

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Festigkeitsnachweis von Bauteilen aus
thermoplastischen Kunststoffen
Grundlagen
Strength verification of technical molded
parts made of thermoplastics
Fundamentals

VDI 2016
Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note.....	2
Einleitung.....	2	Introduction.....	2
1 Anwendungsbereich.....	3	1 Scope.....	3
2 Begriffe	4	2 Terms and definitions	4
3 Konventionen	8	3 Conventions	8
3.1 Beanspruchungsverlauf.....	8	3.1 Stress progression	8
3.2 Technische und wahre Größen.....	10	3.2 Technical and true sizes.....	10
3.3 Poissonzahl	10	3.3 Poisson's ratio.....	10
3.4 Füllstoffgehalt.....	11	3.4 Filler content.....	11
3.5 Isotropie	12	3.5 Isotropy.....	12
3.6 Nichtlinearität	12	3.6 Non-linearity.....	12
4 Bauteildimensionierung und Festigkeitsnachweis	12	4 Component dimensioning and strength verification	12
5 Versagensmechanismen und Werkstoffkennwerte.....	14	5 Failure mechanisms and material characteristic values	14
5.1 Grundlagen.....	14	5.1 Basics.....	14
5.2 Versagensmechanismen unter quasistatischer Beanspruchung	14	5.2 Failure mechanisms under quasi-static loading	14
6 Einflüsse auf die Werkstoff- und Bauteilfestigkeit	19	6 Influences on material and component strength	19
6.1 Grundlagen.....	19	6.1 Basics.....	19
6.2 Temperatur.....	20	6.2 Temperature.....	20
6.3 Beanspruchungsdauer	21	6.3 Stress duration	21
6.4 Alterung	22	6.4 Ageing	22
6.5 Medien	22	6.5 Media.....	22
6.6 Mechanische Beanspruchung.....	23	6.6 Mechanical stress.....	23
6.7 Fertigung.....	24	6.7 Production.....	24
6.8 Weitere Einflüsse	25	6.8 Other influences.....	25
7 Festigkeitshypothesen	26	7 Strength hypotheses	26
7.1 Grundlagen.....	26	7.1 Basics.....	26
7.2 Größtdehnungshypothese.....	27	7.2 Maximum strain hypothesis.....	27
7.3 Modifizierte Gestaltänderungsenergie-Hypothese	27	7.3 Modified shape change energy hypothesis	27
8 Auslastung und Sicherheit.....	31	8 Utilisation and safety.....	31
9 Interpretation und Validierung.....	33	9 Interpretation and validation.....	33
Schrifttum	34	Bibliography	34
Benennungsindex englisch-deutsch.....	35	Term index English-German.....	35

VDI-Gesellschaft Materials Engineering (GME)

Fachbereich Kunststofftechnik

VDI-Handbuch Kunststofftechnik
VDI-Handbuch Werkstofftechnik

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2016.

Einleitung

Bei der Bauteilauslegung bzw. -dimensionierung ist zu belegen, dass das Bauteil die ihm zugeordnete Funktion sicher und zuverlässig erfüllen kann. Im Rahmen der Bauteildimensionierung ist in der Regel ein Festigkeitsnachweis durchzuführen.

Grundlage dieser Richtlinie ist, dass sich das werkstoffmechanische Verhalten von Kunststoffen merklich von dem Verhalten metallischer Konstruktionswerkstoffe unterscheidet und somit die von diesen her bekannten Methoden im Allgemeinen nicht direkt übernommen werden dürfen. Im Folgenden werden die Vorgehensweisen zum Festigkeitsnachweis von thermoplastischen Kunststoffbauteilen auf den veröffentlichten Stand der Technik bezogen. Dabei ist es unvermeidlich, dass auch auf bestehende Lücken und Grenzen der Anwendbarkeit hingewiesen werden muss.

Die dargestellten Vorgehensweisen haben daher derzeit einen abschätzenden Charakter. Dies kann in vielen Fällen aber bereits als ein Schritt nach vorne gegenüber dem „Status quo“ in der betrieblichen Praxis gewertet werden. Ein weiterer wesentlicher Vorteil in der beschriebenen standardisierten Vorgehensweise ist darin zu sehen, dass unterschiedliche Nutzer zu gleichen Aussagen für die gleiche Aufgabenstellung gelangen. Weiterhin lassen sich die Erkenntnisse aus unterschiedlichen Aufgabenstellungen gegeneinander vergleichen, da jeweils die gleiche Verfahrensweise angewendet wurde.

Die Dimensionierung eines technischen Kunststoffbauteils ist eine komplexe Aufgabe. Sie beinhaltet eine systematische Auseinandersetzung mit der Problemstellung und die schrittweise Erarbeitung einer

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at www.vdi.de/2016.

Introduction

When designing and dimensioning components, it must be proven that the component can fulfil its intended function safely and reliably. As a rule, a strength verification must be carried out as part of the component dimensioning.

The basis of this standard is that the material-mechanical behaviour of plastics differs noticeably from the behaviour of metallic construction materials, and therefore the methods known from these cannot generally be adopted directly. In the following, the procedures for the strength verification of thermoplastic components are related to the published state of the art. Where it is unavoidable that existing gaps and limits of applicability must also be pointed out.

The procedures described are therefore currently of an approximate nature. In many cases, however, this can already be seen as a step forward compared to the “status quo” in operational practice. Another significant advantage of the standardised procedure described is that different users arrive at the same conclusions for the same task. Furthermore, the findings from different tasks can be compared with each other, as the same procedure was used in each case.

The dimensioning of a technical plastic component is a complex task. It involves a systematic examination of the problem and the step-by-step development of a responsible solution. Many different

verantwortbaren Lösung. Dabei sind vielerlei Erwägungen vorzunehmen und Entscheidungen zu treffen, bei denen sich verantwortliche Mitarbeitende auf ihren Sachverstand und ihr problemspezifisches Grundlagenwissen stützen müssen. Diese Richtlinie setzt daher ein Minimum an Grundkenntnissen des Anwenders voraus, insbesondere in der Werkstofftechnik der Kunststoffe, Technischer Mechanik und Festigkeitslehre. Die Richtlinie gibt den Anwendenden ein Instrument zur Abstützung ihrer Entscheidungen beim Festigkeitsnachweis aufgrund des derzeitigen Stands der Technik an die Hand.

Es wird in dieser Richtlinie ferner davon ausgegangen, dass aus strukturmechanischen Berechnungen die lokalen, **örtlichen Beanspruchungen** des Werkstoffs bekannt sind¹⁾. Daher wird im Rahmen dieser Richtlinie keine Vorgehensweise entwickelt, die auf der Basis von analytisch berechenbaren Nennspannungen basiert. Demzufolge werden insbesondere auch keine Konzepte betrachtet, um von Nennspannungen auf die an Kerben lokal vorliegenden örtlichen Kerbspannungen z.B. mittels Formzahlen umzurechnen.

1 Anwendungsbereich

Gegenstand dieser Richtlinie ist der Festigkeitsnachweis von Bauteilen aus unverstärkten und kurzfaserverstärkten thermoplastischen Kunststoffen. Die Richtlinie liefert Methoden für den Nachweis der Festigkeit des Werkstoffs bzw. des Bauteils. Sie ist auf Formteile anwendbar, die mit urformenden Fertigungsverfahren, wie dem Spritzgießen, oder mit umformenden Fertigungsverfahren von zuvor urformend produzierten Halbzeugen hergestellt werden.

Die Richtlinie besteht zurzeit aus folgenden Blättern:

Blatt 1 beinhaltet die übergeordneten Grundlagen zu einem Festigkeitsnachweis für Kunststoffbauteile

Weitere Blätter befassen sich jeweils mit einer Art von Festigkeitsnachweis. Zurzeit liegt hierzu vor:

Blatt 2 Festigkeitsnachweis gegenüber statischen Belastungen

Weitere, noch zu erarbeitende Blätter behandeln den Festigkeitsnachweis bei anderen Bedingungen,

considerations have to be made and decisions taken, for which responsible employees must rely on their expertise and their problem-specific basic knowledge. This standard therefore requires a minimum of basic knowledge on the part of the user, particularly in the fields of materials technology of plastics, technical mechanics and strength of materials. The standards provide the user with an instrument to support their decisions concerning strength verification on the basis of the current state of the art.

It is also assumed in this standard that the local, **localised stresses** of the material are known from structural mechanical calculations¹⁾. Therefore, no procedure is developed in this standard that is based on analytically calculable nominal stresses. As a result, no concepts are considered for converting from nominal stresses to the local notch stresses present at notches, e.g. by means of mould numbers.

1 Scope

The subject of this standard is the strength verification of components made of unreinforced and short-fibre-reinforced thermoplastics. The standard provides methods for verifying the strength of the material or component. It is applicable to moulded parts that are produced using primary forming manufacturing processes, such as injection moulding, or using forming manufacturing processes from previously primary formed semi-finished products.

Currently, the standard consists of following parts:

Part 1 contains the overarching principles for a strength verification for plastic components

Further Parts each deal with one type of strength verification. The following is currently available:

Part 2 Strength verification against static loads

Other parts still to be developed deal with the strength verification under other conditions, in

¹⁾ Diese Richtlinie behandelt explizit nicht, wie die strukturmechanischen Berechnungen auszuführen sind. Die Richtlinie geht vielmehr davon aus, dass über geeignete Berechnungsmethoden die Werkstoffbeanspruchung in Form von Spannungs- oder Dehnungstensoren ausreichend genau vorliegt. Aufgrund der meist geometrisch komplexen Bauteilgestalt und Belastungssituation von Kunststoffformteilen werden hierzu häufig numerische Simulationsmethoden, wie die Finite-Elemente-Methode, eingesetzt. Dieses ist aber für die Anwendung dieser Richtlinie keine zwingende Voraussetzung. /

This standard does not explicitly deal with how the structural-mechanical calculations are to be carried out. Rather, the standard assumes that the material stress is sufficiently accurate in the form of stress or strain tensors using suitable calculation methods. Due to the usually geometrically complex component shape and load situation of moulded plastic parts, numerical simulation methods, such as the finite element method, are often used for this purpose. However, this is not a mandatory requirement for application of this standard.

insbesondere bei anisotropem Werkstoffverhalten, bei zyklischen Belastungen (Ermüdungsfestigkeit) oder bei stoßartigen Belastungen.

Die Richtlinie ist nicht anwendbar auf:

- den Nachweis der Stabilität in Bezug auf Knicken, Beulen o. Ä.
- Elastomere, da deren Deformations- und Versagensverhalten sich ausgeprägt von jenem der Thermoplaste unterscheidet
- Duroplaste, da für diese Kunststoffgruppe keine ausreichenden Erfahrungswerte zur Anwendung der Verfahren vorliegen
- in Sinterprozessen erzeugte Formteile, da deren Morphologie in der Regel durch viele Grenzflächen dominiert wird und ein spezifisches, von urgeformten Bauteilen unterschiedliches Versagensverhalten in den Grenzflächen aufweisen
- die Festigkeitsbeurteilung von Schweißnähten, wenn auch stellenweise abschätzend darauf eingegangen wird

Für diese Aufgabe wird auf spezialisierte Richtlinien z.B. des Deutschen Verbands für Schweißen und verwandte Verfahren (DVS) verwiesen.

Diese Richtlinie gilt nicht, wenn ein Festigkeitsnachweis nach anderen Normen, Richtlinien oder Vorschriften gefordert ist, oder wenn spezielle Berechnungsverfahren existieren, wie für Kunststoffzahnräder oder Kunststoffrohre.

particular with anisotropic material behaviour, cyclic loads (fatigue strength), or impact loads.

The standard is not applicable to:

- proof of stability with regard to buckling, dents, etc.
- elastomers, as their deformation and failure behaviour differs markedly from that of thermoplastics
- thermosets, as there is insufficient experience in the application of the processes for this group of materials
- moulded parts produced in sintering processes, as their morphology is generally dominated by many interfaces and exhibit a specific failure behaviour in the interfaces that differs from that of primary moulded components
- the strength assessment of welded seams, even if this is also dealt with in an estimative manner in places

For this task, reference is made to specialised standards, e.g. from the German Welding Society (DVS).

This standard does not apply if a strength verification is required in accordance with other standards, directives or regulations, or if special calculation methods exist, such as for plastic gears or plastic pipes.