

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Schadensanalyse
Bedeutende instrumentelle Analysemethoden für
die Schadensanalyse an Kunststoffprodukten

VDI 3822
Blatt 2.1.10 / Part 2.1.10

Failure analysis
Significant instrumental analysis methods for
failure analysis of products made of plastics

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.....	4	1 Scope.....	4
2 Normative Verweise.....	5	2 Normative references.....	5
3 Analysemethoden für die Schadensanalyse.....	6	3 Analysis methods for failure analysis.....	7
3.1 Mikroskopie/Tomografie	6	3.1 Microscopy/tomography	7
3.2 Methoden der thermischen Analyse.....	8	3.2 Methods of thermal analysis.....	9
3.3 Spektroskopische Methoden	10	3.3 Spectroscopic methods	11
3.4 Rheometrische/viskosimetrische Methoden	14	3.4 Rheometric/viscosimetric methods.....	15
3.5 Chromatografische Methoden.....	16	3.5 Chromatographic methods.....	17
3.6 Methoden der mechanischen Prüfung.....	16	3.6 Methods of mechanical testing	17
3.7 Sonstige Methoden.....	18	3.7 Other methods.....	19
Schrifttum	20	Bibliography	20

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

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).
- Sechs Richtlinien beziehen sich auf mögliche Ursachen während der Nutzung (Blatt 2.1.4 bis Blatt 2.1.9).

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
- 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).
- Six standards are related to possible causes during use (Part 2.1.4 to Part 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 liegt aufgrund der fehlenden Eineindeutigkeit in der Verantwortung der Anwendenden dieser Richtlinie, stets alle Beiblätter zu berücksichtigen, so-

- 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 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 this is no clear indication, the user of this standard is always responsible for taking all of the parts into consideration, unless the failure environment justifies exclusions.

fern nicht das Schadensumfeld Ausschlüsse zulässt.

1 Anwendungsbereich

Gemäß dem in VDI 3822 vorgeschlagenen Vorgehen hat die instrumentelle Analytik eine wesentliche Rolle am Erfolg einer Schadensanalyse an Kunststoffprodukten. Der Schadensanalytiker/die Schadensanalytikerin muss in der Lage sein, für eine erarbeitete Fragestellung die geeigneten Analysemethoden zu identifizieren und deren Potenzial zur Problemlösung kennen. Er/sie muss einordnen können, welche Art von Erkenntnissen eine Methode in dem vorliegenden Schadensfall erwarten lässt bzw. anhand welcher Methode eine gewünschte Aussage getroffen werden kann.

Im Folgenden werden in der Schadensanalyse von Kunststoffprodukten häufig eingesetzte Methoden aufgeführt, deren Abkürzungen, wie sie in den anderen Beiblättern genutzt werden, definiert, deren Funktionsprinzip knapp skizziert und beispielhaft erläutert, welche Eigenschaften damit charakterisiert werden können. Es werden zudem Beispiele von Anwendungen aus der Schadensanalyse genannt.¹⁾ Die zugrunde liegenden Mechanismen der Schädigung sollen jedoch aus den betreffenden Beiblättern entnommen werden.

Die nachfolgenden Tabellen in Abschnitt 3 ordnen die Analysemethoden der folgenden Überordnung zu:

- mikroskopische Verfahren (Abschnitt 3.1)
- Methoden der thermischen Analyse (Abschnitt 3.2)
- spektroskopische Methoden (Abschnitt 3.3)
- rheometrische/viskosimetrische Methode (Abschnitt 3.4)
- chromatografische Methoden (Abschnitt 3.5)
- Methoden der mechanischen Prüfung (Abschnitt 3.6)
- sonstige Methoden (Abschnitt 3.7)

Zu beachten ist, dass zumeist erst eine Kombination geeigneter Methoden aussagekräftige Ergebnisse zulässt. Ob eine Methode zur Anwendung gelangt, hängt von den Rahmenbedingungen des Einzelfalls ab, nämlich welche Fragestellung zu

1 Scope

According to the procedure recommended in VDI 3822, instrumental analysis plays an essential role in conducting a successful failure analysis of a plastic product. The failure analyst must be able to identify the appropriate analysis methods for the questions he poses and also be familiar with their potential for solving the problem. He/she must be able to assess what type of findings that can be expected from a given method in the specific case of failure to be investigated, or which method will allow a desired conclusion to be drawn.

In the following, methods that are often used in failure analyses of plastic products will be presented, along with the abbreviations used for them in the other parts. Subsequently, their functional principles will be briefly explained and examples of the properties that they can be used to characterise will be provided. In addition, examples of their use in failure analysis will be cited.¹⁾ However, information on the underlying failure mechanisms is to be found in the corresponding parts.

The following tables in Section 3 organise the analysis methods into the following categories:

- microscopic procedures (Section 3.1)
- methods of thermal analysis (Section 3.2)
- spectroscopic methods (Section 3.3)
- rheometric/viscometric methods (Section 3.4)
- chromatographic methods (Section 3.5)
- methods of mechanical testing (Section 3.6)
- other methods (Section 3.7)

It should be kept in mind that a combination of appropriate methods is generally of primary importance for significant results. Whether a method is applied or not, depends upon the framework conditions of the individual case, namely, which

¹⁾ Die Angaben in den Tabellen sind beispielhaft und erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. / The information in the tables is only exemplary and does not claim to be exhaustive.

beantworten ist, welche Probenqualitäten²⁾ dazu erforderlich und welche verfügbar sind. Ferner spielen natürlich der entstehende Aufwand und die Kosten eine entscheidende Rolle.

Unter diesen Gesichtspunkten kommt der Lichtmikroskopie eine zentrale Bedeutung zu. Sie stellt unter den Analysemethoden der Schadensanalyse das wichtigste Instrument dar. Die Lichtmikroskopie wird bereits zu Beginn einer Schadensanalyse zur Schadensbilderfassung (zerstörungsfreie Auflichtmikroskopie) eingesetzt und dient als Basis zur Bildung von Schadensthesen. Sie begleitet zumeist die gesamte Schadensanalyse.

question is to be answered, which sample qualities²⁾ are required and which are available. Furthermore, the resulting costs, both in terms of time and money, also play a decisive role.

From this perspective, light microscopy is of central importance. It is the most important analysis method in failure analysis. Light microscopy is already used in the initial phase of a failure analysis to survey the failure (non-destructive reflected light microscopy) and serves as a basis for the formation of a failure hypothesis. It generally plays a role throughout the whole failure analysis.

²⁾ Damit ist beispielsweise gemeint, dass die Ermittlung mechanischer Werkstoffkennwerte wie die Bruchdehnung nur anhand von Prüfkörpern möglich ist. Das vorhandene Schadensprodukt und die Referenzprodukte müssen die Entnahme von derartigen Proben erlauben. /

This, e.g., means that the determination of the mechanical characteristics of a material, such as bending fracture strength, is only possible by using reference pieces. The defective product at hand, as well as the reference products, must allow for the collection of such samples.