



- › Wissen schafft Fortschritt®
- » **Industrie-Schäden: Arbeitsweise des ALLIANZ-GWP Kooperationlabors**

- › Technische Mitteilung 20160215

› Dr. Johannes Stoiber
Geschäftsführer Allianz Risk Consulting GmbH (AZT)
Senior-Experte für Turbomaschinen
johannes.stoiber@allianz.com; www.agcs.allianz.com

› Dr. Julius Nickl
Geschäftsführer GWP mbH
Senior-Experte für industrielle Prozesse & Produkte
julius.nickl@gwp.eu

» Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) ***Non-Destructive Testing (NDT)***

» Sichtprüfung ***Visual Testing***

- Das am häufigsten verwendete Prüfverfahren für Oberflächenfehler
the most commonly used test method for surface defects



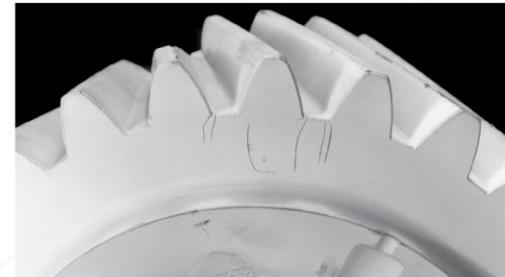
» Bauteilmetallographie ***On-site Metallography***

- Vor Ort Gefüge- und Fehlerbeurteilung an Oberflächen
on-site microstructure and failure evaluation on surfaces



» Magnetpulverprüfung ***Magnetic Particle Inspection***

- Nachweis von Oberflächenfehlern durch magnetische Streufelder
flaw detection of surface defects by using stray magnetic fields



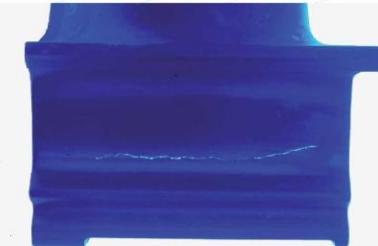
» Ultraschallprüfung ***Ultrasonic Testing***

- Fehlersuche durch Analyse von Reflexion und Laufzeit des Ultraschallimpulses
flaw detection by analysis of reflexion and time-of-flight of the ultrasound



» Eindringprüfung ***Penetrant Testing***

- Nachweis von zur Oberfläche hin geöffneten Fehlstellen mit farbigem Penetriermittel
detection of defects corresponding to the surface with a coloured fluid



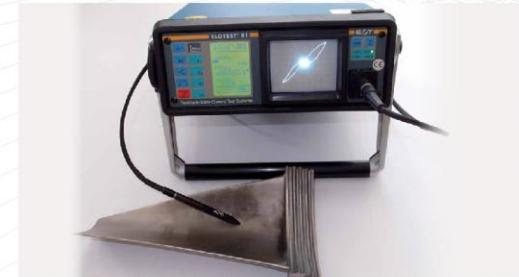
» Phased Array Ultraschallprüfung ***Phased Array Ultrasonic Testing***

- Elektronische Lenkung eines Schallfeldes und bildhafte Fehlerdarstellung
electronic steering of the soundbeam and picturing of defects



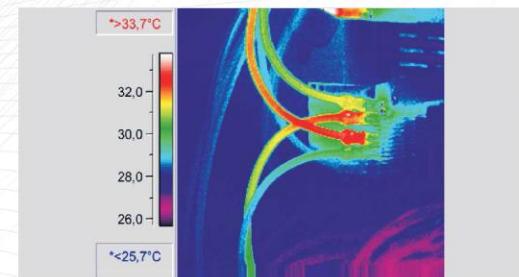
» Wirbelstromprüfung ***Eddy-current Testing***

- Auffinden oberflächennaher Fehlstellen in elektrisch leitfähigen Bauteilen
detection of near-surface flaws in conductive materials



» Thermografie ***Thermography***

- Fehlersuche, Zustandsüberwachung und Instandhaltung
defect detection, condition monitoring and maintenance



» Mechanische Werkstatt – *Machine Shop*

» Probenarten

Types of Samples

› Bauteile-Dimensionen – *dimensions of components*



Getriebewelle
gear shaft



Lagerring
bearing ring



Kurbelwelle
crankshaft



Gasturbinenschaufel
gas turbine blade



Implantatschraube
implant screw



Mikrochip
microchip

› Werkstoff – *material*



Stahl
steel



Kupfer
copper



Carbonfaser verstärkter Kunststoff
carbon fibre reinforced plastic

› Probenformen – *sample contours*



Getrieb Zahnnach Probennahme
gear tooth after sampling



Zugproben
tensile specimens



Geöffneter Riss in einem Wälzkörper
opened crack in a rolling element



› Wasserstrahlschneiden
waterjet cutting



› Bandsäge
band saw



› Winkelschleifer
angle grinder

› Plasmaschneiden
plasma cutting

› Trennmaschinen, wassergekühlt
water-cooled abrasive cutter

› Präzisionstrennmaschine
high precision abrasive cutter

› Mikrotom
microtome

› Blechscher, Zange, Dremel
plate shear, nipper, dremel

› Dreh- und Fräsmaschine
turning and milling machine

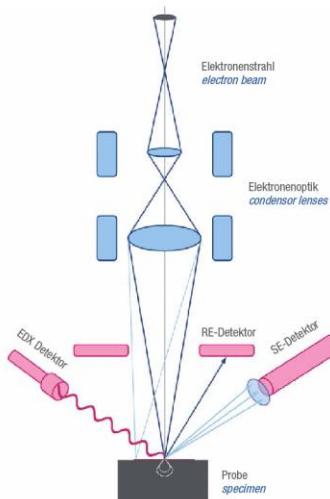
› Hobel und Bandschleifer
planing and grinding machine

» Rasterelektronenmikroskop (REM) / EDX

Scanning Electron Microscope (SEM) / EDX

» Funktionsprinzip – *Operating Principle*

- » Beschießen einer leitenden Probe mit einem Elektronenstrahl unter Vakuum
scanning of a conductive specimen by an electron beam under vacuum conditions



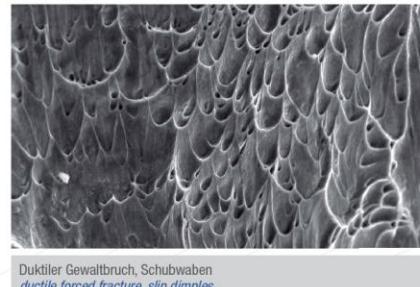
Funktionsweise eines Rasterelektronenmikroskops *operation mode of a scanning electron microscope*



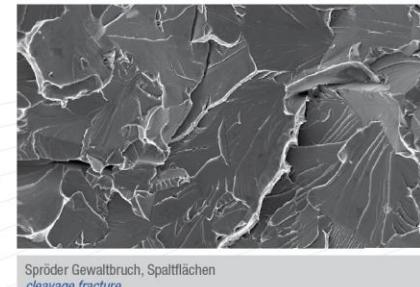
Probenkammer des Rasterelektronenmikroskops
sample chamber of the scanning electron microscope

» Detektorarten – *Detector Types*

- › Topographiekontrast mit Sekundär-Elektronen (SE) – *topography with secondary electrons (SE)*



Duktiler Gewaltbruch, Schubwaben
ductile forced fracture, slip dimples



Spröder Gewaltbruch, Spaltfläche
cleavage fracture

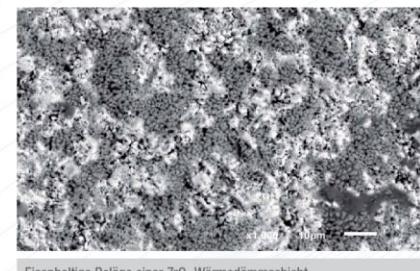


Ni-Basis Werkstoff, γ' -Phase

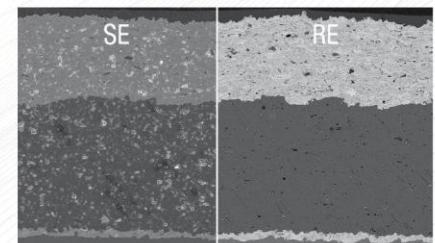
- > Materialkontrast mit Rückstreu-Elektronen (RE) – *material contrast with back-scattered electrons (BSE)*



Bruchausgang mit Einschluss
origin of fracture with inclusion

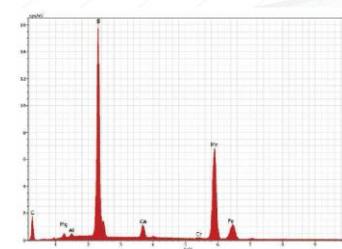


Eisenhaltige Beläge einer ZrO_2 -Wärmedämmenschicht *Iron-containing deposits of a ZrO_2 thermal insulation layer*



Kontrastvergleich SE- und RE-Detektor an einer Spritzschicht Comparison of SE and RE detector contrasts on a sprayed coating

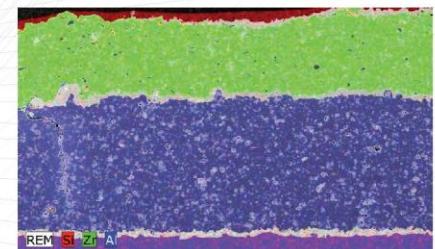
- EDX-Analyse und EDX-Mapping – *EDX analysis and EDX mapping*



EDX-Spektrum des Einschlusses



EDX-Mapping eisenhaltiger Beläge einer ZrO_2 -Wärmedämmungsschicht
EDX mapping of a ferrous deposit of a ZrO_2 thermal insulation layer



EDX-Mapping einer Spritzschicht

» Rasterelektronenmikroskop (REM) / EDX Scanning Electron Microscope (SEM) / EDX

- » Untersuchung von Bruchflächen – *analysis of fracture surfaces*
- » Untersuchung von Bauteiloberflächen – *analysis of technical surfaces*
- » Untersuchung von Replikas – *analysis of surface replicas*
- » EDX-Analyse von Werkstoff, Gefüge, Einschlüssen, Belägen – *EDX analysis of material composition, microstructure, inclusions, deposits*



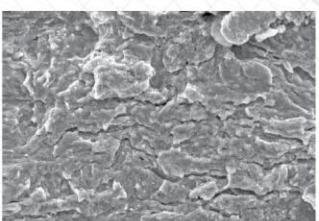
› Riss an einer Turbinenschaufel
crack in a turbine blade



› Bruchfläche am geöffneten Riss mit Rastlinien
fracture surface of the opened crack with lines of rest



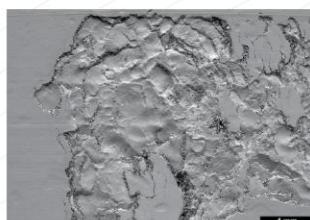
› Ende Schwingungsbruch
end of fatigue fracture



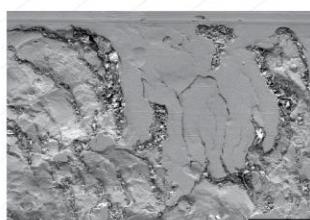
› Bruchfläche mit Schwing-
streifen
fracture surface with striations



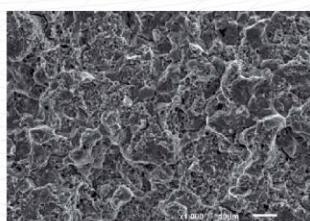
› Laufbahnschäler an einem
Pendelrollenlager
*pittings at the raceway of a
spherical roller bearing*



› Eingeebnete Laufbahnober-
fläche mit Ausbrüchen
*leveled surface of the raceway
with pittings*



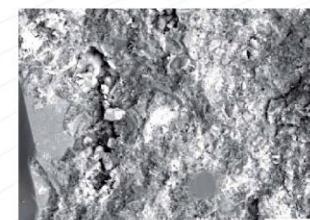
› Eingeebnete Laufbahnober-
fläche mit Ausbrüchen
*leveled surface of the raceway
with pittings*



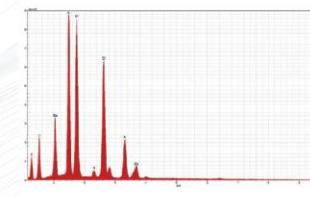
› Mikrostruktur der Ausbruchfläche
microstructure of pitting surface



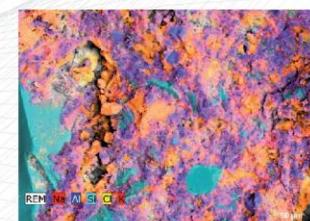
› Bruchfläche einer gebrochenen
SiC-Platte
*fracture surface of a cracked
SiC-tile*



› Salzbeläge auf der Bruchfläche
salt deposits on the fracture surface



› EDX-Spektrum von Bruch-
flächenausschnitt
*EDX spectrum of the fracture
surface detail*



› Elementverteilungen von
Bruchflächenausschnitt
*EDX mapping of the fracture
surface detail*

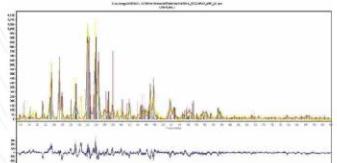
» Analytikum – Analysis Methods



» Röntgenfluoreszenzanalyse / RFA *X-ray Fluorescence Analysis*



Sequenz-Röntgenspektrometer
sequential X-Ray spectrometer



Gemessenes RFA Spektrum
measured X-ray spectrum



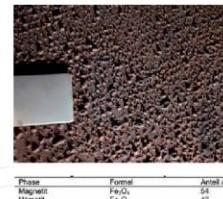
Belag auf dem Deckband einer Gasturbine
deposit on shroud from a gas turbine

- » Zusammensetzung metallischer Werkstoffe
chemical composition of metallic materials
- » Zusammensetzung von Belägen
chemical composition of deposits
- » Unterschied zu EDX
compared to EDX
 - › Höhere Nachweisempfindlichkeit
increased sensitivity of detection
 - › Längere Messzeit
longer measurement duration
 - › Bessere Auflösung
higher resolution
 - › Mindestprobengröße
minimum probe size

» Röntgenfeinstrukturanalyse *X-Ray Diffractometer*



Röntgendiffraktometer
X-Ray diffractometer

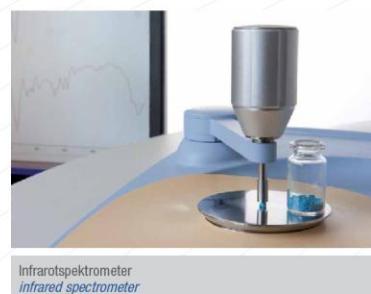


Die Probe besteht aus Hämmit und Magnetit.
The probe consists of hematite and magnetite.

Analysiert Oberflächenbelag aus Speisewasserbehälter
analysis of deposit from feed water tank

- » Analyse kristalliner Werkstoffe
analysis of crystalline material
- » Belagzusammensetzung
composition of deposits
- » Phasenbestimmung
phase identification

» Infrarotspektroskopie *Infrared (FTIR & IR) Spectroscopy*



Infrarotspektrometer
infrared spectrometer



IR-Spektrum eines Dichtungswerkstoffes
IR-spectrum of a sealing material

- » Analyse organischer Verbindungen
analysis of organic compounds
- » Kunststoffe, Öle, Fette
plastic, oil, grease

» Kohlenstoff- / Schwefelanalysator *Carbon / Sulfur Content*



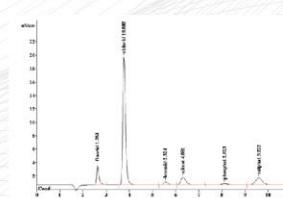
Kohlenstoff- / Schwefelanalysator
carbon sulfur determinator

- » Kohlenstoff- / Schwefelgehalt in Stahlwerkstoffen
carbon/sulfur content in steel materials
- » Kohlenstoff- / Schwefelgehalt in Belägen
carbon/sulfur content in deposits

» Ionenchromatographie *Ion Chromatography*



Ionenchromatograph
ion chromatograph



Analysenergebnisse von Wasserproben aus Wasser-Dampf-Kreislauf
analysis results of water samples from water-steam-cycle

- » Anionenbestimmung im Wasser
(Fluorid, Chlorid, Phosphat
Nitrat, Sulfat)
*determination of anions in water
(fluoride, chloride, phosphate,
nitrate, sulfate)*

» Metallographische Präparation

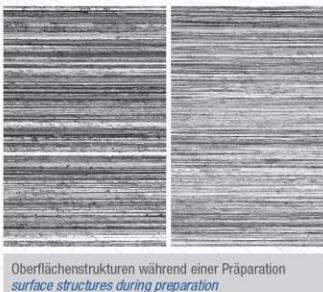
Metallographic Preparation

» Ablauf – Process

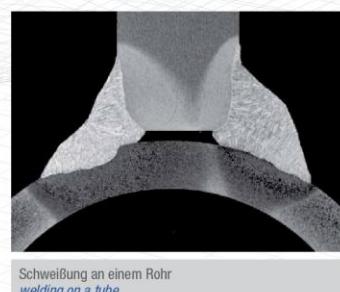
› Einbetten – *mounting*



› Schleifen und Polieren – *grinding and polishing*



› Kontrastieren und Ätzen – *contrasting and etching*



» Warum Präparieren? *Why Preparation?*

» Erhalt der Kantenschärfe
keeping the edge definition

» Entfernen der Verformungsschicht
removing of the deformation layer

» Entwickeln des wahren Gefüges
exposing of the real microstructure

» Bewertung des Mikrogefüges
evaluation of the microstructure

» Lichtmikroskopie / Makroskopie

Optical Microscopy / Macroscopy

- » Untersuchung von Bruchausgang und -verlauf – *analysis of crack starting point and fracture path*
- » Untersuchung des Werkstoffgefüges – *analysis of material microstructure*
- » Untersuchung von Werkstoffverbindungen – *analysis of compound*
- » Untersuchung von Herstellungsfehlern – *analysis of manufacturing defects*



› Dampfturbinenschaufel
steam turbine blade



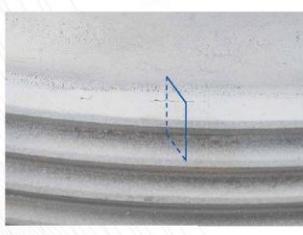
› Bruchstück eines Pumpenlaufrades
fragment of a pump impeller



› Gasturbinenschaufel
gas turbine blade



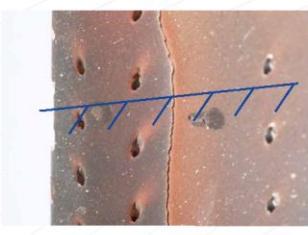
› Segment aus der Statorwicklung eines Elektromotors
segment taken from a stator winding of an electric motor



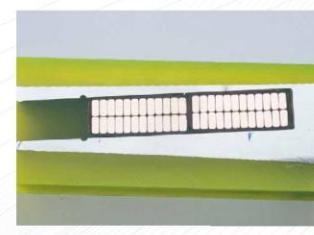
› Rissanzeige im Schaufelfuß
crack indication at blade root



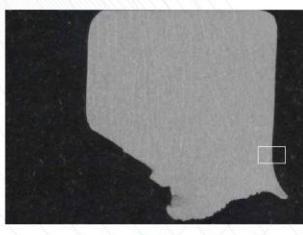
› Schliff mit Riss
specimen with crack



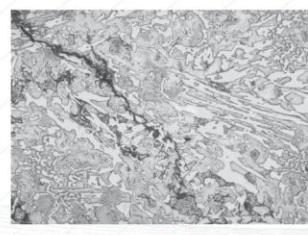
› Eintrittskante
leading edge



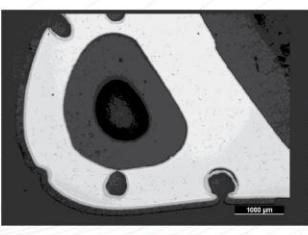
› Querschliff durch Wicklungsnut
macrosection through winding slot



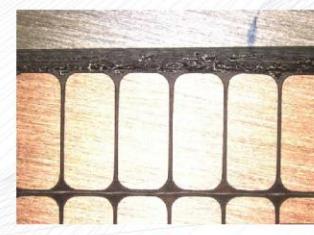
› Schliff im Bereich der Rissanzeige
specimen through crack indication



› Interkristalliner Rissverlauf
intergranular crack path



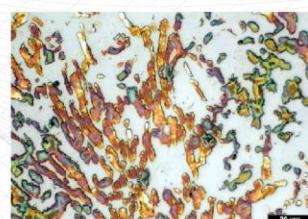
› Schliff quer zur Eintrittskante
specimen through the leading edge



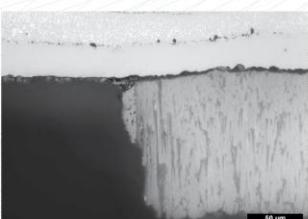
› Makroskopische Aufnahme der Isolierungsqualität
macroscopic image of the isolation quality



› Riss im Vergütungsgefüge
crack in tempered microstructure



› Gefüge geätzt nach Murakami
microstructure etched according to Murakami



› Rest der Wärmedämmsschicht
residual thermal barrier coating



› Isolierung nicht vollständig ausgehärtet
isolation not fully cured

» Werkstoffprüfung – *Material Testing*

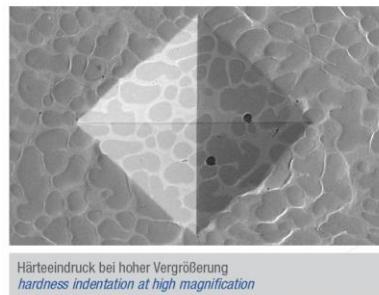


» Härteprüfung – *Hardness Testing*

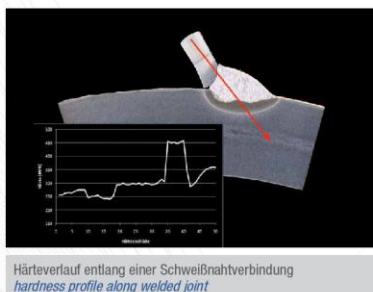
- » Eindrücken eines Prüfkörpers in die Prüfstückoberfläche unter festgelegten Prüfbedingungen und nachträgliche optische Auswertung
indentation of a test body in the surface of the specimen under predetermined conditions and additional optical evaluation



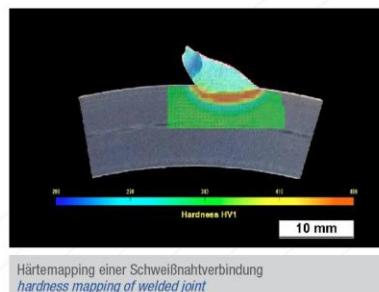
Vollautomatischer Härteprüfer mit Optik
automatic hardness tester



Härteeindruck bei hoher Vergrößerung
hardness indentation at high magnification



Härteverlauf entlang einer Schweißnahtverbindung
hardness profile along welded joint



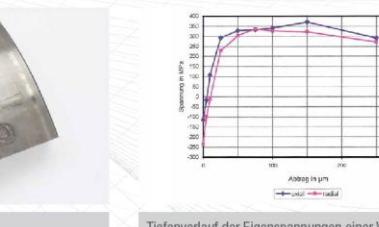
Härtemapping einer Schweißnahtverbindung
hardness mapping of welded joint

» Mobiles Röntgendiffraktometer – *X-Ray Testing Equipment*

- » Eigenspannungsmessung und Restaustenitbestimmung
residual stress measurement and retained austenite analysis



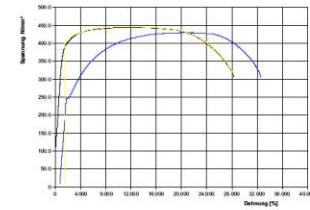
Röntgendiffraktometer
x-ray testing equipment



Tiefenverlauf der Eigenspannungen einer Verzahnung
depth profile of residual stresses of a tooth

» Zugversuch – *Tensile Test*

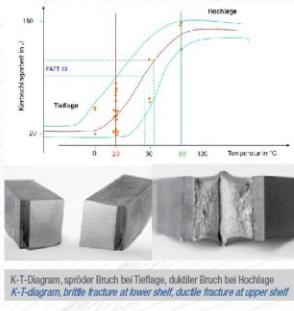
- » Ziehen einer genormten Probe bis zum Bruch
pulling of a standardized specimen until fracture
- » Ermittlung der Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Einschnürung
determination of yield strength, tensile strength, elongation and constriction



Spannungs-Dehnungs-Diagramm
stress strain diagram

» Kerbschlagbiegeversuch – *Notch Impact Testing*

- » Schlagartige Beanspruchung einer gekerbten Probe
impact loading of a notched specimen
- » Ermittlung der Kerbzähigkeit des Werkstoffes
determination of the notch impact ductility of a material



K-T-Diagramm, spröder Bruch bei Tieflage, duktiler Bruch bei Hochlage
K-T-diagram, brittle fracture at lower shelf, ductile fracture at upper shelf

» Beispiel – *Example*



Gebrochene Turbinenwelle
fractured turbine shaft



Gebrochene Turbinenwelle, Proben für Zug- und Kerbschlagbiegeversuch
fractured turbine shaft, specimens for tensile and notch impact test

» Schwingungsdiagnostik an rotierenden Maschinen

Vibration Diagnostics of Rotating Equipment



» Anwendung und Ziele *application and targets*

» Beurteilung des Laufverhaltens (nach Schwingungsänderungen oder Schäden, präventiv und zur Qualitätssicherung bei Revisionen)

evaluation of vibration behaviour (after vibration changes or damages, preventive and for quality assurance at overhauls)

» Identifikation der Schwingungsursache
identification of cause of vibration

» Empfehlung von Abhilfemaßnahmen
recommendation of mitigation measures

» Wichtige Eingangsgrößen *important input data*

» Merkmal bildende Messgrößen: Schwingungen, Prozesssignale, Belastungsgrößen, Ergebnisse von Inspektionen/Überprüfungen
data to derive symptoms: vibration data, process signals, load data, results from inspections and checks

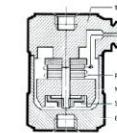
» Kenntnis von Maschinenkonstruktion, Prozess und Steuerung
knowledge of design of machinery, process and control

» Vorgesichte (Modifikationen, Revisionen, Schäden etc.)
history (modifications, overhauls, damages etc.)



» Schwingungsaufnehmer *vibration transducer*

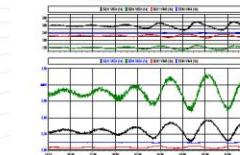
- » Schwingbeschleunigung – *vibration acceleration*
- » Schwinggeschwindigkeit – *vibration velocity*
- » Schwingweg – *vibration displacement*



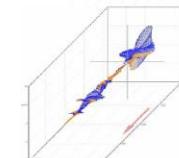
Niedriger bis hoher Frequenzbereich
z.B. Verzahnungsdiagnose
*low to high frequency range
e.g. gear diagnostics*

Mittlerer Frequenzbereich
> Beurteilung der Schwingstärke
*medium frequency range
> evaluation of vibration severity*

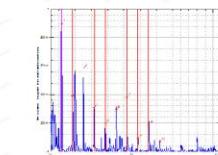
Niedriger bis mittlerer Frequenzbereich
> Wellenschwingungen, dynamisch und Abstand
*low to medium frequency range
> shaft vibrations, dynamic and gap*



Wellen-Anstreifen
rotor rubbing



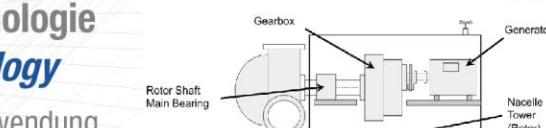
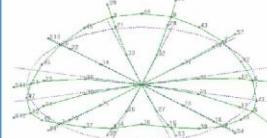
Wellenorbit während Auslauf
shaft orbits while run-down



Detekterter Verzahnungsschaden: Spektrum und Schaden
detected gear damage: spectra and damage picture



Gemessene Eigenfrequenzen einer Turbinenscheibe, 2-Durchmesserknoten-Eigenform
measured natural frequencies of turbine disk, 2-nodal diameter mode



AZT-Anforderungen an CMS für Windenergieanlagen
AZT-requirements on CMS for wind turbines

» Ablauf einer Schadenanalyse im AZT

Course of Failure Investigation at AZT



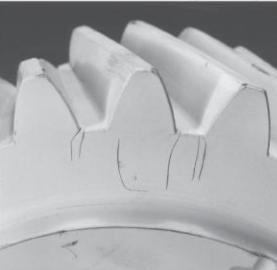
» Besichtigung und Befundaufnahme vor Ort *on-site survey with inspection of the damage*



» Anlieferung der Schadenteile im AZT-Labor *delivery of damaged parts to the AZT-laboratory*



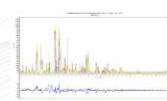
- » Visuelle Befundung und Dokumentation
visual inspection
- » Zerstörungsfreie Prüfung
non-destructive testing
- » Probenahme
sampling



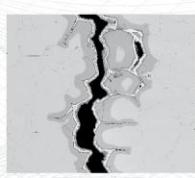
- » Untersuchung mittels Raster-elektronenmikroskop (REM)
investigation with scanning electron microscope (SEM)



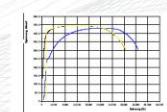
- » Chemische Werkstoffanalyse
chemical analysis of material composition



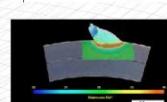
- » Metallografische Untersuchung
metallographical investigation



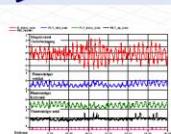
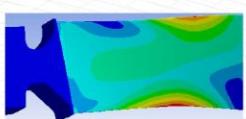
- » Mechanische Werkstoffprüfung
material testing



- » Härteprüfung
hardness testing



- » Überprüfung der rechnerischen Auslegung
review of design calculation
- » Durchführung von Berechnungen
performance of calculations
- » Analyse der Betriebsdaten
analysis of operational data
- » Betriebsmessung
operational measurement



- » Erstellung des AZT-Gutachtens
writing of AZT-report



Schadensbeschreibung

Befundaufnahme

Schadenshypothese

Einzelunter-
suchungen

Untersuch-
ungsergebnis

Schadens-
ursache

Schadens-
abhilfe

Bericht

Dokumen-
tation



» Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH



› Analytik



› Werkstoffprüfung



› Materialografie



› Qualitätssicherung



› Schadensanalyse



› Entwicklung

› Laborservices

- › Analytikum
- › Chemie & Korrosionslabor
- › Elektroniklabor
- › Gaslabor
- › Kunststofflabor
- › Materialografie
- › Mikroskopie REM/LIM
- › Umweltsimulation
- › Werkstatt
- › Werkstoffprüfung
- › Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

› Schadensanalyse

- › Airbag
- › Batterien
- › Baustoffe
- › Fraktographie
- › Heterogene Katalyse
- › Industrielle Prozesse und Produkte
- › Korrosion
- › Kunststoffe
- › Medizintechnik
- › Metallische Gefüge
- › Oberflächentechnik
- › Zerstörungsfreie Prüfung