

**VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE**

Schadensanalyse
Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten
durch fehlerhafte Konstruktion

VDI 3822
Blatt 2.1.1 / Part 2.1.1

Failure analysis
Defects of thermoplastic products made of plastics
caused by faulty design

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
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweise	6
3 Schadensarten	6
4 Bilder	12
Schrifttum	15

Contents	Page
Preliminary note	2
Introduction	2
1 Scope	4
2 Normative references	6
3 Types of failure	6
4 Figures	12
Bibliography	15

VDI-Gesellschaft Materials Engineering (GME)
Fachbereich Werkstoff- und Nanotechnik

VDI-Handbuch Werkstofftechnik
VDI-Handbuch Fabrikplanung und -betrieb, Band 1: Betriebsüberwachung/Instandhaltung
VDI-Handbuch Kunststofftechnik
VDI-Handbuch Produktentwicklung und Konstruktion
VDI-Handbuch Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Band 3: Verfügbarkeit/Schadensanalyse

Frühere Ausgabe: 01.12
Former edition: 01/12

Zu beziehen durch / Available at DIN Media GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2024

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

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.

Einleitung

Durch Schadensanalysen sollen die Ursachen für schadhafte Veränderungen bei Werkstoffen und Produkten bis hin zum Versagen aufgedeckt werden. Die sich hieraus ergebenden Erkenntnisse bilden die Grundlage gezielter Maßnahmen zur Schadensabhilfe und -verhütung. Eine der Hauptaufgaben der Schadensanalyse ist die Auswahl geeigneter Untersuchungsverfahren und die wissenschaftlich fundierte, zusammenfassende Auswertung der Einzelergebnisse. Demnach ist es Zweck der Richtlinie:

- Begriffe zu definieren
- Schadensarten einheitlich zu benennen und zu beschreiben
- zur systematischen Vorgehensweise bei der Schadensanalyse anleiten
- Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Untersuchungsstellen zu gewährleisten
- Voraussetzungen zur nachvollziehbaren Dokumentation zu schaffen

Einteilung Richtlinienreihe VDI 3822 Blatt 2.1

Gemäß dem Bild, dass Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch Fehler in der Konstruktion (inklusive der Umsetzung von Anforderungen), im Werkstoff, in der Verarbeitung und während der Nutzung entstehen können, wurde die Richtlinienreihe folgendermaßen strukturiert:

- Die werkstoffübergreifende Richtlinie VDI 3822 behandelt Grundlegendes zur Vorgehensweise.
- Drei Richtlinien beschreiben mögliche Ursachen, die bereits vor der Nutzung auftreten können (Blatt 2.1.1 bis Blatt 2.1.3).

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.

Introduction

The purpose of failure analysis is to discover the causes of defective changes in materials and products that ultimately lead to failure. The findings thereby obtained provide a basis for targeted measures to remedy and prevent failure. One of the main tasks of failure analysis is the selection of appropriate investigation methods and the scientifically sound, comprehensive evaluation of the individual findings. Correspondingly, the objective of this standard is to:

- provide definitions of terms
- to designate and describe types of failure in a uniform manner
- provide direction for systematically performing failure analyses
- ensure the comparability of the results obtained by different analytical laboratories
- establish requirements for comprehensible documentation

Structure of the series of standards VDI 3822 Part 2.1

According to the pattern that defects in thermoplastic products can result from defects in the design (including the implementation of requirements), in materials, in the manufacturing process, and as a result of wear, this series of standards is structured as follows:

- The standard VDI 3822, which applies to a number of different materials, deals with fundamental questions of procedure.
- Three standards describe possible causes that can occur before use (Part 2.1.1 to Part 2.1.3).

- Sechs Richtlinien beziehen sich auf mögliche Ursachen während der Nutzung (Blatt 2.1.4 bis Blatt 2.1.9).
- Eine Richtlinie erläutert die bedeutenden instrumentellen Analysemethoden in der Schadensanalyse (Blatt 2.1.10).

Blatt 2.1.1	Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch fehlerhafte Konstruktion
Blatt 2.1.2	Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch fehlerhafte Verarbeitung
Blatt 2.1.3	Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch fehlerhafte Werkstoffauswahl und Fehler im Werkstoff
Blatt 2.1.4	Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch mechanische Beanspruchung
Blatt 2.1.5	Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch thermische Beanspruchung
Blatt 2.1.6	Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch tribologische Beanspruchung
Blatt 2.1.7	Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch mediale Beanspruchung
Blatt 2.1.8	Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch Witterungsbeanspruchung
Blatt 2.1.9	Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten durch mikrobielle Beanspruchung
Blatt 2.1.10	Bedeutende Analysemethoden für die Schadensanalyse an thermoplastischen Kunststoffprodukten

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3822.

Die Richtlinien VDI 3822 Blatt 2.1.1 bis Blatt 2.1.10 gelten jeweils nur in Verbindung mit der Richtlinie VDI 3822.

Bei der Ermittlung möglicher Schadensursachen ist zu berücksichtigen, dass sehr ähnliche Schadensbilder durch unterschiedliche Ursachen bzw. Beanspruchungsarten entstehen können. Insofern kann nicht davon ausgegangen werden, dass eine Schadensursache eindeutig identifiziert ist, sobald in einem der Beiblätter ein Schadensphänomen mit dem vorliegenden Schadensbild übereinstimmt. Es

- Six standards are related to possible causes during use (Part 2.1.4 to Part 2.1.9).
- One standard explains significant instrumental analysis methods in failure analysis (Part 2.1.10).

Part 2.1.1	Defects of thermoplastic products made of plastics caused by faulty design
Part 2.1.2	Defects of thermoplastic products made of plastics caused by faulty processing
Part 2.1.3	Defects of thermoplastic products made of plastics caused by an unfavourable choice of material and by defects in the material
Part 2.1.4	Defects of thermoplastic products made of plastics caused by mechanical stress
Part 2.1.5	Defects of thermoplastic products made of plastics caused by thermal stress
Part 2.1.6	Defects of thermoplastic products made of plastics caused by tribology-induced stress
Part 2.1.7	Defects of thermoplastic products made of plastics caused by chemical stress
Part 2.1.8	Defects of thermoplastic products made of plastics caused by weather-induced stress
Part 2.1.9	Defects of thermoplastic products made of plastics caused by microbial stress
Part 2.1.10	Significant instrumental analysis methods for failure analysis of products made of plastics

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/3822.

The standards VDI 3822 Part 2.1.1 to Part 2.1.10 are valid only in conjunction with the standard VDI 3822.

In determining possible causes of failure, it should be kept in mind that very similar failure modes can result from different causes and/or types of stress. Hence, it cannot be assumed that the cause of failure has been clearly identified, simply because the failure mode that presents itself corresponds to one of failure phenomena described in one of the parts of this standard. Since there is no clear indication;

liegt aufgrund der fehlenden Eineindeutigkeit in der Verantwortung der Anwendenden dieser Richtlinie, stets alle Beiblätter zu berücksichtigen, sofern nicht das Schadensumfeld Ausschlüsse zulässt.

1 Anwendungsbereich

In dieser Richtlinie wird auf Schäden eingegangen, deren primäre Ursachen in der Konstruktion von Kunststoffbauteilen zu suchen sind. Generell sind bei der Konstruktion von Bauteilen und Bauteilgruppen allgemeingültige Regeln zu dem Ablauf, der Dimensionierung, der Gestaltung und der Erprobung zu beachten. Dazu existieren weitreichende Normen und Schriften, die sich mit der Entwicklung und Konstruktion von Bauteilen befassen. Für die Konstruktion und Auslegung von Kunststoffbauteilen existieren spezielle Werke, die die Besonderheiten von thermoplastischen Werkstoffen berücksichtigen (siehe Schrifttum).

Die Konstruktion von Kunststoffbauteilen unterliegt jedoch in hohem Maße den werkstoffspezifischen Eigenschaften, weshalb eine Übertragung von Konstruktionen, die für metallische Werkstoffe ausgelegt sind, auf Kunststoffwerkstoffe nicht direkt möglich ist. Eine häufige Ursache für Schäden an Kunststoffbauteilen resultiert daher aus der 1:1-Substitution von metallischen Bauteilkonstruktionen, in der keine werkstoffgerechte Anpassung oder Neuentwicklung der Bauteile erfolgte.

Allgemeingültige Vorgehensweisen und Richtlinien zur Konstruktionsmethodik, wie die Richtlinienreihen VDI 2221 und VDI 2222 gelten ebenfalls für thermoplastische Kunststoffprodukte. Diese Aspekte werden in dieser Richtlinie nicht behandelt.

Die Dimensionierung und Festigkeitsberechnung muss unter Berücksichtigung des nicht linear-viskoelastischen Verhaltens von thermoplastischen Werkstoffen erfolgen. Weitere Besonderheiten finden sich in der Konstruktion von Schraub- und Schnappverbindungen, die in der Literatur beschrieben werden. Im Einzelfall muss der Schadensanalytiker die zugrunde liegenden Werkstoffdaten, Berechnungsmodelle und Annahmen prüfen, so diese Informationen zugänglich sind. Die Überprüfung einer ausreichenden Festigkeit kann beispielsweise mithilfe von computergestützten FEM¹⁾-Simulationen und mechanischen Prüfverfahren an Bauteilprobekörpern erfolgen.

Thermoplastische Werkstoffe werden häufig wegen ihrer hohen Gestaltungsfreiheit insbesondere im Spritzgießverfahren hergestellt. Für Bauteile, die im Spritzgießverfahren gefertigt werden, gelten

the user of this standard is always responsible for taking all of the parts into consideration, unless the failure environment justifies exclusions.

1 Scope

This standard deals with failures caused primarily by the faulty design of plastic components. As a rule, generally valid rules are to be followed in designing components and component groups; these apply to the process, dimensions, design, and testing. In addition, there are extensive standards and literature dealing with the development and design of components. Specific publications that take the special characteristics of thermoplastic materials into consideration provide assistance in designing and planning plastic components (see Bibliography).

The design of plastic components is, however, subject, in large measure, to material-specific properties, which is why it is not possible to simply transfer designs originally developed for metallic materials. A common cause of failure in plastic components therefore results in the direct substitution of plastics in designs for metallic components without adapting them to the new materials or developing new components.

Generally applicable procedures and standards for design methodology, as found in the series of standards VDI 2221 and VDI 2222, also apply in the case of thermoplastic products. These aspects will not be addressed in this standard.

In determining the dimensions and calculating the strength, the non-linear viscoelastic behaviour of thermoplastic materials must be taken into consideration. Other special considerations come to bear in conjunction with the design of screw and snap-lock joints, which are described in the literature. In individual cases, the failure analyst will need to re-evaluate the material data, re-calculation models and review the assumptions on which they were based, if this information is available. Tests for sufficient strength can, for example, be undertaken by using a computer aided FEM¹⁾ simulation and mechanical testing methods on sample components.

Thermoplastic materials are often used in production processes because they provide a wide range of design options, particularly through injection moulding. Special rules apply in designing compo-

¹⁾ Finite-Elemente-Methode / finite elements method

besondere Regeln bei der Konstruktion, die sowohl dem Werkstoff als auch dem Prozess gerecht werden. Diese Gestaltungsregeln müssen für thermoplastische Werkstoffe während der Konstruktion unbedingt beachtet werden.

Dazu existieren in der Literatur kunststoffgerechte Gestaltungsregeln, die bei Missachtung zu typischen Fehlerbildern an Kunststoffbauteilen führen können.

Tabelle 1 zeigt 15 typische Gestaltungsregeln für Kunststoffbauteile und die zugehörigen Schadensbilder. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in der Literatur [1 bis 4].

Tabelle 1. Gestaltungsregeln für Kunststoffbauteile (Quelle: [1])

Lfd. Nr.	Gestaltungsregel
1	Wanddicke so dünn wie möglich auslegen.
2	Gleiche Wanddicken vorsehen.
3	Masseanhäufung vermeiden.
4	Ecken und Kanten mit Radien vorsehen.
5	Versteifungsrippen spritzgießgerecht gestalten.
6	Ebene Flächen vermeiden.
7	Ausreichende Konizitäten vorsehen.
8	Hinterschneidungen vermeiden.
9	Keine genauere Bearbeitung als nötig vorsehen.
10	Das Potenzial der freien Formgebung (Spritzgießverarbeitung) ausschöpfen.
11	Position des Anschliffs bei der Formteilgestaltung beachten.
12	Kunststoff-Metall-Verbunde spannungsausgleichend gestalten.
13	Löcher und Auskernungen kunststoffgerecht gestalten.
14	Gewinde und Schrauben kunststoffgerecht gestalten.
15	Formteile verfahrensgerecht gestalten.

Spanende Bearbeitungsverfahren an thermoplastischen Halbzeugen stellen eher eine Ausnahme dar. Bei dieser Art der Bauteilfertigung gelten die gleichen Auslegungs- und Konstruktionsgrundlagen unter Berücksichtigung der spezifischen Werkstoffkenngrößen wie für andere Werkstoffe. Zur spanenden Bearbeitung von Kunststoffen sei auf die Richtlinie VDI 2003 verwiesen.

ments that are produced by means of injection moulding, these take the special properties of both the material and the process into consideration. It is essential that these design rules be adhered to in developing designs for thermoplastic materials.

For this reason, design rules that apply specifically to plastics are described in the literature, ignoring them often leads to typical failure modes in plastic components.

Table 1 lists 15 typical design rules for plastic components and failure modes. A detailed description can be found in the literature [1 to 4].

Table 1. Design rules for plastic components (source: [1])

No.	Design Rule
1	Keep walls as thin as possible.
2	Maintain the same wall thickness.
3	Avoid accumulations of moulding compound.
4	Design corners and edges with a radius.
5	Design the stiffening ribs in a manner suitable for injection moulding.
6	Avoid flat surfaces.
7	Plan sufficient tapering.
8	Avoid undercuts.
9	Do not plan for greater precision in processing than absolutely necessary.
10	Fully exploit the potential of free-form design (injection moulding process).
11	Pay attention to the position of the gate when designing the moulded components.
12	Design plastic-metal-composites to compensate for stress.
13	Design holes and cavities in a manner suited to plastics.
14	Design threads and screws in a manner suited to plastics.
15	Design moulded components to suit the process.

Machining techniques represent an exception with regard to semi-finished thermoplastic products. For this type of component production, the same planning and design fundamentals apply in relation to the specific material characteristic as for other materials. For information on machining plastics, see standard VDI 2003.