM provides free of charge for extended evaluation on request.



Anhang SPC

Annex SPC

Anhang SPC

Arbeitsdiagramme (SPS)

des Konzepts ergänzender Prüfungen für die Bestimmung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Druckgefäßen aus Verbundwerkstoffen (CAT, Abk. s. rechts).

Inhalt

Die Basis für die Abbn. SPC-SBT ist die Abb. 4 des Hauptdokumentes; und die Abb. 5 ist die der Abbn. SPC-LCT

SPC-SBT5 Langsame Berstprüfung mit Stichproben $n = 5$ (ND)

SPC-LCT5 Lastwechselprüfung mit Stichproben $n = 5$ (WD)

SPC-SBTn Langsame Berstprüfung mit $SR = 1 \cdot 10^{-6}$ (ND)

SPC-LCTn Lastwechselprüfung mit $SR = 1 \cdot 10^{-6}$ (WD)

Annex SPC

Sample Performance Charts (SPC)

in regards with the concept for assessment of safe service life of composite pressure receptacles by additional tests, Concept Additional Tests (CAT)

Content

The Basis of the Figs. SPC-SBT is Fig. 4 of the main document; as it is Fig. 5 for the Figs. SPC-LCT.

Slow burst test with a sample size $n = 5$ (ND) _____ SPC-SBT5

Load cycle test with a sample size $n = 5$ (WD) _____ SPC-LCT5

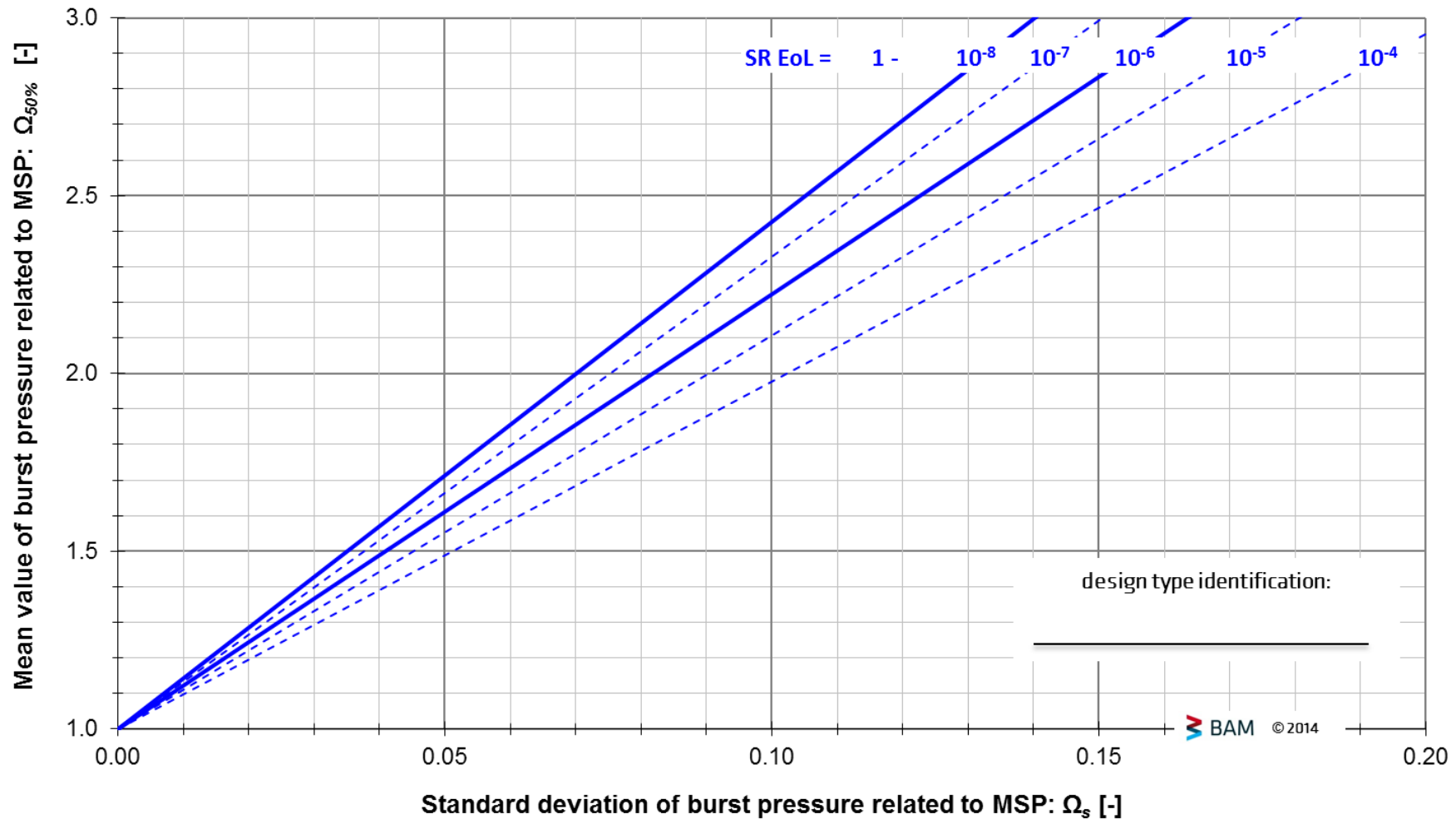
Slow Burst Test with $SR = 1 \cdot 10^{-6}$ (ND) SPC-SBTn

Load cycle test with $SR = 1 \cdot 10^{-6}$ (WD) SPC-LCTn



Slow Burst Test: Sample Evaluation by Normal-Distribution

sample size $n = 5$; effective confidence level $\gamma_1 > 95\%$

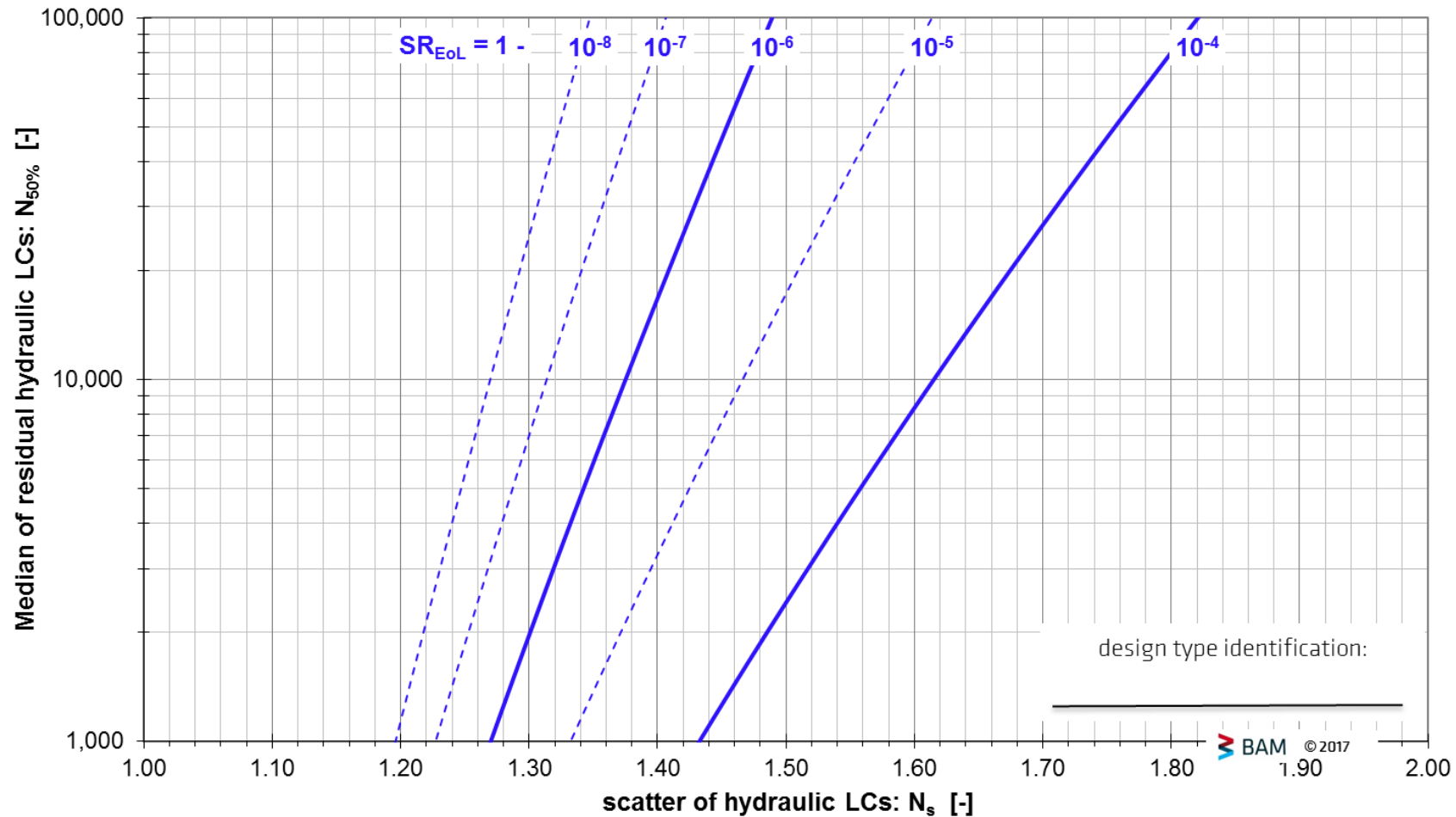


SPC-SBT5: Diagramm für die grafische Auswertung von Stichprobenprüfungen
Sample performance chart for a graphical assessment of results from sample testing
SBT, sample size $n = 5$



Load Cycle Test: Sample Evaluation by WEIBULL-Distribution

sample size $n = 5$; effective confidence level $\gamma_1 = 95\%$



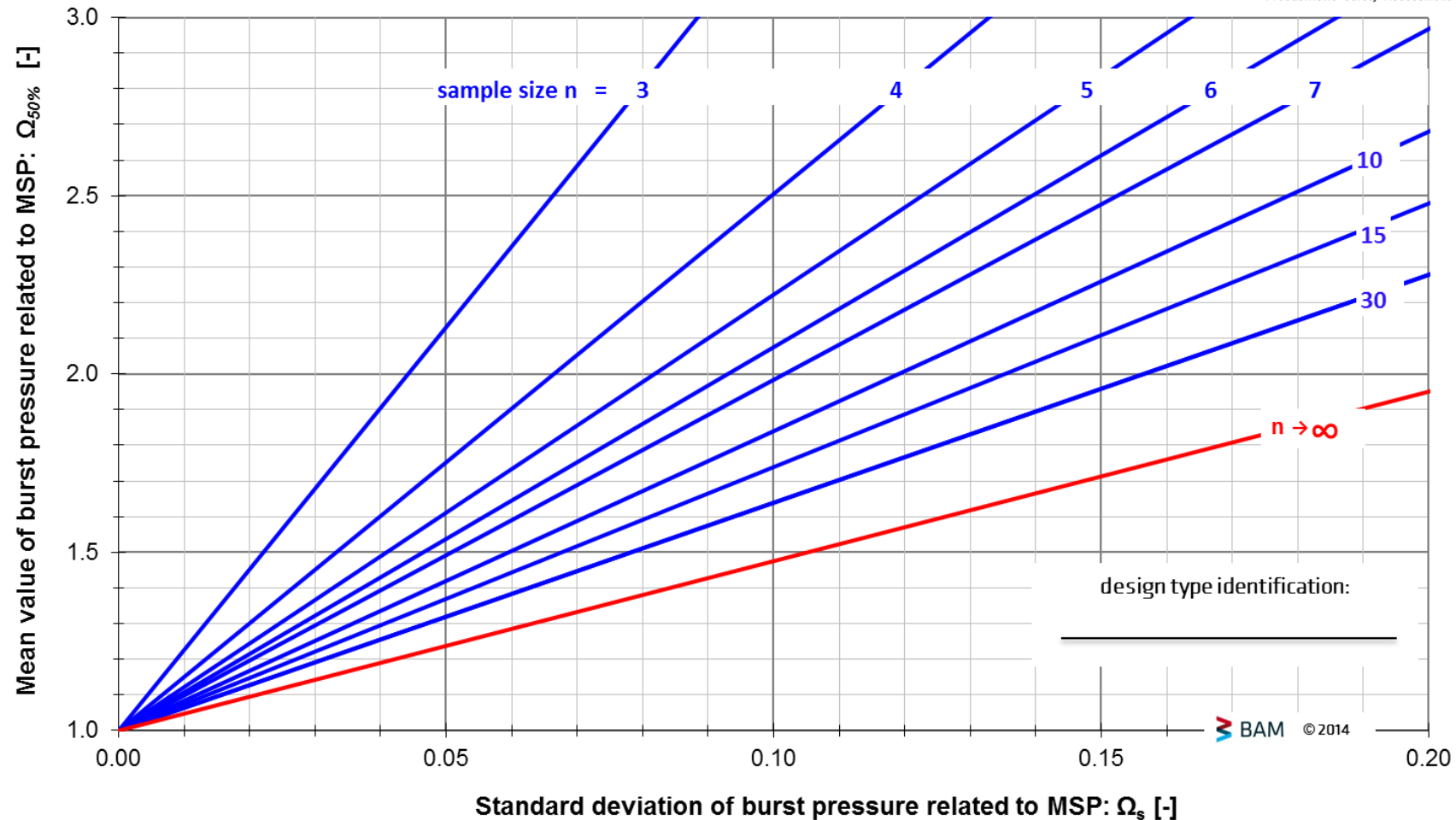
SPC-LCT5: Arbeitsdiagramm für die grafische Auswertung von
Stichprobenprüfungen

Performance chart for a graphical assessment of results from sample testing;



Slow Burst Test: Sample Evaluation by Normal-Distribution

survival rate $SR = 99.9999\%$; effective confidence level $\gamma_1 > 95\%$

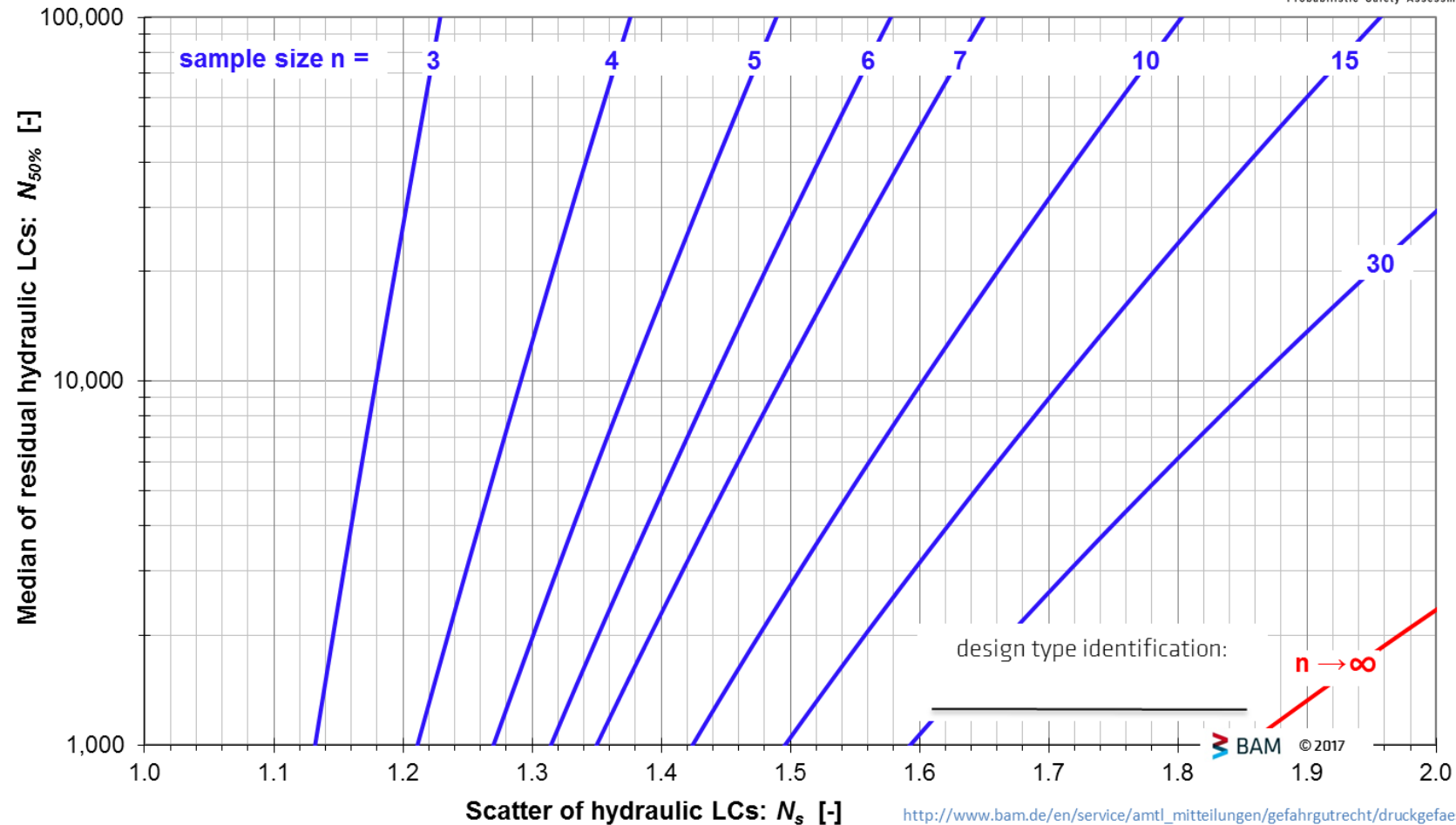


SPC-SBTn: Arbeitsdiagramm für die grafische Auswertung von
Stichprobenprüfungen.

Performance chart for a graphical assessment of results from sample testing

Load Cycle Test: Sample Evaluation by WEIBULL-Distribution

survival rate $SR = 99.9999\%$; effective confidence level $\gamma_1 = 95\%$



SPC-LCTn: Arbeitsdiagramm für die grafische Auswertung von Stichprobenprüfungen;

Performance chart for a graphical assessment of results from sample testing;