

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Schadensanalyse  
Schäden an Elastomerprodukten  
durch mechanische Beanspruchung

VDI 3822  
Blatt 2.2.5 / Part 2.2.5

Failure analysis  
Defects on elastomeric products  
caused by mechanical stress

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
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	4
<b>2 Normative Verweise</b> .....	4
<b>3 Abkürzungen</b> .....	5
<b>4 Schäden durch mechanische Beanspruchung</b> .....	5
4.1 Übersicht zu Schäden durch mechanische Beanspruchung .....	6
4.2 Schadensbilder – Beispiele .....	8
Schrifttum .....	14

Contents	Page
Preliminary note .....	2
Introduction .....	2
<b>1 Scope</b> .....	4
<b>2 Normative references</b> .....	4
<b>3 Abbreviations</b> .....	5
<b>4 Damage caused by mechanical stress</b> .....	5
4.1 Overview of damages caused by mechanical stress .....	6
4.2 Failure modes – Examples .....	8
Bibliography .....	14

VDI-Gesellschaft Materials Engineering (GME)  
Fachbereich Werkstofftechnik

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](http://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. Die Richtlinienreihe

- definiert Begriffe,
- benennt einheitlich Schadensarten und beschreibt diese,
- leitet zur systematischen Vorgehensweise bei der Schadensanalyse an,
- gewährleistet Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Untersuchungsstellen und
- schafft Voraussetzungen zur nachvollziehbaren Dokumentation.

Aufgrund der häufig gleichzeitig auftretenden chemischen, thermischen und mechanischen Belastungen von Elastomerprodukten überschneiden sich die Schadensphänomene teilweise. Folglich ergeben sich verschiedene Schadensphänomene oder -bilder, die auch in anderen Blättern dieser Richtlinienreihe bereits beschrieben sind.

In dieser Richtlinie wird zwischen den Begriffen „Belastung“ und „Beanspruchung“ nach folgender Begriffsdefinition unterschieden:

- Belastung: Einflussgrößen, die von außen auf das Bauteil einwirken
- Beanspruchung: Reaktion des Materials (Spannung, Verformung usw.) auf die Last (oder die Belastung), die bei Überschreiten der Beanspruchungsgrenzen zu einem Schadensfall führen kann

## 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](http://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 from this 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. This series of standards

- provides definitions of terms,
- gives consistent designations and descriptions of failure types,
- provides direction for systematically performing failure analyses,
- ensures the comparability of the results obtained by different analytical laboratories, and
- creates the prerequisites for a comprehensible documentation.

Because chemical, thermal, and mechanical stresses on elastomer products tend to occur simultaneously, the failure phenomena overlap to a certain extent. This leads to various failure phenomena or failure modes that have also been described in other parts of this series of standards.

This standard distinguishes between the concepts of “load” and “stress”, according to the following definition:

- load: a factor that acts upon a part from outside
- stress: the reaction of the material (strain, deformation, etc.) to the applied load, which can lead to failure when stress limits are exceeded

Siehe zudem VDI 3822 Blatt 2.1.4.

### Einteilung Richtlinienreihe VDI 3822 Blatt 2.2

Die Richtlinienreihe ist folgendermaßen strukturiert:

- Die werkstoffübergreifende Richtlinie VDI 3822 behandelt Grundlegendes zur Vorgehensweise.
- Eine Richtlinie erörtert allgemeine Gesichtspunkte zum komplexen Thema „Alterung von Elastomeren“ (Blatt 2.2.1)
- Drei Richtlinien beschreiben mögliche Ursachen, die bereits vor der Nutzung auftreten können (Blatt 2.2.2 bis Blatt 2.2.4).
- Fünf Richtlinien beziehen sich auf mögliche Ursachen während der Nutzung (Blatt 2.2.5 bis Blatt 2.2.9).
- Eine Richtlinie erläutert die bedeutenden instrumentellen Analysemethoden in der Schadensanalyse (Blatt 2.2.10).

Blatt 2.2.1	Schäden an Elastomerprodukten durch Alterung (in Vorbereitung)
Blatt 2.2.2	Schäden an Elastomerprodukten durch Fehler bei der Compound-Herstellung (in Vorbereitung)
Blatt 2.2.3	Schäden an Elastomerprodukten durch Fertigungsfehler
Blatt 2.2.4	Schäden an Elastomerprodukten durch Fehler bei der Konstruktion
<b>Blatt 2.2.5</b>	Schäden an Elastomerprodukten durch mechanische Beanspruchung
Blatt 2.2.6	Schäden an Elastomerprodukten durch tribologische Beanspruchung (in Vorbereitung)
Blatt 2.2.7	Schäden an Elastomerprodukten durch thermische Beanspruchung (in Vorbereitung)
Blatt 2.2.8	Schäden an Elastomerprodukten durch mediale Beanspruchung
Blatt 2.2.9	Schäden an Elastomerprodukten durch klimatische Beanspruchung
Blatt 2.2.10	Bedeutende instrumentelle Analysemethoden für die Schadensanalyse an Elastomerprodukten (in Vorbereitung)

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/3822](http://www.vdi.de/3822).

Die Richtlinien VDI 3822 Blatt 2.2.1 bis Blatt 2.2.10 gelten jeweils nur in Verbindung mit der Richtlinie VDI 3822.

See also VDI 3822 Part 2.1.4.

### Structure of the series of standards VDI 3822 Part 2.2

This series of standards is structured as follows:

- The standard VDI 3822, which applies to a number of different materials, deals with fundamental methodical questions.
- One standard deals with general issues of the complex topic of “elastomer ageing” (Part 2.2.1).
- Three standards describe possible failure causes that apply before use (Part 2.2.2 to Part 2.2.4).
- Five standards deal with possible failure causes during use (Part 2.2.5 to Part 2.2.9).
- One standard explains significant instrumental analysis methods in failure analysis (Part 2.2.10).

Part 2.2.1	Defects on elastomeric products caused by aging (in preparation)
Part 2.2.2	Defects on elastomeric products caused by faulty compounding (in preparation)
Part 2.2.3	Defects on elastomeric products caused by faulty processing
Part 2.2.4	Defects on elastomeric products caused by faulty design
<b>Part 2.2.5</b>	Defects on elastomeric products caused by mechanical stress
Part 2.2.6	Defects on elastomeric products caused by tribological stress (in preparation)
Part 2.2.7	Defects on elastomeric products caused by thermal-induced stress (in preparation)
Part 2.2.8	Defects on elastomeric products caused by media-induced stress
Part 2.2.9	Defects on elastomeric products caused by climate-induced stress
Part 2.2.10	Significant instrumental analysis methods for failure analysis of elastomeric products (in preparation)

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/3822](http://www.vdi.de/3822).

The standards VDI 3822 Part 2.2.1 to Part 2.2.10 are only applicable in conjunction with the standard VDI 3822.

Bei der Ermittlung möglicher Schadensursachen ist zu berücksichtigen, dass sehr ähnliche Schadensbilder durch unterschiedliche Ursachen oder 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 des Anwenders dieser Richtlinie, stets alle Beiblätter zu berücksichtigen, sofern nicht das Schadensumfeld Ausschlüsse zulässt.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie gilt nur für solche Schäden, die unmittelbar durch mechanische Beanspruchung, das heißt aufgrund von Überbeanspruchung durch mechanische Belastung während des Einsatzes sowie bei der Montage von Elastomerprodukten hervorgerufen werden. Das bedeutet beispielsweise, dass Schäden in Werkstoffverbunden, wie Gummi-Metall-Bauteile oder gewebeverstärkte Schläuche, deren Ursache nicht in der Elastomerkomponente allein liegt, in dieser Richtlinie nicht behandelt werden. Diese Richtlinie darf daher nicht für die Schadensanalyse an Reifen angewandt werden.

Während des Einsatzes sind Elastomerprodukte unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt, deren Einflüsse sich nur schwer trennen lassen und welche sich darüber hinaus wechselseitig beeinflussen. So führen beispielsweise Alterungsprozesse zu signifikanten Veränderungen des Werkstoffs und seiner Eigenschaften, sodass eine mechanische Belastung letztlich zur Überschreitung der veränderten Festigkeits- oder Dehnungswerte führen kann.

Prinzipiell lassen sich mehrere Arten von mechanischen Belastungen unterscheiden, z.B. die Belastung durch Zug, Druck oder Torsion. Daneben ist aber auch eine Knickbewegung oder Stauchung denkbar. Zudem spielt die Belastungsgeschwindigkeit eine wichtige Rolle. So macht es durchaus einen signifikanten Unterschied, ob die Belastung schnell oder langsam erfolgt und ob diese gleichmäßig anliegt oder aber stoßartig erfolgt. Der letztere Fall ist insbesondere bei tiefen Temperaturen kritisch, wenn sich das Elastomer im Glasübergangsbereich oder gar darunter befindet (siehe auch VDI 3822 Blatt 2.2.7).

## 2 Normative Verweise

Das folgende zitierte Dokument ist für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

VDI 3822:2011-11 Schadensanalyse; Grundlagen und Durchführung einer Schadensanalyse

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 must not be assumed that the cause of failure has been clearly identified as soon as the observed failure mode corresponds to one of the failure phenomena described in one of the parts of this standard. This is no clear indication; the user of this standard is always responsible for taking all parts into consideration, unless the failure environment justifies exclusions.

## 1 Scope

This standard applies only to such damage that is caused directly by mechanical stress, or rather excessive stress due to mechanical load that occurs during the use or installation of elastomer products. This means that damages in e.g. composite materials such as rubber-on-metal components or fabric-reinforced tubing, where the cause lies not alone in the elastomer component, will not be dealt with in this standard. This standard must therefore not be used for damage analysis on tyres.

During use, elastomer products are subject to various loads whose influences are hard to distinguish and that also interact with each other. For example, ageing processes lead to significant changes in the material and its characteristics, so that the changed strength or elongation limits are then exceeded by a mechanical load.

Basically, several types of mechanical loads can be distinguished, such as tensile, compression, or torsion loads. Bending or longitudinal compression are also possible directions of load. What also plays an important role is the velocity of load application. There is a significant difference whether the load is applied quickly or slowly and whether it is uniform or intermittent. The latter case is particularly critical at low temperatures when the elastomer is at or even below its glass transition temperature (see also VDI 3822 Part 2.2.7).

## 2 Normative references

The following referenced document is indispensable for the application of this standard:

VDI 3822:2011-11 Failure analysis; Fundamentals and performance of failure analysis