



Vorlesung Schadensanalyse

1.1 Einführung/Begriffe

1.2 Ablauf einer Schadensanalyse

Vertiefungsmodul WT1
 12 SWS
Werkstofftechnik

verantwortl. Dozent: Prof. Simmchen

Lehrveranstaltungen	SS 8.Sem. V/Ü/Pr	WS 9. Sem. V/Ü/Pr	Prüfungs- vorleistung	Prüfungen Sem/Art/Dauer	Dozent
1. Konstruktionswerkstoffe (obl.)	200			8/M/30 oder 8/K/90	Prof. Eckert
2. Werkstoffauswahl (obl.)		210		9/M/30 oder 9/K120	N.N. (Prof. KW)
3. Oberflächentechnik (obl.)	201			8/M30 oder 8/K/90	Prof. Simmchen
4. Verbundwerkstoffe	200			8/M/30 oder 8/K/90	Prof. Kieback
5. Schadensfallanalyse	200			8/M/30 oder 8/K/120	N.N. (Prof. KW)
6. Fachinformatik in der Werkstoffwissenschaft		101		9/K/90	Prof. Bauch
7. Qualitätssicherung		200		9/K/90	Prof. Eckert
8. Metastabile Werkstoffe	200			8/M/30	Prof. Eckert/ Dr. Gebert

gemäß Prüfungsordnung von 2006

Termine:

Mittwochs, 6. DS, Berndt-Bau H 105

16.10.2013 – 6.02.2014

Sprechstunde:

nach Vereinbarung u. Mittwochs zw. 14:00 – 15:00 Uhr

Prüfung:

Klausur, 120 min

Literatur

VDI-Richtlinie 3822

G. Lange: Systematische Beurteilung technischer Schadensfälle, Wiley-Verlag

K. G. Schmitt-Thomas: Integrierte Schadenanalyse, VDI-Verlag

A. Neidel et al.: Handbuch Metallschäden, Hanser-Verlag

J. Grosch: Schadenskunde im Maschinenbau, expert-Verlag

Stahlinstitut (VDeH): Erscheinungsformen von Rissen und Brüchen metallischer Werkstoffe, Stahl&Eisen Verlag

H. Schumann: Metallografie, Wiley-Verlag

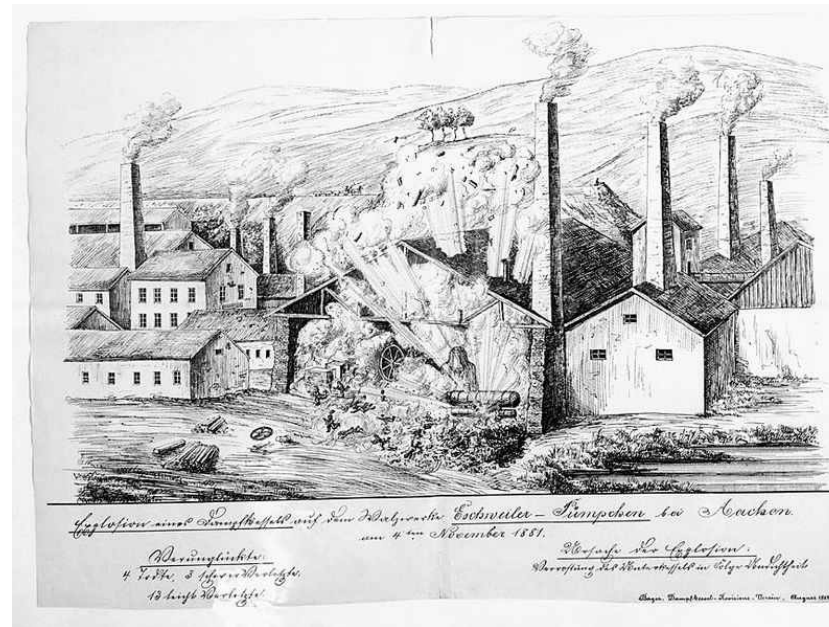
G. Petzow: Metallographisches, keramographisches und plastographisches Ätzen, Bornträger Verlag

Zeitschriften: Maschinenschaden, Failure Analysis



Bedeutung der Schadensanalyse

Schadensanalyse – Warum brauche ich das?



- Dampfkesselexplosion 1881. Lithographie des Bayerischen Dampfkessel-Revisionsvereins
- 1800 – 1870: 936 Explosionen mit 1615 Toten und 2097 Verletzten in England
- 1875-1905: 500 Explosionen mit 300 Toten und großem Sachschaden in Deutschland
- „Dampfkessel-Überwachungs- und Revisions-Vereine“ (DÜV) wurden als Selbsthilfe-Organisationen der Dampfkessel-Betreiber gegründet
- Vorläufer des Technischen Überwachungsvereins TÜV

Schadensanalyse – Warum brauche ich das?

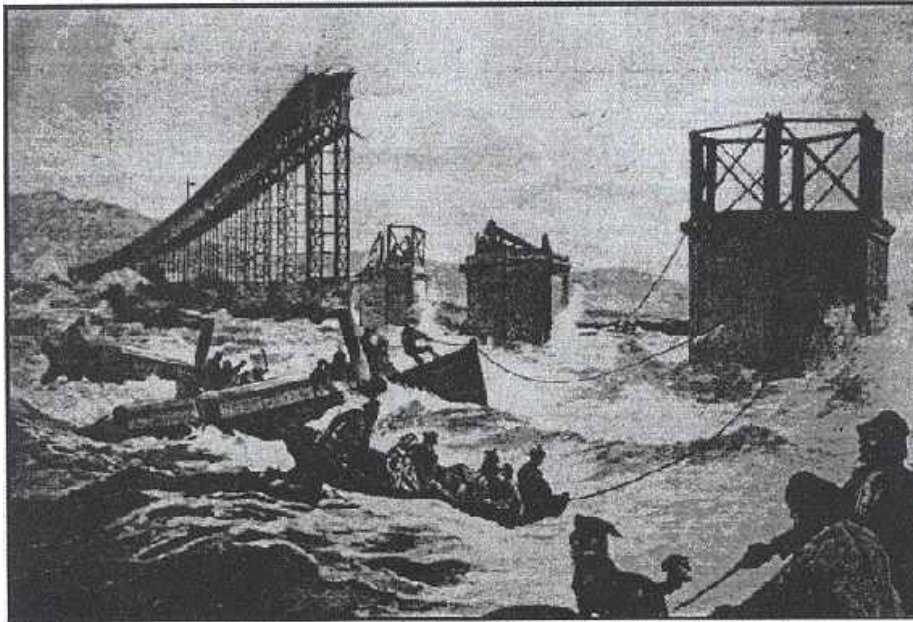


Abb. 2: Die Tay-Bridge Katastrophe aus der Sicht eines zeitgenössischen Künstlers am Tage nach dem Unglück.



- Einsturz der Brücke Firth of Tay 1879 bei stürmischem Wetter, ein Zug wird in die Tiefe gerissen und mehr als 200 Menschen starben
- Ursachen: unzureichende Berücksichtigung von Windlasten, Konstruktionsmängel, aber auch Fehlstellen im Werkstoff Gußeisen

Schadensanalyse – Warum brauche ich das?

1992-10-04	El Al Flight 1862	Bijlmermeer	Boeing 747	Metal Fatigue	4 on board, 39 on ground	engine broke off, ripped of slats; stall and crash on attempted landing
1978-06-26	Helikopter Service Flight 451	Norway: Norwegian Sea	Eurocopter AS 332L1 Super Puma	Fatigue	12	The accident was caused by a fatigue crack in the spline , which ultimately caused the power transmission shaft to fail. The helicopter crashed into the sea. ^[7]
2001-11-12	American Airlines Flight 587	USA: New York	Airbus A300	pilot error	265	overuse of rudder leading to loss of vertical stabilizer
2002-04-30	2002 Eglin F-15 crash	USA: Gulf of Mexico	F-15 Eagle	[specify]	1	near Eglin AFB : leading edge failed during test dive
2002-05-25	China Airlines Flight 611	Taiwan: Taiwan Strait near Penghu Islands	Boeing 747	maintenance	225	faulty repair: tail section broke off, causing aircraft to disintegrate
2003-02-01	Space Shuttle Columbia disaster	USA: Texas	Space Shuttle	faulty design	7	damaged TPS during launch, breakup during reentry
2008-05-30	2008 general aviation crash	Spain	Pilatus PC-6	[specify]	2	wing failure

Schadensanalyse – Warum brauche ich das?

Schadensfall am Heathrow Airport:

Während ein Flugzeug abgeschleppt wurde, riss die Schleppstange und beschädigte damit ein Kabel, das mit dem Bremssystem des Flugzeugs verbunden war. Damit wurde die hydraulische Versorgung der Bremsen unterbrochen und der Bodenpilot verlor die Kontrolle über das Flugzeug.

Folge:

Das Flugzeug rollte die leicht abschüssige Bahn herunter und krachte in einen anderen Jumbo Jet.

Kosten:

**1/2 Million Pfund Reparaturkosten
für British Airways**

(gemäß R. A. Smith, ISBN 0419 20700 7)





Schadensanalyse – Warum brauche ich das?

Was versteht man unter „Glasübergangstemperatur“?

Schadensanalyse – Warum brauche ich das?

Challenger Katastrophe im Jahr 1986 – Ein Beispiel für die Rolle, die scheinbar untergeordnete Teile für die Auslösung fataler Schadensfälle haben kann.



Schadensanalyse – Warum brauche ich das?

Challenger Katastrophe im Jahr 1986:

Ursache war ein nur wenige Dollar teurer Dichtring.



Feynman bei der Sitzung des
Kommissionsausschusses

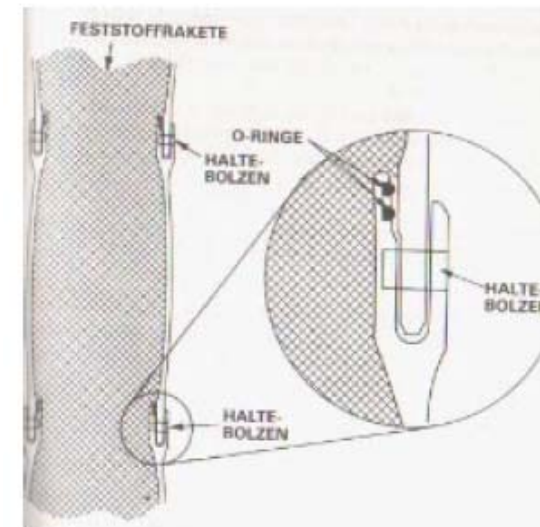


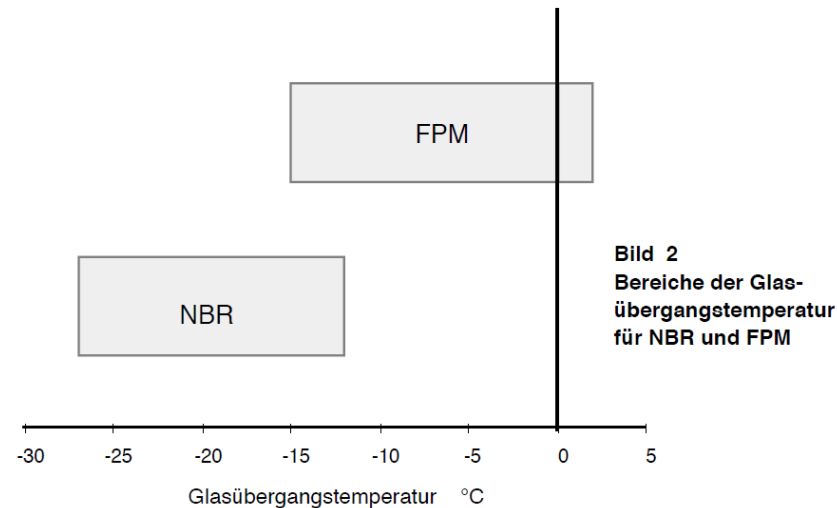
Abbildung 1: Aufbau Feststoffrakete, [1, S. 129]

Die Außentemperatur betrug vor dem Start lediglich $-1,6^{\circ}$ Celsius!

Das Gummi musste aber hoch elastisch sein, damit es sich schnell genug ausdehnen konnte, um den Spalt schnellstmöglich wieder abzuschließen.

Schadensanalyse – Warum brauche ich das?

Challenger Katastrophe im Jahr 1989:



Bei Polymeren handelt es sich um sehr lange Kettenmoleküle. Entlang dieser Ketten sind die einzelnen Kettenelemente gegeneinander drehbar. Folge: sehr gutes elastisches Verformungsvermögen.

Die Temperatur, unterhalb der die thermische Energie nicht mehr ausreicht, um die Drehbewegungen zu vollführen, heißt *Glasübergangstemperatur*. Unterhalb der Glasübergangstemperatur verlieren Elastomere ihre typische Eigenschaft

Schadensanalyse – Warum brauche ich das?

Challenger Katastrophe im Jahr 1986:

Versagen eines O-Rings war zwar aus technischer Sicht die Ursache für die Katastrophe, allerdings wurde die Unsicherheit bzgl. der fehlenden Elastizität des O-Rings bei niedrigen Temperaturen bereits im Vorfeld kommuniziert.

Abschlußsatz in Feynmans Bericht:

For a successful technology, reality must take precedence over public relations, for nature cannot be fooled. [3]

Schadensanalyse – Warum brauche ich das?

Herald of Free Enterprise Unglück von 1987:

Kentern der Fähre (zwischen Zeebrügge und Dover) kostete insgesamt 193 Menschen das Leben.

Trauriges Beispiel für die Verkettung von zum Teil banalen menschlichen und technischen Fehlern!



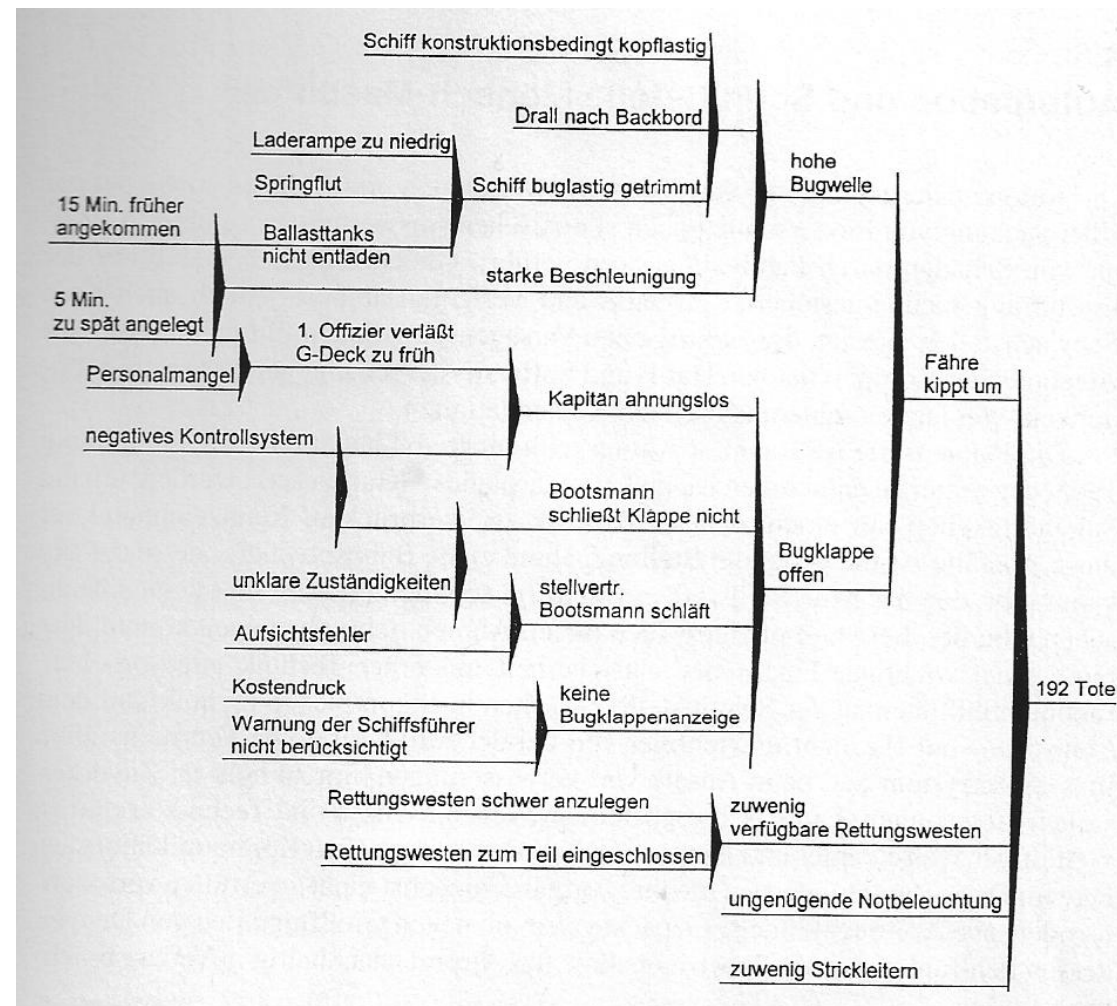
Schadensanalyse – Warum brauche ich das?

Herald of Free Enterprise Unglück von 1987:

- Konstruktionsfehler: Laderampe
- Höhere Beanspruchung durch zu hohe Geschwindigkeit
- Fehlendes Kontrollsystem hinsichtlich Bugklappe
- Unklare Zuständigkeiten
- Rettungsutensilien nur teilweise verfügbar

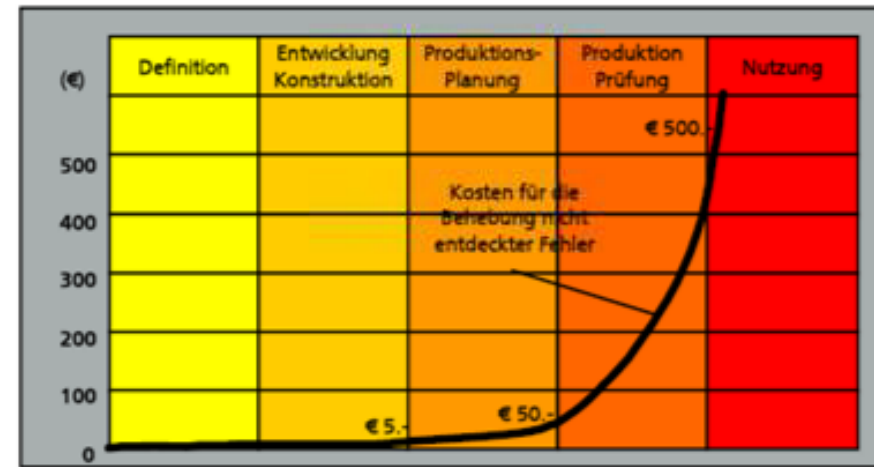
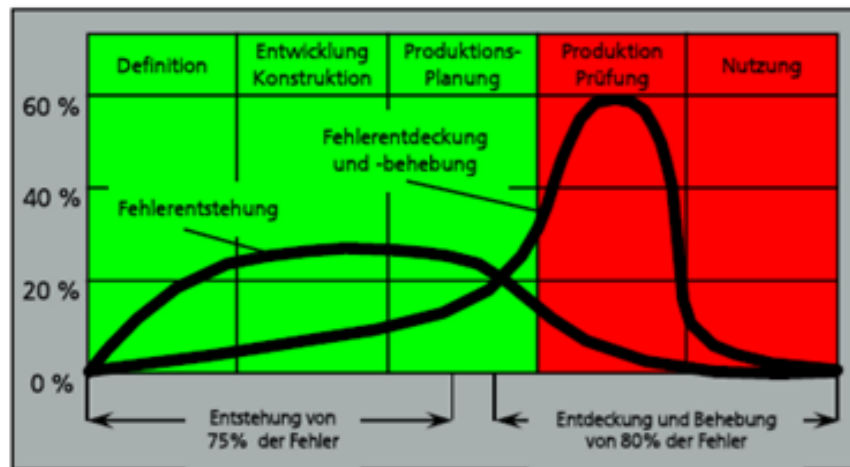


Schadensanalyse – Warum brauche ich das?





Schadensanalyse – Warum brauche ich das?



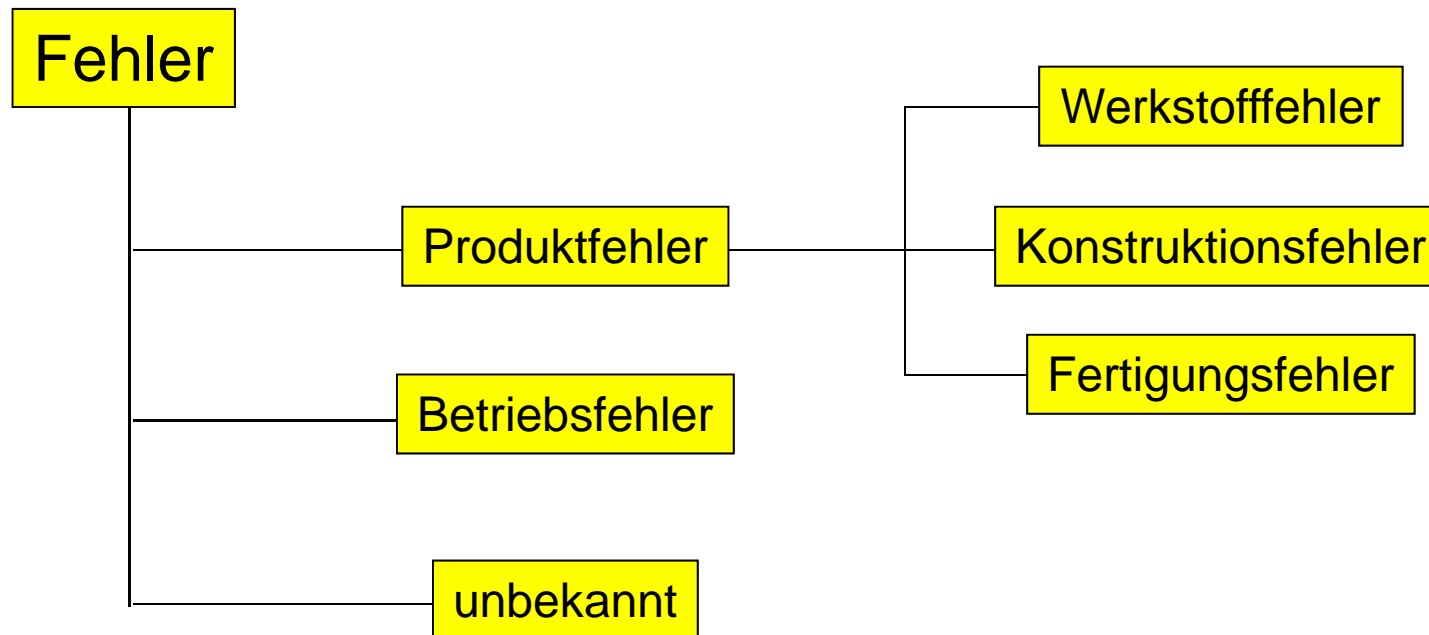
Systematische Qualitätsplanung - Fehlervermeidung statt Fehlerentdeckung

Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse

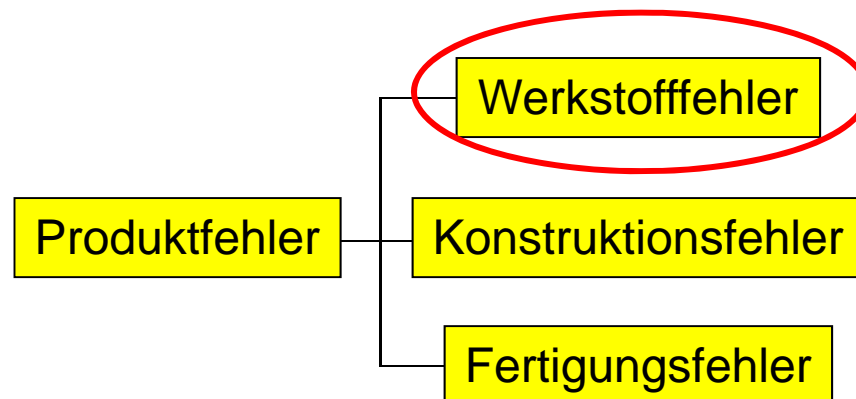
Sicherstellung, dass keine fehlerhaften Produkte entwickelt und / oder ausgeliefert werden!



Schadensanalyse: Fehlerursachen



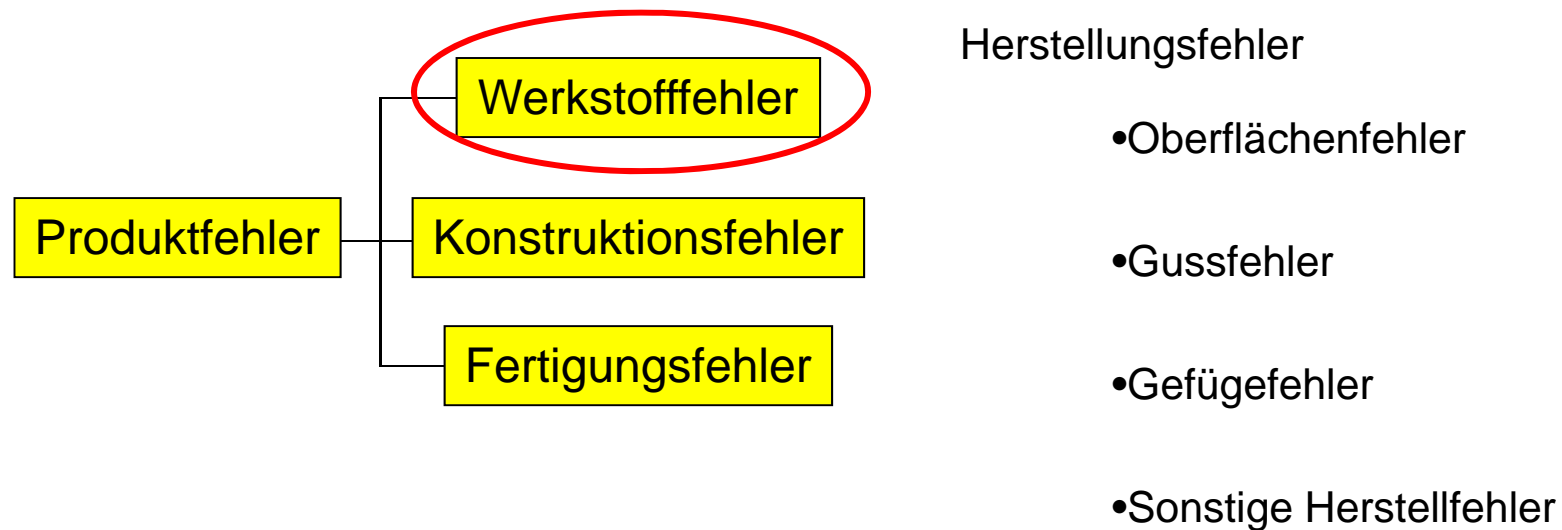
Schadensanalyse: Fehlerursachen



Eigenschaftsfehler:

- zu geringe stat. od. dyn. Festigkeit
- zu geringe Kerbschlagzähigkeit
- zu geringe Härte
- mangelhafte Temp.-beständigkeit
- mangelhafte Korrosionsbeständigkeit
- zu geringe Verschleißfestigkeit

Schadensanalyse: Fehlerursachen



Schadensursache

Belastung
z.B. F , M_B , M_T

Bauteilgeometrie
z.B. A , I , W , W_T

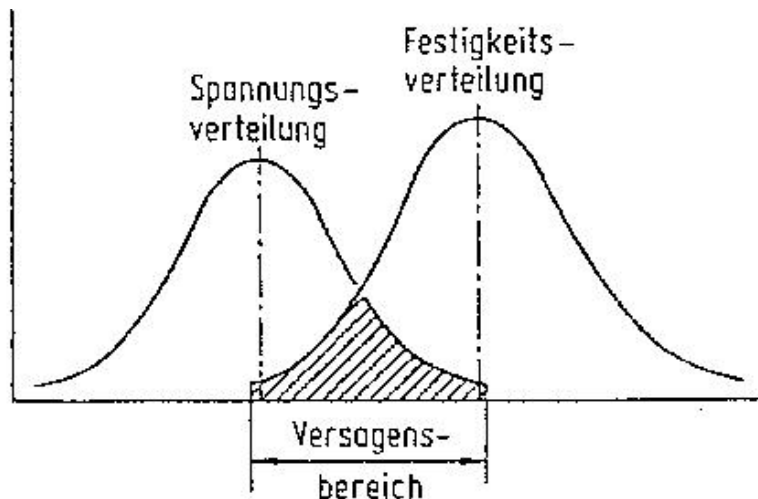
Werkstoffkennwert
z.B. $R_{P0,2}$, R_e , R_m , σ_D

Sicherheitsfaktor
z.B. S_F , S_B

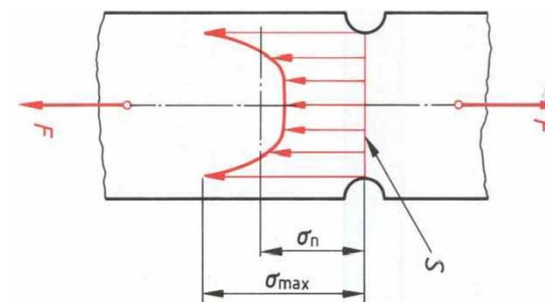
wirksame
Spannung

zulässige
Spannung

Festigkeitsnachweis



Wichtiger Aspekt: Kerbwirkung



Werkstoffkennwert: Bruchzähigkeit!

Schadensfolge

- direkte materielle Verluste
 - Instandsetzungskosten
 - Ersatzteilbeschaffung
 - Erneuerung
- indirekte materielle Verluste (Folgeschäden)
 - Stillstand einer Anlage
 - Produktausfall
- Personenschäden
- Umweltschäden
 - Ölpest
 - Radioaktive Verseuchung
 - Kontamination von Böden
- moralische Schadensfolgen
 - Bonitätsverlust

Produkthaftungsgesetz

Durch das Produkthaftungsgesetz (Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte – ProdHaftG) vom 15. Dezember 1989 (BGBl. I S. 2198) muss der Hersteller eines Produkts für etwaige Sach- und Personenschäden aufkommen. Hierbei ist ein Produkt als fehlerhaft anzusehen, wenn Folgendes nachgewiesen werden kann, gemäß Richtlinie 85/374/EWG des Rates vom 25. Juli 1985 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Haftung für fehlerhafte Produkte: Artikel 6

(1) Ein Produkt ist fehlerhaft, wenn es nicht die Sicherheit bietet, die man unter Berücksichtigung aller Umstände, insbesondere

a) der Darbietung des Produkts,

b) des Gebrauchs des Produkts, mit dem billigerweise gerechnet werden kann,

c) des Zeitpunkts, zu dem das Produkt in den Verkehr gebracht wurde, zu erwarten berechtigt ist.

(2) Ein Produkt kann nicht allein deshalb als fehlerhaft angesehen werden, weil später ein verbessertes Produkt in den Verkehr gebracht wurde.

Artikel 7

Der Hersteller haftet aufgrund dieser Richtlinie nicht, wenn er beweist,

...

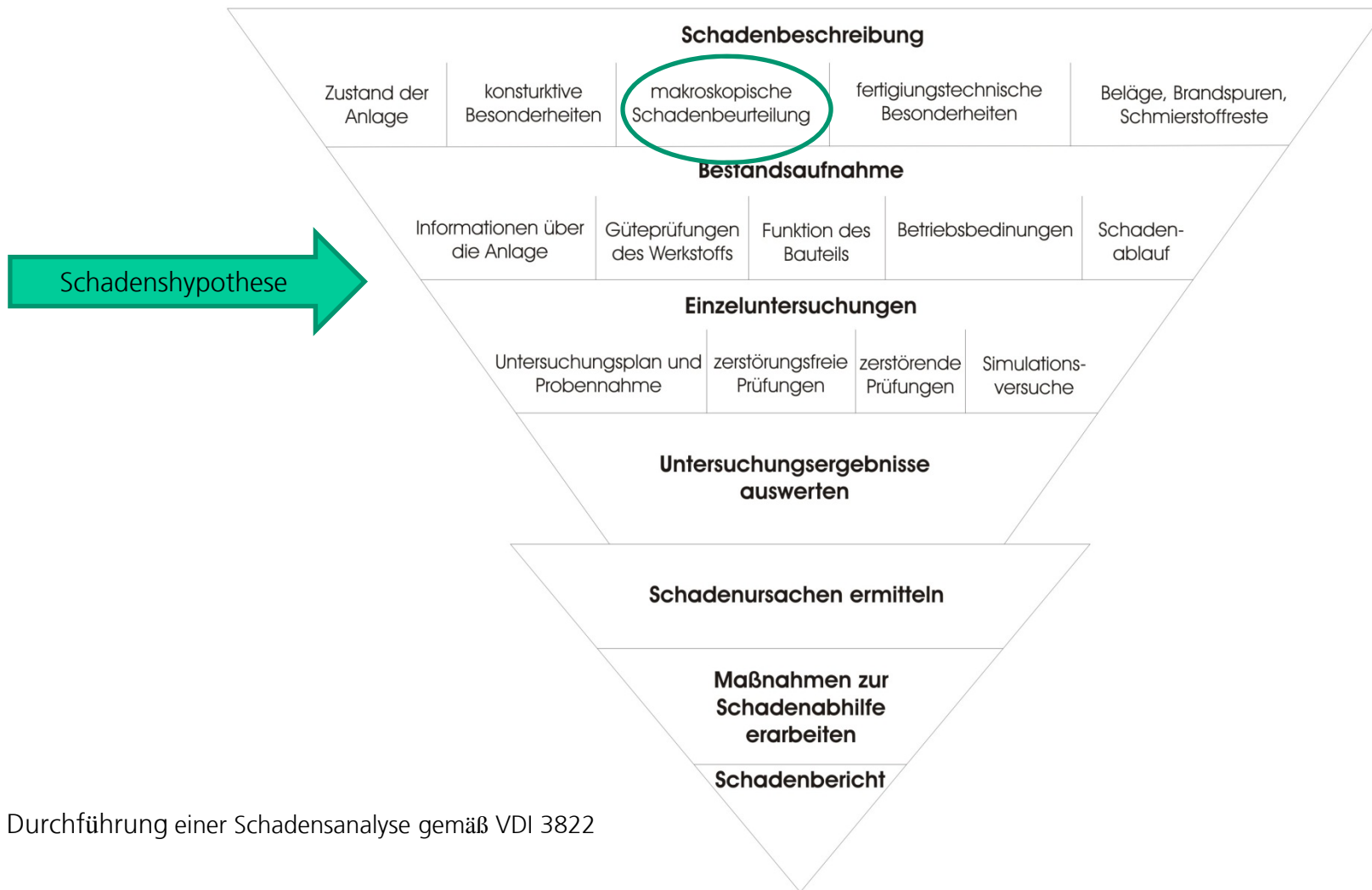
e) dass der vorhandene Fehler nach dem Stand der Wissenschaft und Technik zu dem Zeitpunkt, zu dem er das betreffende Produkt in den Verkehr brachte, nicht erkannt werden konnte

Begriffe und Definitionen

Begriffe (gemäß VDI-Richtlinie 3822)

- Schaden
 - Veränderungen an einem Bauteil, durch die seine vorgesehene Funktion wesentlich beeinträchtigt oder unmöglich gemacht wird.
 - Man unterscheidet zwischen
 - Vorschaden, Primärschaden, Folgeschaden und Wiederholungsschaden
- Schadensanalyse
 - Systematische Untersuchungen und Prüfungen zur Ermittlung von Schadensablauf und -ursache
- Schadenshypothese
 - Die wahrscheinliche Schadensart und der vermutete Schadensablauf dienen zum Aufstellen einer Schadenshypothese und werden üblicherweise als Leitschnur für die Abfolge der Untersuchungen herangezogen. Die Schadenshypothese wird entscheidend durch Erfahrung beeinflusst.
- Schadensart
 - Zuordnung des Schadens zu einem bestimmten Schadensmechanismus
- Schadensmerkmale
 - Charakteristische Kennzeichen eines Schadens

Begriffe und Definitionen



Durchführung einer Schadensanalyse gemäß VDI 3822

Makroskopische Schadensbeurteilung

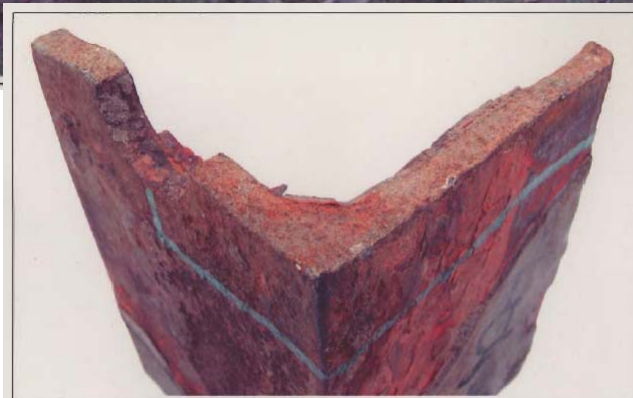
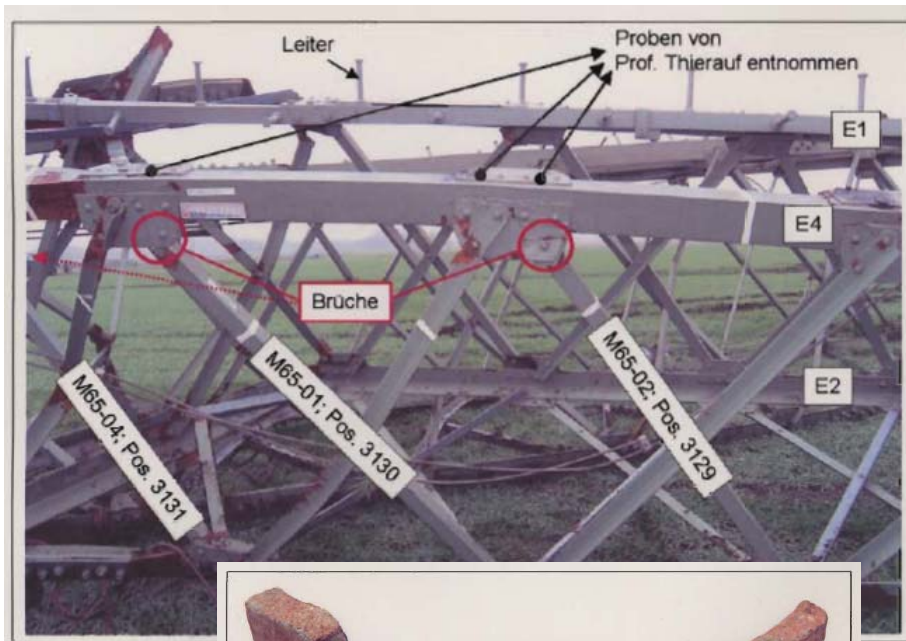


Bild 59: 1503-M65-04-03 (1960), Diagonale, St 37.12. Bruchfläche an einem Loch. Probe vor der Reinigung. Die grüne Linie markiert den vorgesehen Trennschnitt. Digitalkamera.

M65-01 60x6 St 37	2 Niete Ø 17mm	0 °C	Abscheren der Niete, Verformungen des inneren Nietloches, Diagonale am Ende spröde angerissen F_{max} : 170 kN	 BAM-V.3/442 Probe M65-01 0 5 10 cm
M65-08A 60x6 St 37	2 Niete Ø 17mm	0 °C	Spaltbruch im Querschnitt des inneren Nietloch F_{max} : 125 kN	 BAM-V.3/442 Probe M65-08 0 5 10 cm
M65-09 60x6 St 37	2 Niete Ø 17mm	0 °C	Spaltbruch im Querschnitt des inneren Nietloch F_{max} : 94 kN	 BAM Diagonale M65-09

Beispiel für einen Untersuchungsbericht

Am Beispiel: Versorgungsstörungen im Netzbetrieb des RWE im Münsterland, 25.1.2.005

Gutachten der BAM (Bundesanstalt für Materialprüfung, Sitz in Berlin) umfasst insgesamt 194 Seiten und beinhaltet u.a.

- Literaturrecherche
- Bauteilversuche
- Mechanische u. chemische Untersuchungen
- Metallographische Untersuchungen
- Fraktographie
- Konstruktive Überlegungen



Schadensfallanalyse: Untersuchungsmethoden

Arbeitsschritte bei der Schadensanalyse „im Kleinen“:

Gesamtschaden

Maschine/Anlage

Schadenteile

Untersuchungsmaterial

Schadenmerkmale

Untersuchungsschritte

Ergebniszuordnung

Folgerungen aus Merkmalen auf
Beanspruchungsabfolgen u. Werkstoffzustände

Kombinieren der
Teilergebnisse

Hypothesen zum Schadensablauf

Abgleich: Schadensablauf
u. Ursachen

Soll.Ist-Vergleich der Schadenssituation aus den
Hypothesen mit der tatsächlichen Situation

Schadensfallanalyse: Untersuchungsmethoden

Dokumentation einer Schadensanalyse im Detail:

- Problembeschreibung (Randbedingungen des aufgetretenen Schadens)
- Detaillierte Beschreibung des Schadensfalls (inkl. Historie)
- Festlegung des Umfangs der Schadensanalyse
- **Schadensanalyse**
 - Sichtung des Tatbestands, Sicherung der Schadenskomponenten vor Ort bzw. Photographien etc.
 - Laboranalysen (zerstörungsfreie u. zerstörende Analysen)
 - Beanspruchungsanalyse
- Aktueller Status der Beweisstücke/Beweislage
- Schlussfolgerungen aus der Analyse

Deshalb brauchen wir die Schadensanalyse!

ICE-Unfall im Jahr 1998 in Eschede:

3. Juni 1998, Bahnstrecke Hannover–Hamburg in der Gemeinde Eschede (Niedersachsen), ICE 884 „Wilhelm Conrad Röntgen“

Es kamen 101 Menschen ums Leben, 88 wurden schwer verletzt (von 287 Mitfahrern)



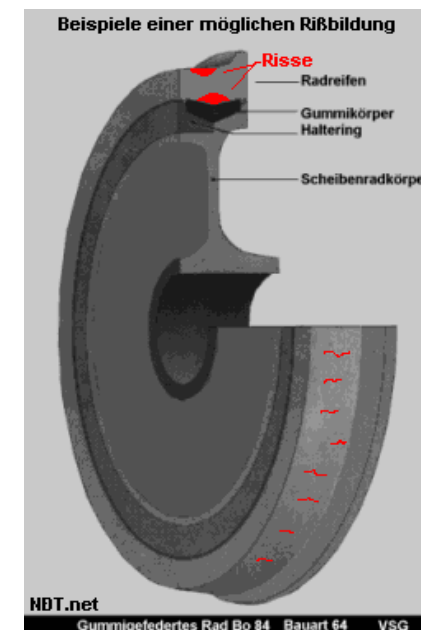
http://de.wikipedia.org/wiki/ICE-Unfall_von_Eschede
<http://www.wissen.de/ice-unglueck-von-eschede>

Deshalb brauchen wir die Schadensanalyse!

ICE-Unfall im Jahr 1998 in Eschede:

Ursache: defekter Radreifen an einer Achse des ersten Wagens

Neue Räder: zwischen dem außen liegenden Radreifen und dem Radkern ist eine 20 mm starke Zwischenschicht aus Hartgummi eingebettet, so dass im Gegensatz zum klassisch ohne Spiel aufgesetzten Radreifen eine gedämpfte Bewegung zwischen Reifen und Rad möglich wird. (serienmäßiger Einsatz im ICE nicht bei Geschwindigkeiten von über 200 km/h dauererprobt)



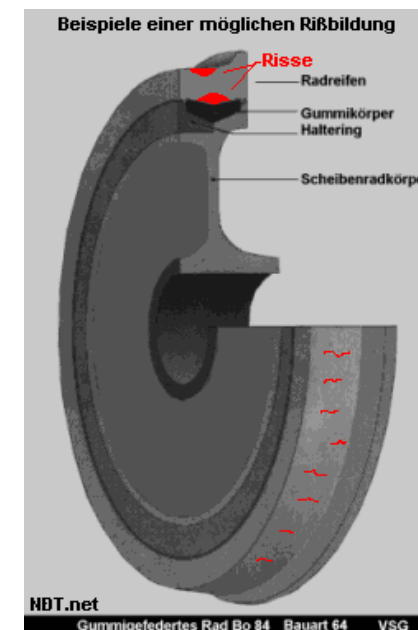
Deshalb brauchen wir die Schadensanalyse!

ICE-Unfall im Jahr 1998 in Eschede:

Ursache: defekter Radreifen an einer Achse des ersten Wagens

Neue Räder: zwischen dem außen liegenden Radreifen und dem Radkern ist eine 20 mm starke Zwischenschicht aus Hartgummi eingebettet, so dass im Gegensatz zum klassisch ohne Spiel aufgesetzten Radreifen eine gedämpfte Bewegung zwischen Reifen und Rad möglich wird. (serienmäßiger Einsatz im ICE nicht bei Geschwindigkeiten von über 200 km/h dauererprobt)

Der Radreifen am Drehgestell des ersten Wagens beim Unglücks-ICE war etwa 6 km vor der Unglücksstelle gebrochen, hatte sich nach einer Strecke von 200 bis 300 m von der Radscheibe gelöst, sich aufgebogen und im Drehgestell verkeilt. Trotz des defekten Radreifens fuhr der Zug noch rd. 5,5 km weiter. Erst als sich das Trümmerteil - so die Vermutung - in einer Weiche verfängt, wird der Zug mit einem gewaltigen Ruck zum Entgleisen gebracht...



Deshalb brauchen wir die Schadensanalyse!

ICE-Unfall im Jahr 1998 in Eschede:

Folgende Effekte spielten eine Rolle (Aufzählung ohne qualitative Wertung):

- Der Radreifen wird bei jeder Umdrehung durchgewalkt (beim ICE 500.000-mal pro Tag), was das Material zusätzlich beansprucht.
- Im Gegensatz zum Monobloc-Rad können sich beim Radreifen auch kleinste Risse auf der Innenseite bilden, die nur schwer zu diagnostizieren sind, im Radreifen aber zu Spannungsspitzen führen.
- Je dünner ein Radreifen durch Verschleiß wird, desto mehr vergrößern sich die Spannungen und Risse im Reifen.
- Flachstellen und Kerben erhöhen durch den unrunder Lauf des Rades die wirksamen Kräfte im Radreifen erheblich und verschleifen ihn noch schneller

+ Wartungsfehler:

Defekte an Rädern bekannt, aber nicht beachtet?

Methoden zur Überprüfung waren vorhanden, wurden aber wegen des hohen Preises nicht genutzt.