

Das Bauteil als Datenträger - Systematische Schadensanalyse in der Technik

**testXpo Ulm
17. Oktober 2013**

**Dr.-Ing. Lorenz Gerke
W.S. Werkstoff Service GmbH**

1. Was ist Schadensanalyse?
2. Warum Schadensanalyse
3. Wie ist der Ablauf einer Schadensanalyse?
4. Welche Informationen können aus dem Bauteil gewonnen werden?
5. Schadensbeispiel aus der Technik

„Wer einen Fehler begangen hat und ihn nicht korrigiert, begeht einen weiteren Fehler.“

Konfuzius (551 v.Chr. - 479 v.Chr.)



Die Schadensanalyse dient der systematischen Untersuchung eines Schadens mit dem Ziel, gezielte Maßnahmen zur Abhilfe und Prävention treffen zu können

Es werden systematisch alle inneren und äußeren Rahmenbedingungen zum Schaden erfasst und mit geeigneten Untersuchungsmethoden am Bauteil die Schadensmechanismen ermittelt und zu einer Schadensursache kombiniert.



Schadensabhilfe und
Prävention





Ursache: Stahlalterung



Abgeknickter Strommast



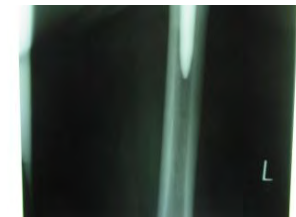
Ursache: Schwingbruch



ICE Unfall Eschede



Ursache: Reibkorrosion



Gebrochene Hüftendoprothese

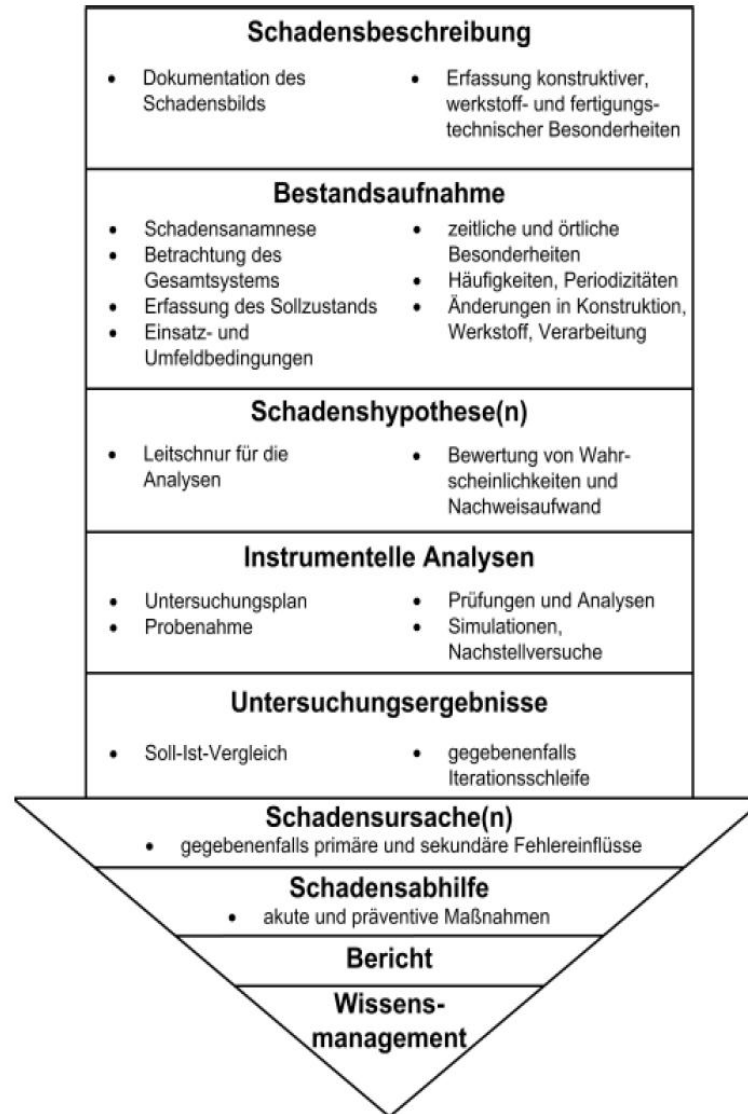


Ursache: schlechter Reinheitsgrad



Gebrochene Dampfturbinenwelle
(Kraftwerk Irsching)

Wie ist der Ablauf einer Schadensanalyse?



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

1. Schritt: Beschreibung des Schadens

- Dokumentation des Schadensbildes (Fotos, Skizzen, etc.)
- Erfassung von Besonderheiten (Werkstofftechnisch, konstruktiv, etc.)
- Durchführung je nach Größe des Schadensfalls in Form eines Ortstermins oder im Labor
- Beschreibung des Allgemeinzustands (Brüche, Risse, Korrosionserscheinungen, Verfärbungen, Verformungen, etc.)

Dient der ersten Übersicht des Schadens

2. Schritt: Bestandsaufnahme

- Hintergrundinformationen zum Schaden und zum Objekt
- Rahmenbedingungen vor Ort (z. B. Äußere Belastungen)
- Rekonstruktion des Schadenshergang
- Bewertung der Konstruktion
- Überprüfung des eingesetzten Werkstoffs, der Fertigung und der betrieblichen Nutzung?

Einer der wichtigsten Punkte bei der Schadensanalyse

Subjektive Informationen auf Vertrauenswürdigkeit prüfen (z.B. auf Interessenkonflikte achten) !

3. Schritt: Erstellung einer Schadenshypothese

- Formulierung einer Hypothese zum Schaden aus den bisher gewonnenen Informationen aus Schadensbeschreibung und Bestandsaufnahme
- Durch Erfahrung und Hintergrundwissen können so die wahrscheinlichsten Schadenshergänge als Hypothese beschrieben werden

Dient der Grundlage auf der Basis die späteren Untersuchungen durchgeführt werden.

4. Schritt: Untersuchungen am Schadensteil

- Abarbeiten entsprechend einem vorher definierten Untersuchungsplan
- Untersuchungen werden entsprechend der Schadenshypothese durchgeführt

Achtung: Sorgfältige Probennahme und Präparation zur Vermeidung von Artefakten !

Dient der Bestätigung der Hypothese

- Im Fall, dass die Hypothesen nicht bestätigt werden, muss eine neue Schadenshypothese aufgestellt werden

5. Schritt: Ermittlung der Schadensursache

- Alle Untersuchungsergebnisse werden zusammen mit den Informationen aus Beschreibung und Bestandsaufnahme verknüpft um die Schadensursache zu ermitteln
- Möglicherweise existieren mehrere Ursachen

Dient der Basis für eine Einleitung von Schadensabhilfemaßnahmen

6. Schritt: Dokumentation der Schadensanalyse

- Alle Untersuchungsergebnisse werden systematisch und vollständig zur Rückverfolgung dokumentiert.

Dient der nachverfolgbaren Dokumentation der Schadensanalyse

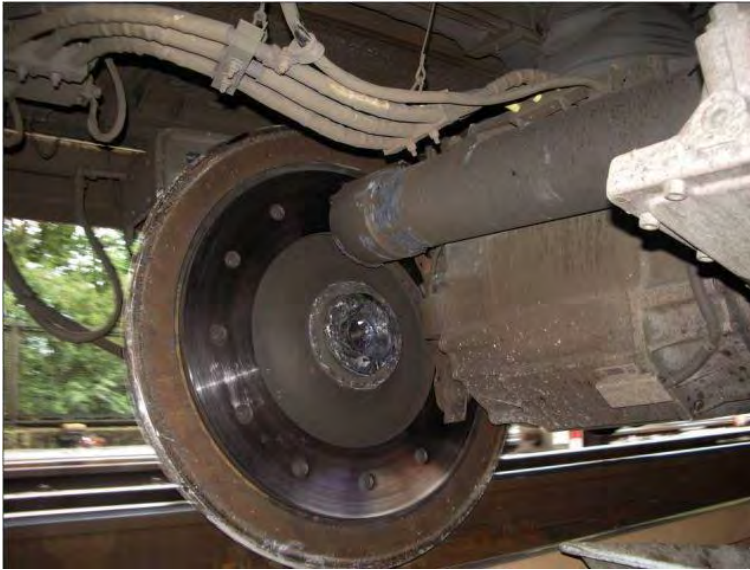
Möglichkeiten zur Erstellung einer Datenbank aus Schadensanalysen, die nach Stichworten (z.B. Schadensmechanismen) kategorisiert werden können.

- Sammlung von Erfahrung, damit künftig diese Fehler vermieden werden können.

- Schäden durch mechanische Belastung – VDI 3822 Blatt 2
- Schäden durch Korrosion in Elektrolyten – VDI 3822 Blatt 3
- Schäden durch thermisch Beanspruchung – VDI 3822 Blatt 4
- Schäden durch tribologische Beanspruchung – VDI 3822 Blatt 5
- Flüssigmetallinduzierte Rissbildung beim Stückverzinken – VDI 3822 Blatt 1.6

Inhalt der Richtlinien:

- Beschreibung der einzelnen Schadensmechanismen mit deren Erscheinungsformen
- Unterteilung in makroskopische und mikroskopische Erscheinung
- Beispielbilder



- Informationen zu chemischer Zusammensetzung → **Spektralanalyse**
- Informationen zu Festigkeit → **Zugversuch, Härtemessung**
- Informationen zur Zähigkeit → **Kerbschlagbiegeversuch**
- Informationen zum Werkstoffgefüge → **Metallographie**
- Informationen zur Bruchart → **Fraktographie (Stereomikroskop, Rasterelektronenmikroskop)**
- Informationen zu Oberfläche und Beschichtungen → **GDOS, XPS, Metallographie + REM, EDX, Härtemessungen**
- Informationen zur Kristallstruktur → **Röntgendiffraktometrie**

Schadensbeschreibung

- Dokumentation des Schadensbilds
- Erfassung konstruktiver, werkstoff- und fertigungstechnischer Besonderheiten

Bestandsaufnahme

- Schadensanamnese
- zeitliche und örtliche Besonderheiten
- Betrachtung des Gesamtsystems
- Häufigkeiten, Periodizitäten
- Erfassung des Sollzustands
- Änderungen in Konstruktion, Werkstoff, Verarbeitung
- Einsatz- und Umfeldbedingungen

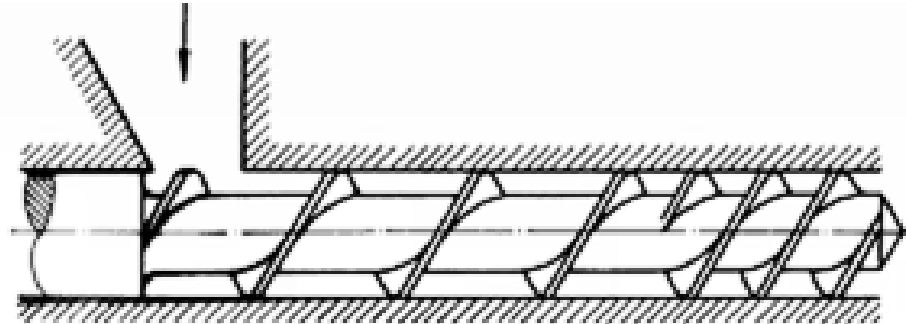
Schadenshypothese(n)

- Leitschnur für die Analysen
- Bewertung von Wahrscheinlichkeiten und Nachweisaufwand

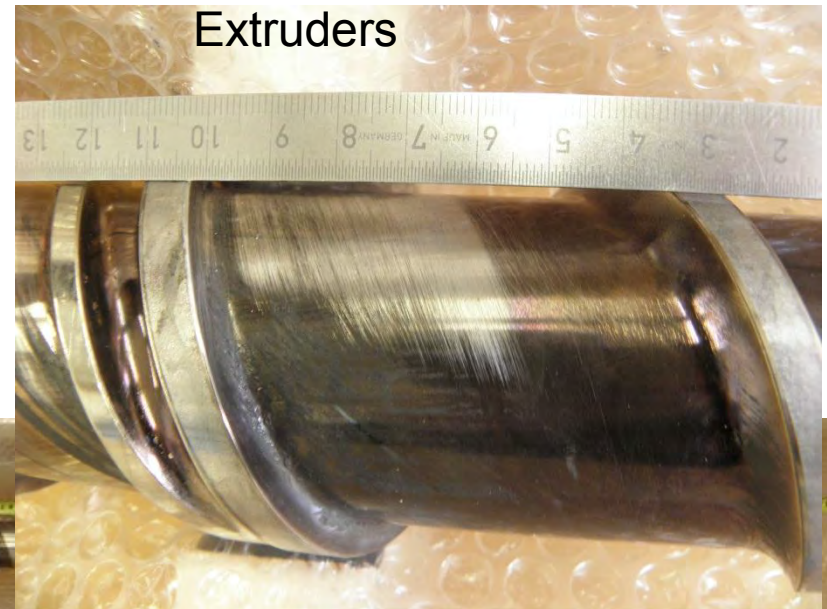
Instrumentelle Analysen

- Untersuchungsmethoden, Prüfverfahren, Nachweise
- Probenentnahme

- Soll-Ist
- ge



Vereinfachte schematische Darstellung des Extruders



Extruderschnecke für die Kunststofffolienherstellung

- Werkstoff: 31CrMoV9
- Gasnitriert mit einer NHD = 0,6 + 0,3 mm
- Oberflächenhärte: 780-850 HV
- Aufpanzerung mit Wolframkarbid auf den Schneckenköpfen zum Verschleißschutz

Schadensbeschreibung

- Dokumentation des Schadensbilds
- Erfassung konstruktiver, werkstoff- und fertigungstechnischer Besonderheiten

Bestandsaufnahme

- Schadensanamnese
- zeitliche und örtliche Besonderheiten
- Betrachtung des Gesamtsystems
- Häufigkeiten, Periodizitäten
- Erfassung des Sollzustands
- Änderungen in Konstruktion, Werkstoff, Verarbeitung
- Einsatz- und Umfeldbedingungen

Schadenshypothese(n)

- Leitschnur für die Analysen
- Bewertung von Wahrscheinlichkeiten und Nachweisaufwand

Instrumentelle Analysen

- Untersuchungsplan
- Prüfungen und Analysen
- Probenahme
- Simulationen, Nachstellversuche

Untersuchungsergebnisse

- Soll-Ist-Vergleich
- gegebenenfalls Iterationsschleife

Schadensursache(n)

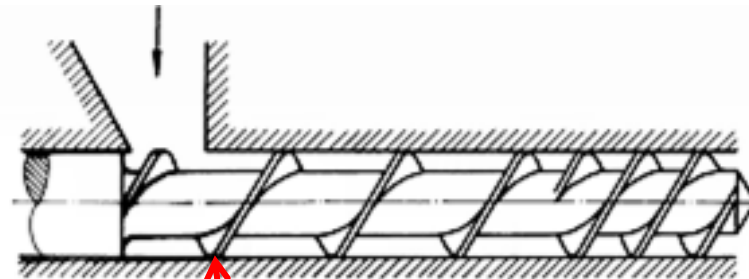
- gegebenenfalls primäre und sekundäre Fehlereinflüsse

Schadensabhilfe

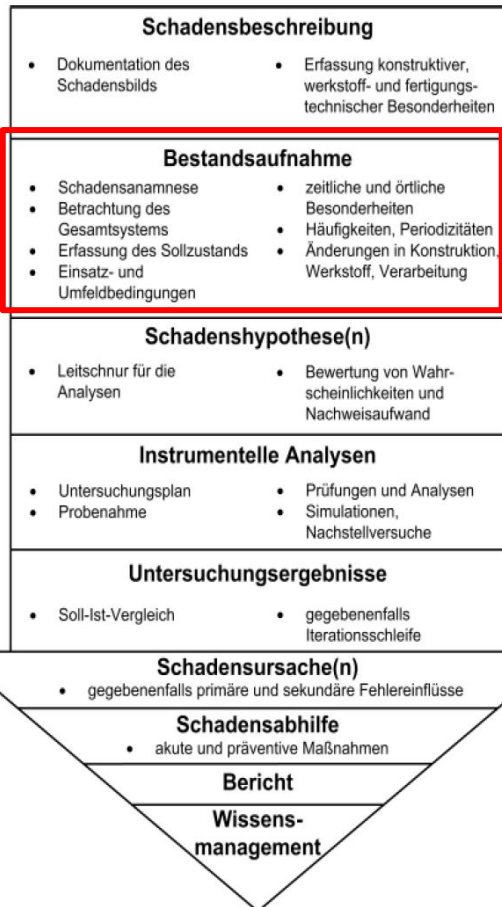
- akute und präventive Maßnahmen

Bericht

Wissensmanagement

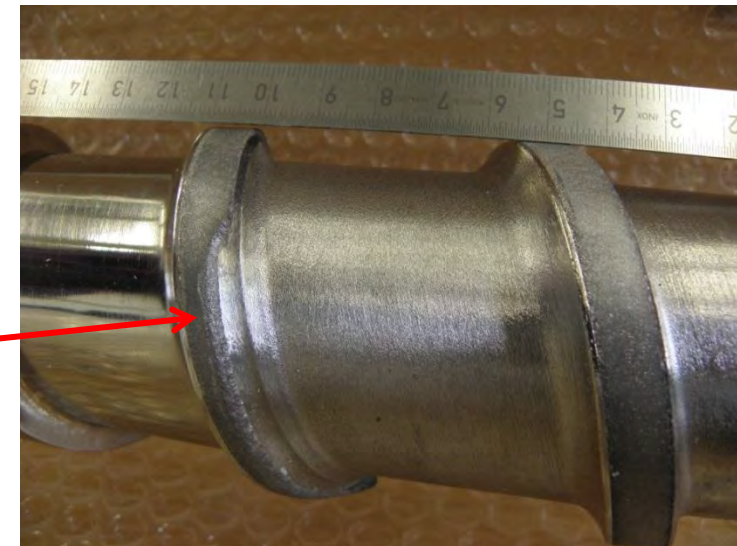


Schaden

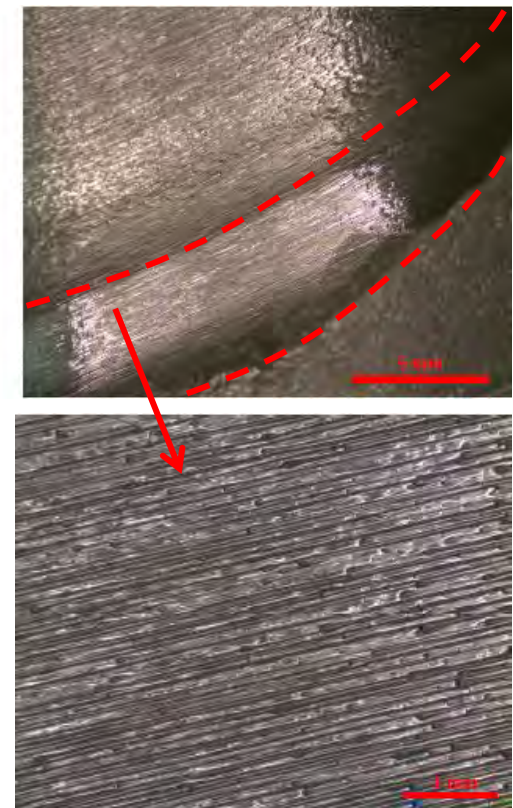
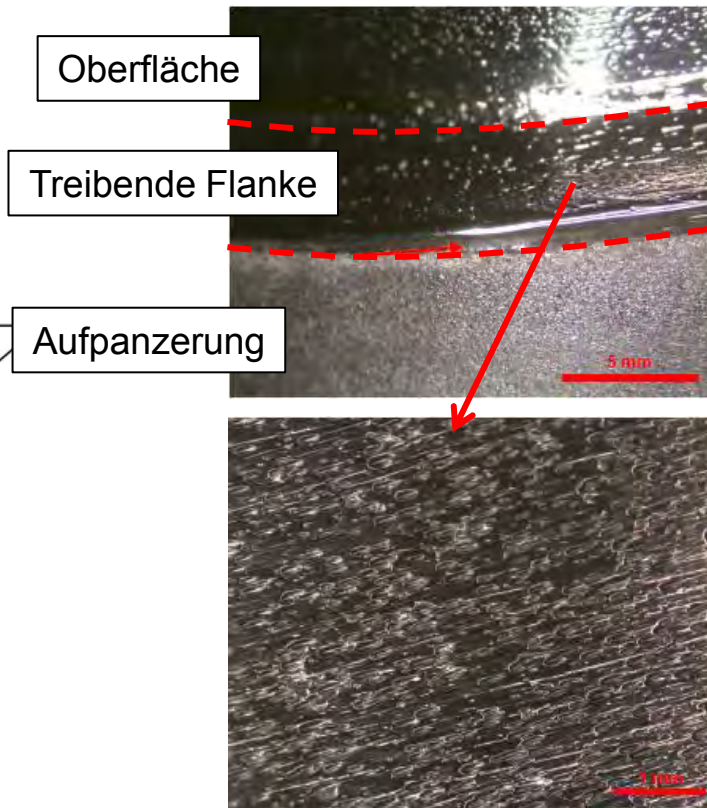
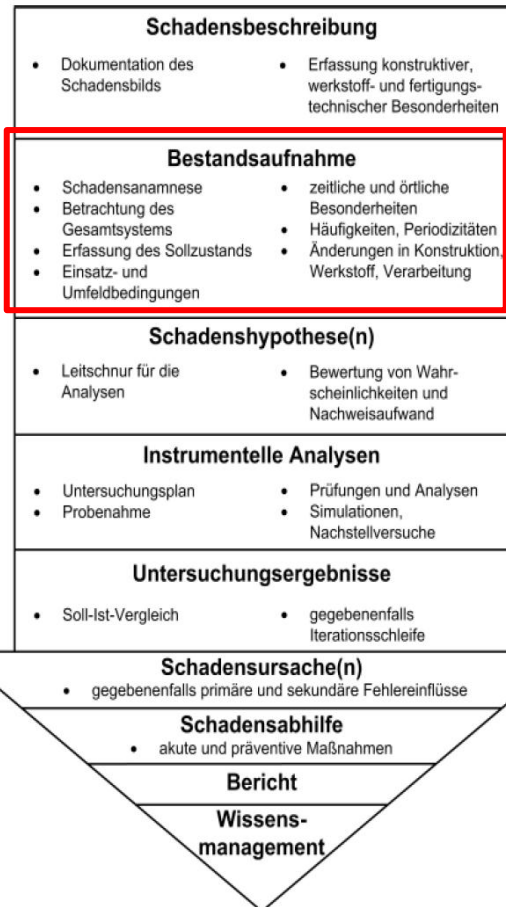


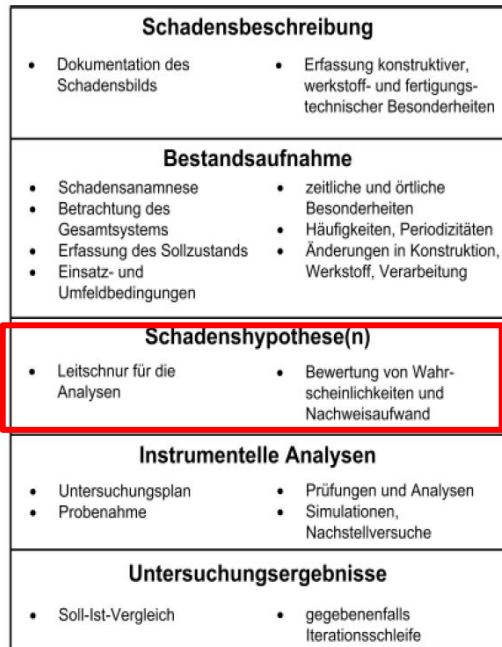
- Der Extruder wird zum Mischen und Verflüssigen des zugeführten Kunststoffgranulates verwendet.
- Im Betrieb bei der Folienherstellung kam es nach weniger als 1 Jahr zum Ausfall der Anlage
- Es waren Teile der Wolframkarbidpanzerung abgeplatzt und wurden in die Anlage gefördert, wo sie weitere Schäden an Walzen verursacht hatten.
- Betriebsdaten: $T = 120^{\circ}\text{C}$ bis 200°C mit $P_{\text{max}} = 1000 \text{ bar}$
- Betriebsmedium: Kunststoffgranulat mit Pigmenten und Füllstoffen, wie Rieselhilfen

Partieller Verlust der Aufpanzerung



- Im Bereich der Einfüllung starke Verschleißerscheinung auf der Schneckenoberfläche und vornehmlich der treibenden Flanke → Verschleiß nur auf 4 Windungen
- Partieller Ausbruch der Aufpanzerung

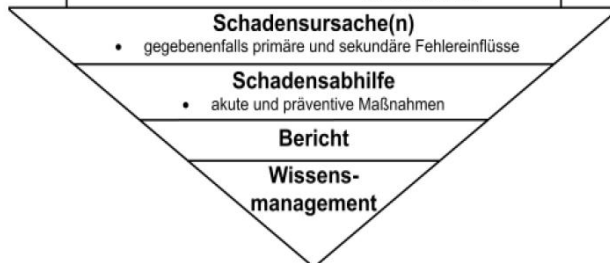




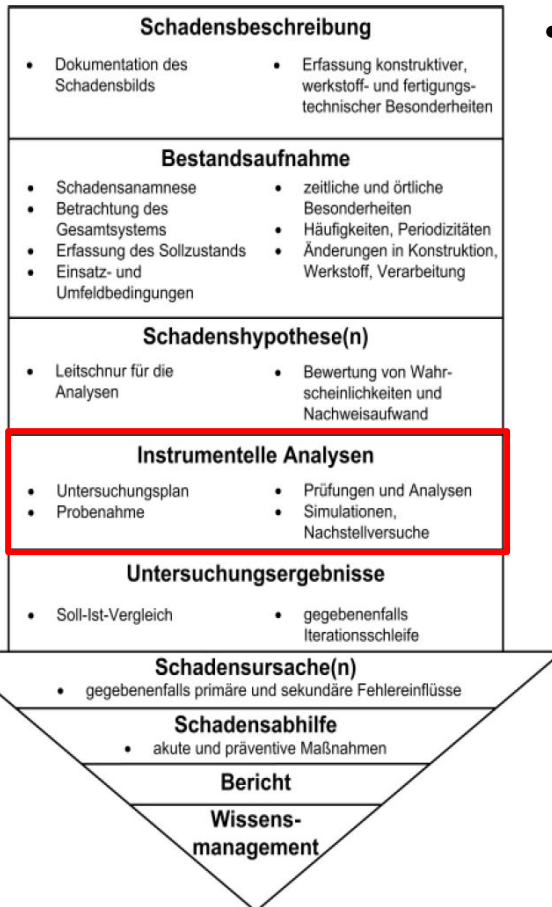
Schadenshypothese:
 Verschleiß durch Festkörperströmung entlang der Förderschnecke

Ursachenmöglichkeiten:

- fehlerhafte Nitrierhärtung
- zu hohe Fördergeschwindigkeiten
- Zu harte Zusatzstoffe im Granulat



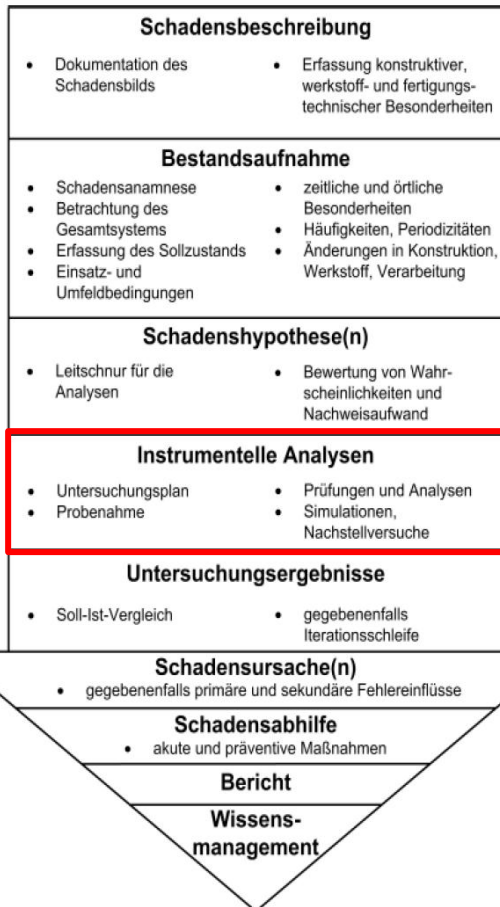
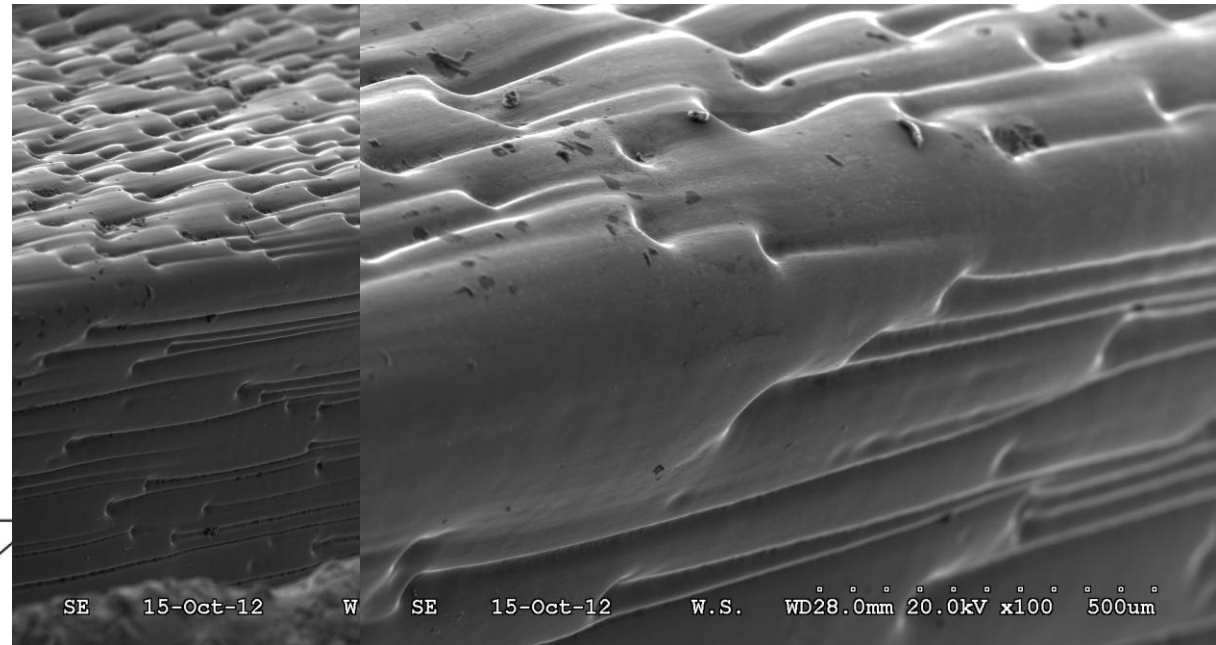
- Überprüfung der chemische Zusammensetzung des eingesetzten Werkstoffs



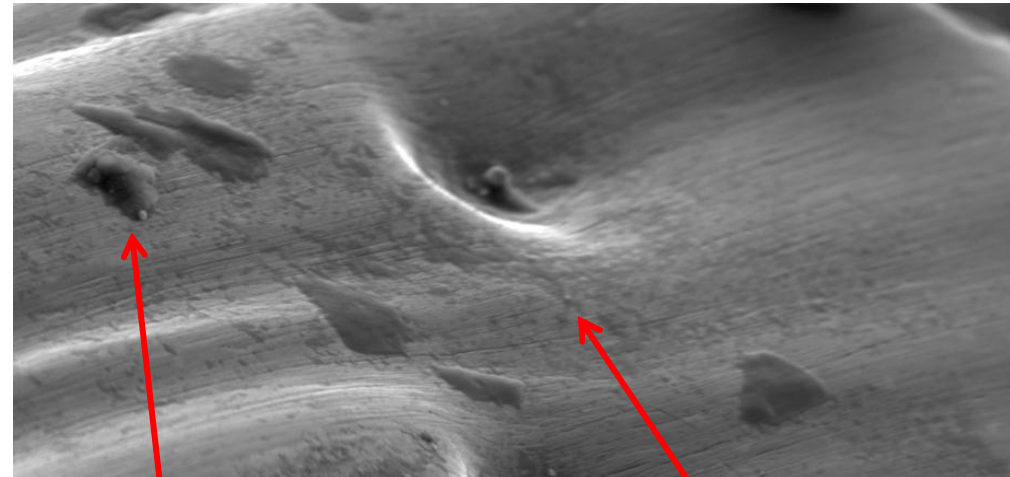
	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]
Sollvorgabe nach DIN EN 10085:2001-07	0,27 – 0,34	max. 0,40	0,40 – 0,70	max. 0,025
Ist-Wert	0,32	0,26	0,45	0,016
MU *)	± 0,009	± 0,015	± 0,023	± 0,001
	S [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]
Sollvorgabe nach DIN EN 10085:2001-07	max. 0,035	2,30 – 2,70	0,15 – 0,30	0,10 – 0,20
Ist-Wert	0,008	2,40	0,16	0,09
MU *)	± 0,001	± 0,035	± 0,008	± 0,001 (**)

Leichte Unterschreitung des Vanadiumgehaltes gegenüber den Vorgaben der Norm

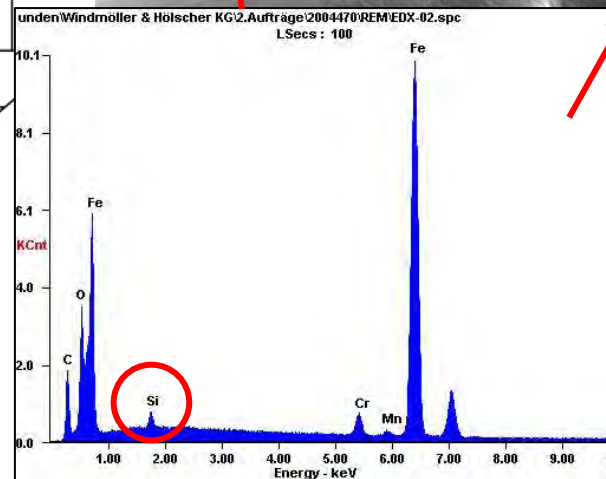
- Untersuchung der Schädigung im Rasterelektronenmikroskop



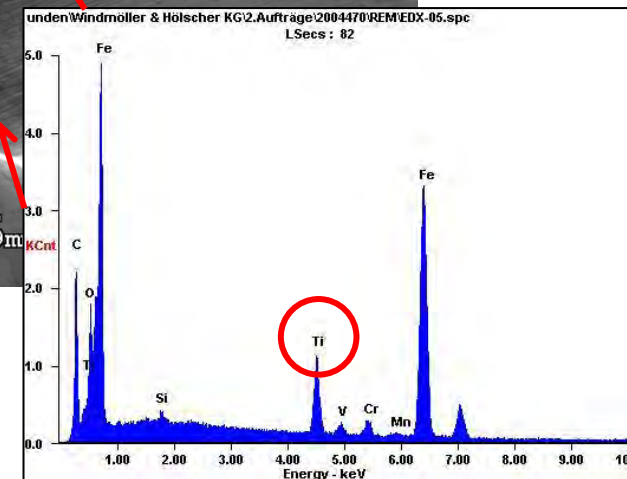
• Untersuchung der Schädigung im Rasterelektronenmikroskop



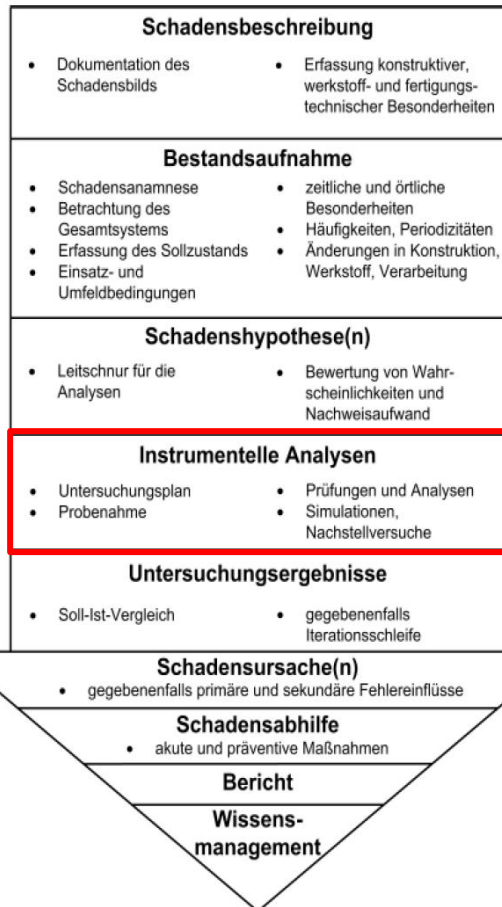
Schadensbeschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> Dokumentation des Schadensbilds 	<ul style="list-style-type: none"> Erfassung konstruktiver, werkstoff- und fertigungstechnischer Besonderheiten
Bestandsaufnahme	
<ul style="list-style-type: none"> Schadensanamnese Betrachtung des Gesamtsystems Erfassung des Sollzustands Einsatz- und Umfeldbedingungen 	<ul style="list-style-type: none"> zeitliche und örtliche Besonderheiten Häufigkeiten, Periodizitäten Änderungen in Konstruktion, Werkstoff, Verarbeitung
Schadenshypothese(n)	
<ul style="list-style-type: none"> Leitschnur für die Analysen 	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung von Wahrscheinlichkeiten und Nachweisaufwand
Instrumentelle Analysen	
<ul style="list-style-type: none"> Untersuchungsplan Probenahme 	<ul style="list-style-type: none"> Prüfungen und Analysen Simulationen, Nachstellversuche
Untersuchungsergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> Soll-Ist-Vergleich 	<ul style="list-style-type: none"> gegebenenfalls Iterationsschleife
Schadensursache(n)	
<ul style="list-style-type: none"> gegebenenfalls primäre und sekundäre Fehlereinflüsse 	
Schadensabhilfe	
<ul style="list-style-type: none"> akute und präventive Maßnahmen 	
Bericht	
Wissensmanagement	



Siliziumhaltige Partikel



Titanhaltige Partikel

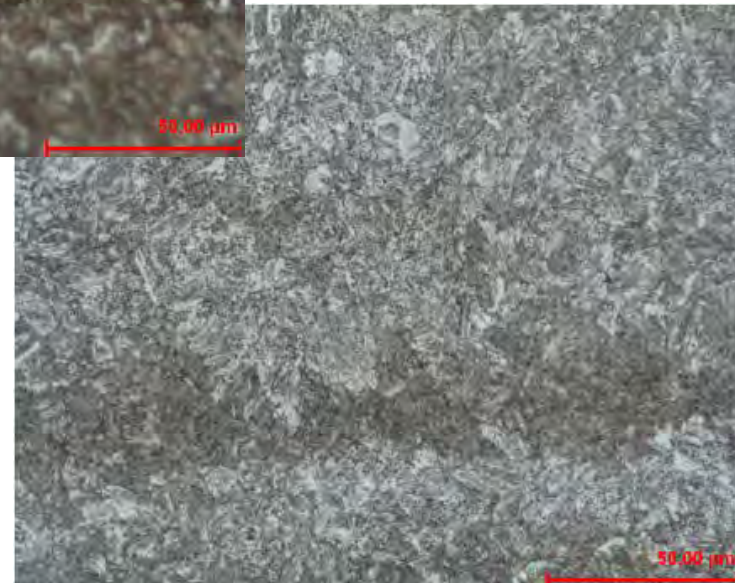
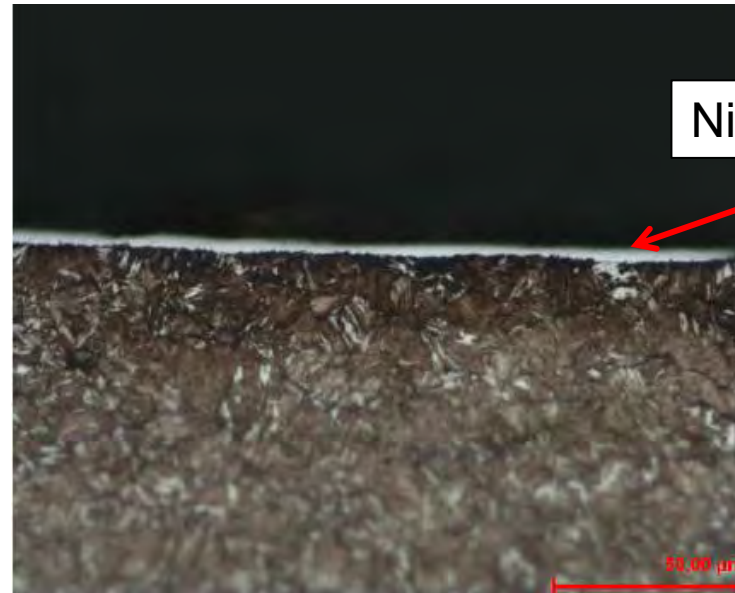
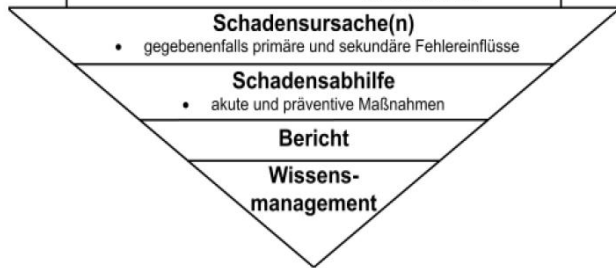


- Morphologie des Schadens im Längsschliff
- Unbeeinflusster Bereich
- Beginnender Schaden
- Ausgeprägter Schaden mit Abbruch der Panzerung



Gefügeanalyse der Schnecke

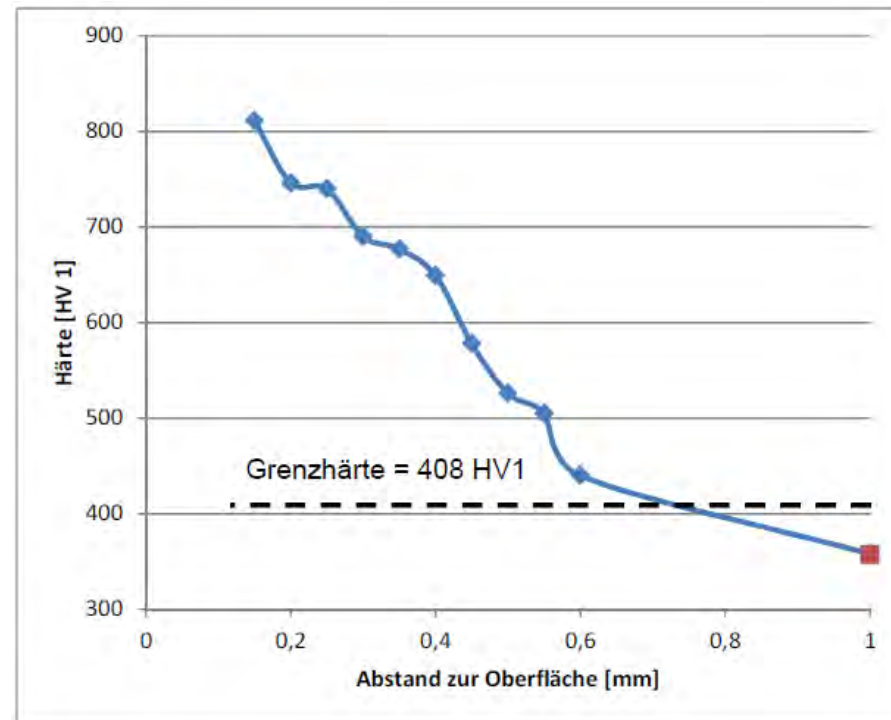
Schadensbeschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> Dokumentation des Schadensbilds 	<ul style="list-style-type: none"> Erfassung konstruktiver, werkstoff- und fertigungstechnischer Besonderheiten
Bestandsaufnahme	
<ul style="list-style-type: none"> Schadensanamnese Betrachtung des Gesamtsystems Erfassung des Sollzustands Einsatz- und Umfeldbedingungen 	<ul style="list-style-type: none"> zeitliche und örtliche Besonderheiten Häufigkeiten, Periodizitäten Änderungen in Konstruktion, Werkstoff, Verarbeitung
Schadenshypothese(n)	
<ul style="list-style-type: none"> Leitschnur für die Analysen 	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung von Wahrscheinlichkeiten und Nachweisaufwand
Instrumentelle Analysen	
<ul style="list-style-type: none"> Untersuchungsplan Probenahme 	<ul style="list-style-type: none"> Prüfungen und Analysen Simulationen, Nachstellversuche
Untersuchungsergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> Soll-Ist-Vergleich 	<ul style="list-style-type: none"> gegebenenfalls Iterationsschleife



Vergütungsgefüge im Kernbereich

• Überprüfung der Oberflächenhärte und der Nitrierung

Probe	Prüfverfahren	HV ₁	HV ₂	HV ₃	Mittelwert [HV5]
Oberfläche	HV5	860	829	880	856



- Härte 856 HV – NHD = 0,75 mm

Schadensbeschreibung

- Dokumentation des Schadensbilds
- Erfassung konstruktiver, werkstoff- und fertigungstechnischer Besonderheiten

Bestandsaufnahme

- Schadensanamnese
- zeitliche und örtliche Besonderheiten
- Betrachtung des Gesamtsystems
- Häufigkeiten, Periodizitäten
- Erfassung des Sollzustands
- Änderungen in Konstruktion, Werkstoff, Verarbeitung
- Einsatz- und Umfeldbedingungen

Schadenshypothese(n)

- Leitschnur für die Analysen
- Bewertung von Wahrscheinlichkeiten und Nachweisaufwand

Instrumentelle Analysen

- Untersuchungsplan
- Prüfungen und Analysen
- Probenahme
- Simulationen, Nachstellversuche

Untersuchungsergebnisse

- Soll-Ist-Vergleich
- gegebenenfalls Iterationsschleife

Schadensursache(n)

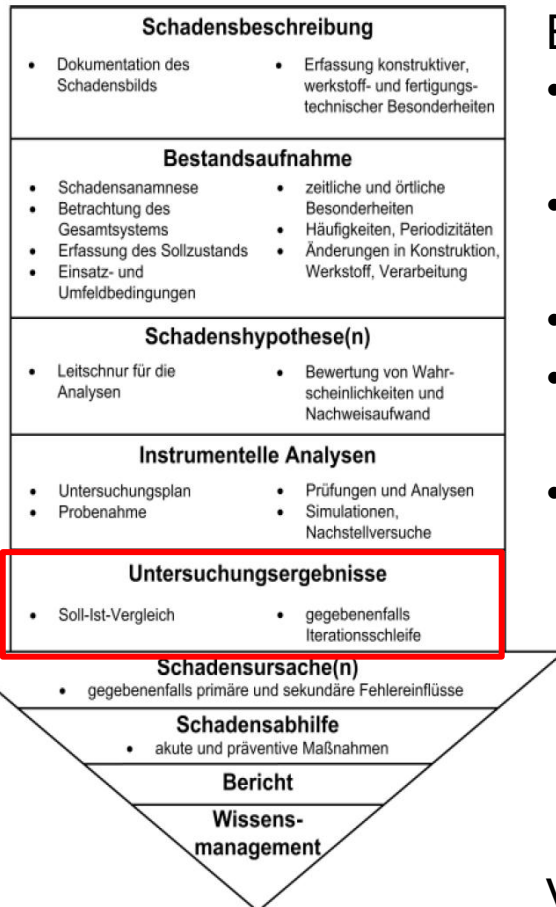
- gegebenenfalls primäre und sekundäre Fehlereinflüsse

Schadensabhilfe

- akute und präventive Maßnahmen

Bericht

Wissensmanagement

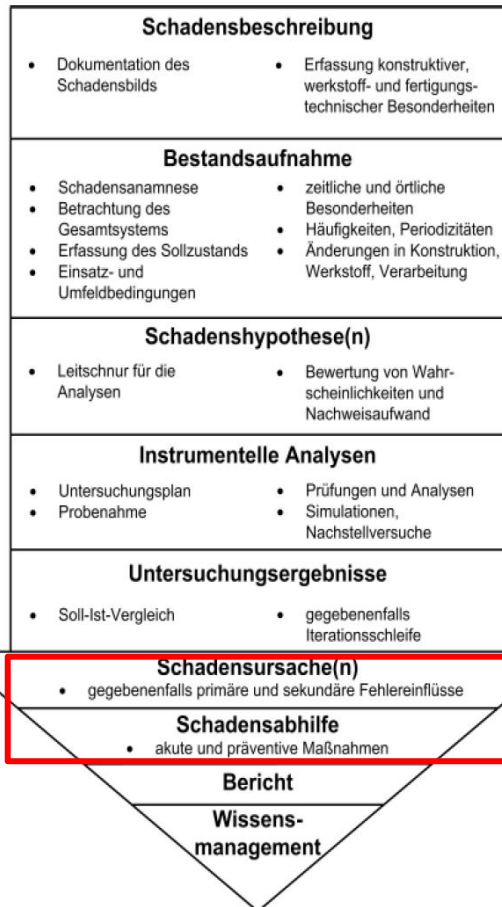


Ergenisse:

- Die chemische Zusammensetzung weicht im Vanadiumgehalt leicht von den Vorgaben ab
 - Oberflächenhärte und Randschichthärtung entspricht den Vorgaben und ist unauffällig
 - Das Gefüge zeigt keine Auffälligkeiten
 - Die Oberfläche zeigt einen Verschleißschaden
- Der Schadensmechanismus ist eine Kombination aus Hydroabrasion und Gleitstrahlverschleiß → stärkster Verschleiß oberen Flankenbereich
 - Dies führte zu einer Unterwanderung der Wolframkarbidaufschweißung, die in dem freitragenden Bereich dann ausgebrochen ist

Verschleiß ist immer eine Systemeigenschaft

- Eine Veränderung eines einzelnen Parameters kann das System aus dem Gleichgewicht bringen und zum Ausfall führen.



Schadensursache:

Harte Partikel (SiO_2 , TiO_2) als Zusatzstoffe im Granulat in Verbindung mit den hohen Strömungsgeschwindigkeiten führten in den ersten Windungen zum Ausfall

- Später beginnt das Granulat sich zu verdichten und aufzuschmelzen, daher kein Verschleiß durch die Festkörperpartikel mehr zu erkennen.

Mögliche Abhilfemaßnahmen:

- Entfernen von harten Partikeln aus dem Granulat
- Zusetzen der Pigmente, wenn möglich später, wenn das Granulat bereits aufgeschmolzen ist
- Konstruktive Veränderung der Förderschnecke inkl. Verschleißschutzschicht, um die neuen Beanspruchungen zu ertragen

Schadensbeschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> Dokumentation des Schadensbilds 	<ul style="list-style-type: none"> Erfassung konstruktiver, werkstoff- und fertigungstechnischer Besonderheiten
Bestandsaufnahme	
<ul style="list-style-type: none"> Schadensanamnese Betrachtung des Gesamtsystems Erfassung des Sollzustands Einsatz- und Umfeldbedingungen 	<ul style="list-style-type: none"> zeitliche und örtliche Besonderheiten Häufigkeiten, Periodizitäten Änderungen in Konstruktion, Werkstoff, Verarbeitung
Schadenshypothese(n)	
<ul style="list-style-type: none"> Leitschnur für die Analysen 	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung von Wahrscheinlichkeiten und Nachweisaufwand
Instrumentelle Analysen	
<ul style="list-style-type: none"> Untersuchungsplan Probenahme 	<ul style="list-style-type: none"> Prüfungen und Analysen Simulationen, Nachstellversuche
Untersuchungsergebnisse	
<ul style="list-style-type: none"> Soll-Ist-Vergleich 	<ul style="list-style-type: none"> gegebenenfalls Iterationsschleife



Abschließend:

Dokumentation der Ergebnisse in einem entsprechenden Bericht.

Diskussion der Ergebnisse und der möglichen Abhilfemaßnahmen

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit !**