

Strength verification of technical molded parts
made of thermoplastics – Fundamentals

Einsprüche bis 2023-12-31

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchsportal
<https://www.vdi.de/2016-1>
- in Papierform an
VDI Gesellschaft Materials Engineering
Fachbereich Kunststofftechnik
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Begriffe	3
3 Konventionen	5
3.1 Beanspruchungsverlauf	5
3.2 Technische und wahre Größen	6
3.3 Poissonzahl	6
3.4 Füllstoffgehalt	7
3.5 Isotropie	7
3.6 Nichtlinearität	7
4 Bauteildimensionierung und Festigkeitsnachweis	7
5 Versagensmechanismen und Werkstoffkennwerte	8
5.1 Grundlagen	8
5.2 Versagensmechanismen unter quasistatischer Beanspruchung	9
6 Einflüsse auf die Werkstoff- und Bauteilfestigkeit	11
6.1 Grundlagen	11
6.2 Temperatur	12
6.3 Beanspruchungsdauer	12
6.4 Alterung	12
6.5 Medien	13
6.6 Mechanische Beanspruchung	13
6.7 Fertigung	14
6.8 Weitere Einflüsse	15
7 Festigkeitshypothesen	15
7.1 Grundlagen	15
7.2 Größtdehnungshypothese	16
7.3 Modifizierte Gestaltänderungsenergiehypothese	16
8 Auslastung und Sicherheit	18
9 Interpretation und Validierung	19
Schrifttum	20

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 zum Festigkeitsnachweis von Bauteilen aus thermoplastischen Kunststoffen 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 Nachfolgenden 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 auf 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 verantwortbaren Lösung. Dabei sind vielerlei Erwägungen vorzunehmen und Entscheidungen zu treffen, bei denen sich der verantwortliche Mitarbeiter auf seinen Sachverstand und sein problemspezifisches Grundlagenwissen stützen muss. Die Richtlinie setzt daher ein Minimum an Grundkenntnissen des Anwenders voraus, insbesondere in der Werkstofftechnik der Kunststoffe, Technischer Mechanik und Festigkeitslehre. Die Richtlinie gibt dem Anwender ein Instrument zur Abstützung seiner 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. Damit 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.

Blatt 1 dieser Richtlinienreihe beinhaltet die übergeordneten Grundlagen zu einem Festigkeitsnachweis für Kunststoffbauteile. Weitere Blätter

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 Dehnungstensenoren 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.

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, 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 Werkstoffgruppe 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.