

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Schadensanalyse  
Schäden an thermoplastischen Kunststoffprodukten  
durch Witterungsbeanspruchung

VDI 3822  
Blatt 2.1.8 / Part 2.1.8

Failure analysis  
Defects of thermoplastic products made of plastics  
caused by weather-induced 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	Contents	Page
Vorbemerkung .....	2	Preliminary note.....	2
Einleitung.....	2	Introduction.....	2
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>4</b>	<b>1 Scope.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Normative Verweise.....</b>	<b>4</b>	<b>2 Normative references.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Besonderheiten bei der Witterungsbeanspruchung.....</b>	<b>4</b>	<b>3 Special characteristics of weather induced stress.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Phänomene und Ursachen.....</b>	<b>9</b>	<b>4 Phenomena and causes.....</b>	<b>9</b>
<b>5 Nachweis der potenziellen Ursachen.....</b>	<b>10</b>	<b>5 Identification of potential causes.....</b>	<b>11</b>
<b>6 Nachweis der Heterogenität und Richtungsabhängigkeit.....</b>	<b>18</b>	<b>6 Identification of the heterogeneity and dependency on direction.....</b>	<b>18</b>
6.1 Fotooxidation.....	18	6.1 Photooxidation.....	18
6.2 Verlust an UV-Stabilisierung.....	18	6.2 Loss of UV stabilisation.....	18
6.3 Wasseraufnahme.....	18	6.3 Water absorption.....	18
6.4 Hydrolyse.....	18	6.4 Hydrolysis.....	18
6.5 Oxidationsdunkelreaktion.....	18	6.5 Oxidation dark reaction.....	18
<b>7 Nachweis durch künstlichen Bewitterungsversuch.....</b>	<b>18</b>	<b>7 Identification through artificial weathering trials.....</b>	<b>18</b>
<b>8 Beispiele für klimatisch induzierte Schäden an Kunststoffprodukten.....</b>	<b>19</b>	<b>8 Examples of climatically induced defects in plastic products.....</b>	<b>19</b>
8.1 Beispiel für Farbänderung (Vergilbung).....	19	8.1 Example of colour change (yellowing).....	19
8.2 Beispiel für Rissbildung.....	20	8.2 Example of cracking.....	20
8.3 Beispiel für Wasseraufnahme.....	20	8.3 Example of water absorption.....	20
8.4 Beispiel für Kreidung.....	21	8.4 Example of chalking.....	21
8.5 Beispiel für Ausbleichung.....	21	8.5 Example of fading.....	21
Schrifttum .....	22	Bibliography.....	22

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](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. 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](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 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
<b>Blatt 2.1.8</b>	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](http://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
<b>Part 2.1.8</b>	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](http://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, the user of this standard is always responsible for taking all of the parts into consideration, unless the failure envi-

fern nicht das Schadensumfeld Ausschlüsse zulässt.

## 1 Anwendungsbereich

In dieser Richtlinie sollen diejenigen Wirkungen (Alterungseffekte) von Witterungsbeanspruchungen<sup>1)</sup> auf Thermoplaste behandelt werden, die durch das Einwirken von Bestrahlung (UV, VIS, IR), Luftfeuchte- und Nässewechsel sowie Temperaturwechsel entstehen können, also für die Szenarien der Anwendung von Kunststoffen im Außenbereich sowie der Anwendung im Innenraumbereich.

Die Wirkung von Beanspruchungskollektiven soll hier nicht behandelt werden, wenn sie gegenüber den Witterungseinflüssen selbst nur sekundär sind (z. B. die gleichzeitige Einwirkung von Schadgasen oder gleichzeitige mechanische Belastung). Während der rein thermisch induzierte Abbau in der Richtlinie VDI 3822 Blatt 2.1.5 behandelt wird, hat die Temperatur bei allen chemischen Reaktionen einen Einfluss über die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstante. Dies beinhaltet einen Einfluss auf die Reaktionsproduktverteilung (Konkurrenz von Einzelreaktionen mit Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten unterschiedlicher Temperaturabhängigkeit).

Umfassende Darstellungen zur Bewitterung von Polymeren und dem Nachweis von Bewitterungseffekten sind z.B. in [1; 2] zu finden.

environment justifies exclusions.

## 1 Scope

This standard will address the (ageing) effects of weather-induced stress<sup>1)</sup> on thermoplastic products that can result from the impact of radiation (UV, VIS, IR), alternating humidity and dampness, as well as temperature changes, i.e., for the scenarios in which plastics are used in outdoor areas, as well as for use in indoor areas.

The effects of stress collectives will not be addressed here when they play a secondary role in relation to the influence of weather (e.g., the simultaneous impact of corrosive gases or mechanical stress). While degradation that is induced solely by thermal stress is addressed in standard VDI 3822 Part 2.1.5, temperature has an influence on all chemical reactions due to the temperature dependency of the reaction rate constant. This includes an influence on the reaction product distribution (competition of individual reaction rate constants with different temperature dependencies).

Comprehensive descriptions of the weathering of polymers and the identification of weathering effects can be found in [1; 2].

<sup>1)</sup> In dieser Richtlinie wird der Begriff „Bewitterung“ benutzt, während häufig von der „klimatischen Beanspruchung“ gesprochen wird, dann aber häufig die Bestrahlung nicht mit einbezogen wird, die hier ausdrücklich mit einbezogen sein soll. / In this standard, the term “weathering” will be used, because in references often made to “climatic stress”, radiation is frequently not taken into consideration, as is expressly the case here.