

# **Vorzeitige Ausfälle bei der Förderung korrosiver Flüssigkeiten**

**Dipl. Ing. Holger Döbert**

**Lösung von Werkstoffproblemen – Aufklärung von Korrosionsschäden**

**In Langen Bergen 4  
D-78315 Radolfzell  
0049(0)7732-938400  
h.doebert@korros.de  
www.korros.de**

**von der IHK öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für  
Korrosion und Korrosionsschutz, zuständig IHK Hochrhein-Bodensee**

# Wiederkehrende Ursachen kurzer Standzeiten bei der Förderung korrosiver Medien

## 1. Betriebliche Ursachen

- Fahren gegen geschlossenen Schieber
- diskontinuierlicher Betrieb ohne druckseitige Rückschlagklappe
- Auftreten von Thermoschocks
- ungünstige Anströmverhältnisse

## 2. Fehler bei der Auslegung

- Einsatz einer zu großen Baugröße
- ungünstige Anströmverhältnisse
- falsche Auswahl des Werkstoffes
- unzureichende Informationen zum Fördermedium

## 3. Materialfehler

- Werkstoffverwechslung
- unkorrekte Zusammensetzung des Werkstoffes
- unzureichende Wärmebehandlung des Werkstoffes

## **Kreiselpumpen aus Gußeisen zur Förderung von Natronlauge**

Kreiselpumpen zur Förderung von niedrig konzentrierter Natronlauge werden häufig aus Gußeisen ausgeführt.

Dabei treten oft sehr zufriedenstellende Standzeiten auf, allerdings nur bis zu gewissen Grenzen.

### **Beispiel**

- Förderung von 10-15% Natronlauge bei 85°C
  - drucktragende Teile: Sphäroguß EN-GJS-400-15 (GGG-40)
  - Laufrad: Grauguß EN-GJL-200 (GG-20)
  - Welle: Chromstahl
- 
- allmählicher Abfall der Förderleistung
  - Demontage nach zwei Jahren Betrieb

### **Schadensbild**

- Aufrauhung der drucktragenden Teile
- „zusammen geschrumpftes“ Laufrad

# Beispiel: Laufrad einer Kreiselpumpe aus Gußeisen zur Förderung von Natronlauge



Ansicht des Gehäusedeckels



Vergleich des Ersatz-Laufrades mit dem alten Laufrad

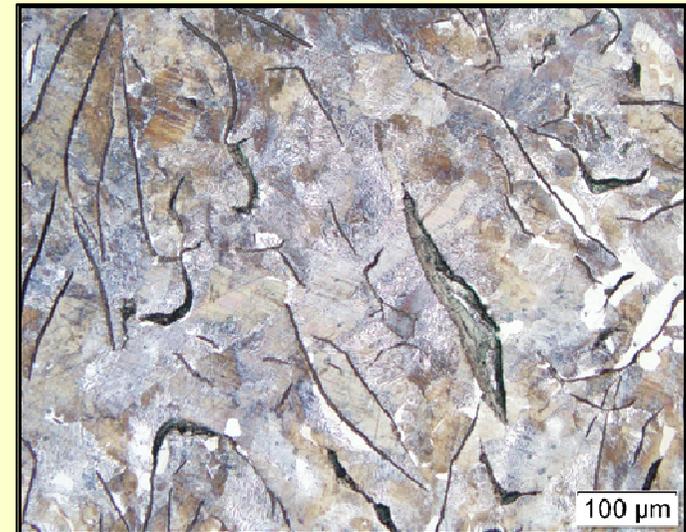
Weit fortgeschrittene Graphitierung (Spongiose). Bei einer baugleichen Pumpe, welche mit 65°C betrieben wurde, traten nach zwei Jahren keine Schäden auf.

# Mechanismus der Graphitierung Spongiose

- Bildung galvanischer Elemente
- Graphitlamellen schalten sich kathodisch
- anodische Auflösung der ferritisch/perlitischen Gefügebestandteile
- Entstehung eines schwammartigen Gerüsts aus Graphitlamellen, Phosphiden, Siliziden und Sulfiden
- Bauteil behält bei geringer hydraulischer Belastung seine äußere Form
- Gewichtsverlust von über 90% möglich

## Abhilfe

- zunächst Einbau eines Ersatzlaufrades
- später neue Pumpe aus dem nichtrostenden austenitischen Stahlguß 1.4408



Gefüge von überwiegend perlitischem Grauguß, 200x

## **Beispiel 1: Ausfall einer Förderschnecke**

- Fördermedium: Gülle mit pH = 4 bis 5 (Schwefelsäure)
- Betriebstemperatur: 20 bis 24°C (11 bis 26°C)
- Standzeit: etwa ein Monat

### **Werkstoffe**

- Hauptwerkstoff: nichtrostender austenitischer Stahl 1.4571
- Flanken: Panzerplatten aus einem Hartmetall als Verschleißschutz
- Verbindung: Messing-Lot CuZn39Mn1SiSn

### **Schadensbild**

- Platzen und Ablösen der Panzerplatten
- schwere Schäden an Schnecke sowie zugehörigem Siebkorb

## Beispiel 1: Ausfall einer Förderschnecke



Ansicht der Schnecke  
in ihrem Siebkorb



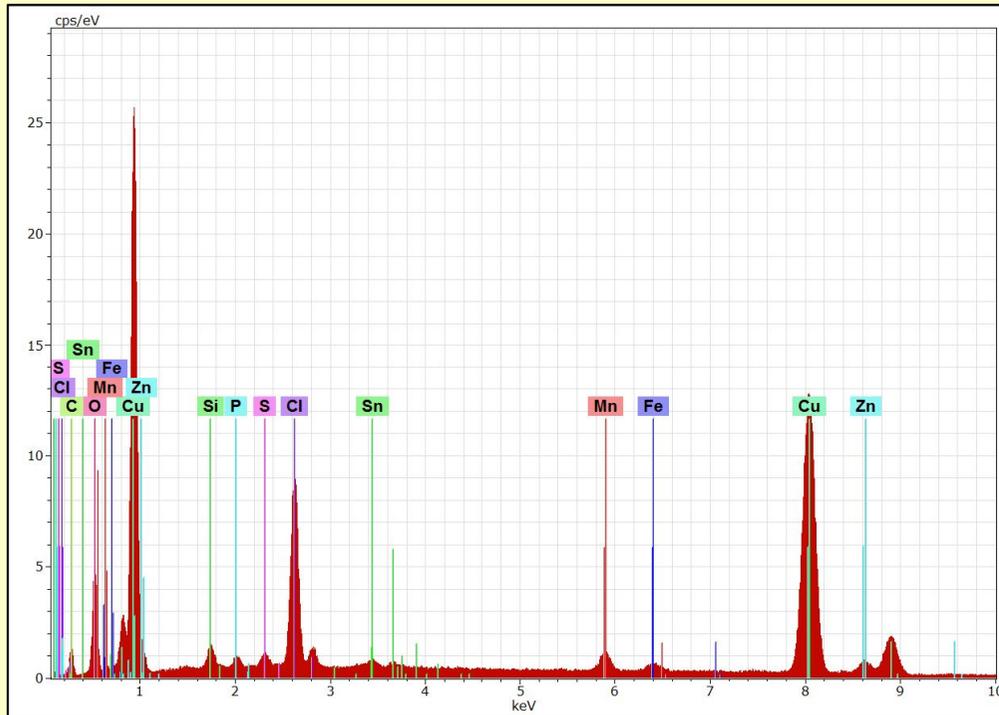
Ansicht der Schnecke

## Beispiel 1: Ausfall einer Förderschnecke

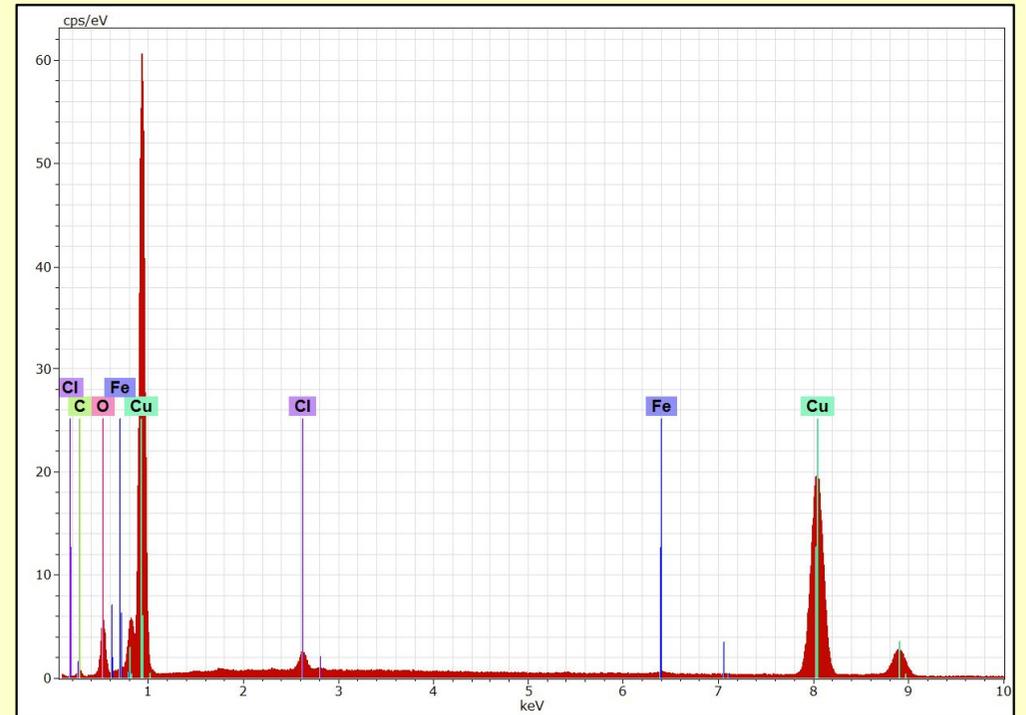


türkis-grüne Beläge und schwammartige  
kupferfarbene Rückstände anstelle des Messing-Lotes

# Beispiel 1: Ausfall einer Förderschnecke



EDX-Analyse der türkis-grünen Beläge



EDX-Analyse der kupferroten Rückstände

## **Beispiel 1: Ausfall einer Förderschnecke**

### **türkisgrüne Beläge**

Kupfer mit Anteilen von Kupferchloriden, Kupferoxiden und Kupferhydroxiden

### **kupferfarbene Rückstände**

fast reines Kupfer

### **Schadensmechanismus**

Entzinkung, ausgelöst durch einen hohen Anteil von Chloriden

### **Beschleunigung der Entzinkung**

- anodische Belastung des Messing-Lotes durch den edleren Grundwerkstoff 1.4571
- geringe Anteile von Schwefelwasserstoff und Ammonium-Ionen

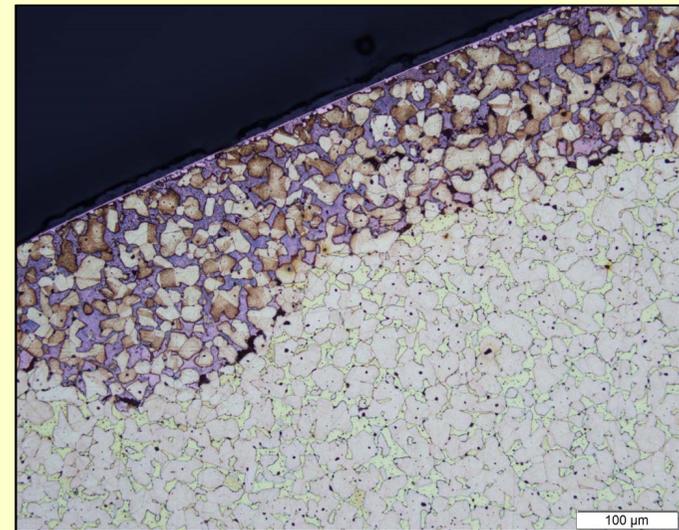
# Beispiel 1: Ausfall einer Förderschnecke - Mechanismus der Entzinkung

Auftreten bei Messingsorten mit mehr als 15% Zink in Seewasser, Wasser mit erhöhtem Chlorid-Gehalt, Trinkwasser unter turbulenten Bedingungen

- Gemeinsames Auflösen von Kupfer und Zink an zinkreichen Zonen
- Ladungstausch, das Kupfer scheidet sich wieder ab
- $\text{Cu}^{2+} + \text{Zn (Messing)} \rightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$
- Bildung eines porösen, schwammartigen Niederschlages aus Kupfer

## Abhilfe

- Silberlot nicht wegen Anteilen von Schwefelwasserstoff
- Panzerplatten aufkleben???
- Verringerung der Drehzahl
- Verwendung des Duplexstahls 1.4462



beginnende Entzinkung, 200x

## **Beispiel 2: Ausfall einer Kreiselpumpe**

- Förderung von 80% Biodiesel + 7% Methanol + 8% Wasser + 1% Schwefelsäure
- Betriebstemperatur: 80°C
- Standzeit: zwei Monate

### **Werkstoffausführung**

- Gußteile: Duplexstahlguß 1.4517
- Nebenteile 1.4462
- Gleitringdichtung: gestellt vom Endkunden

### **Schadensbild**

- Ausfall der Gleitringdichtung
- starke Anätzung aller metallischer Bauteile

## Beispiel 2: Ausfall einer Kreiselpumpe



Ansicht des Gehäuses

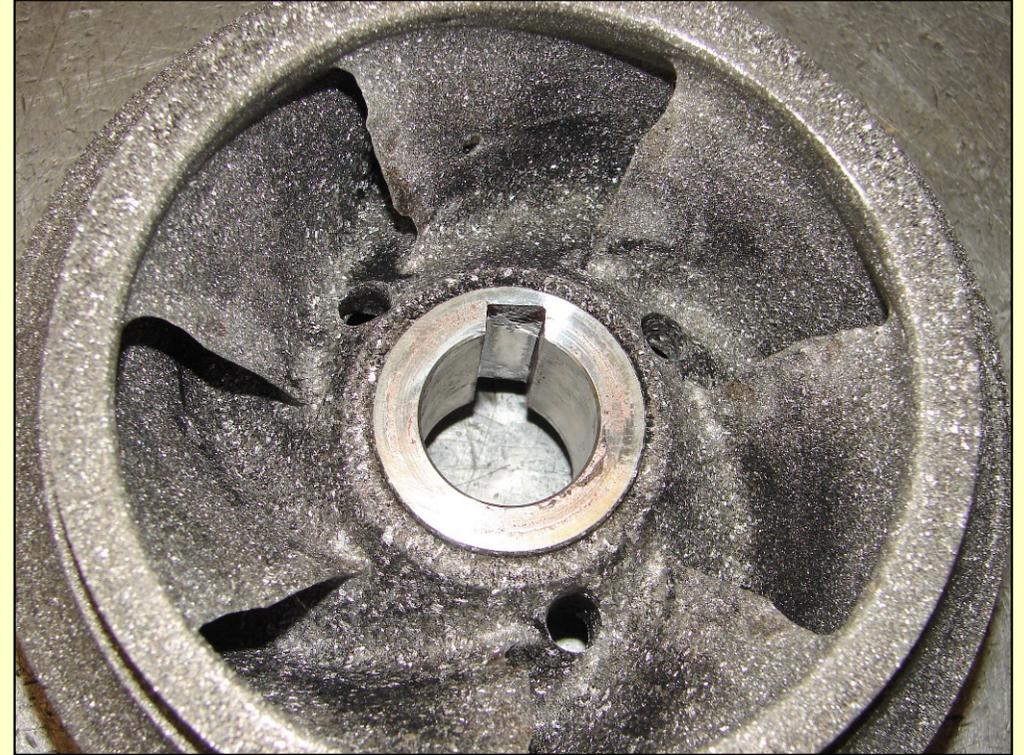


Ansicht des Gehäusedeckels

## Beispiel 2: Ausfall einer Kreiselpumpe



produktberührter Bereich  
der Wellenschutzhülse



Eintrittsbereich des Laufrades

## Beispiel 2: Ausfall einer Kreiselpumpe

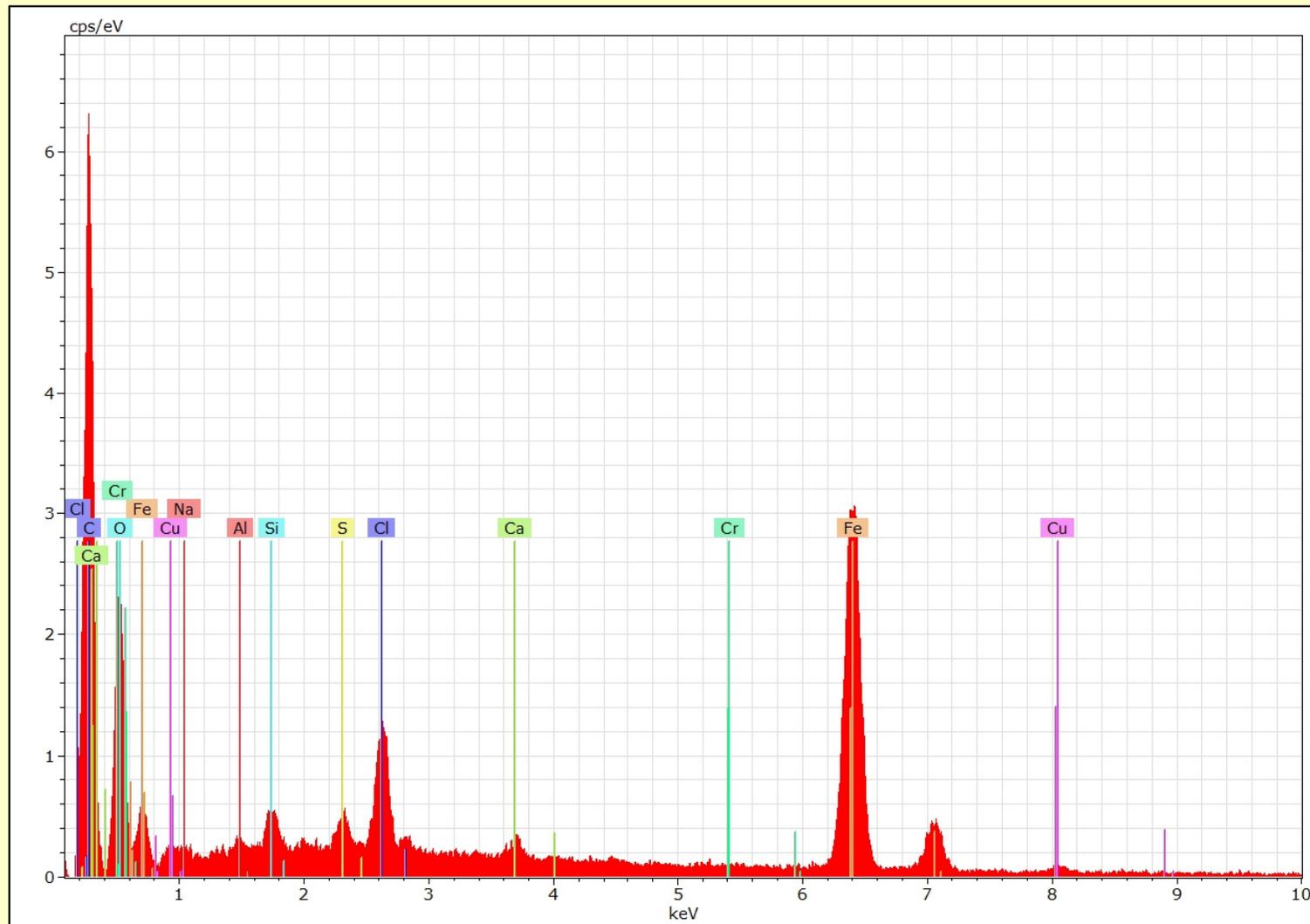


Rückseite des Laufrades



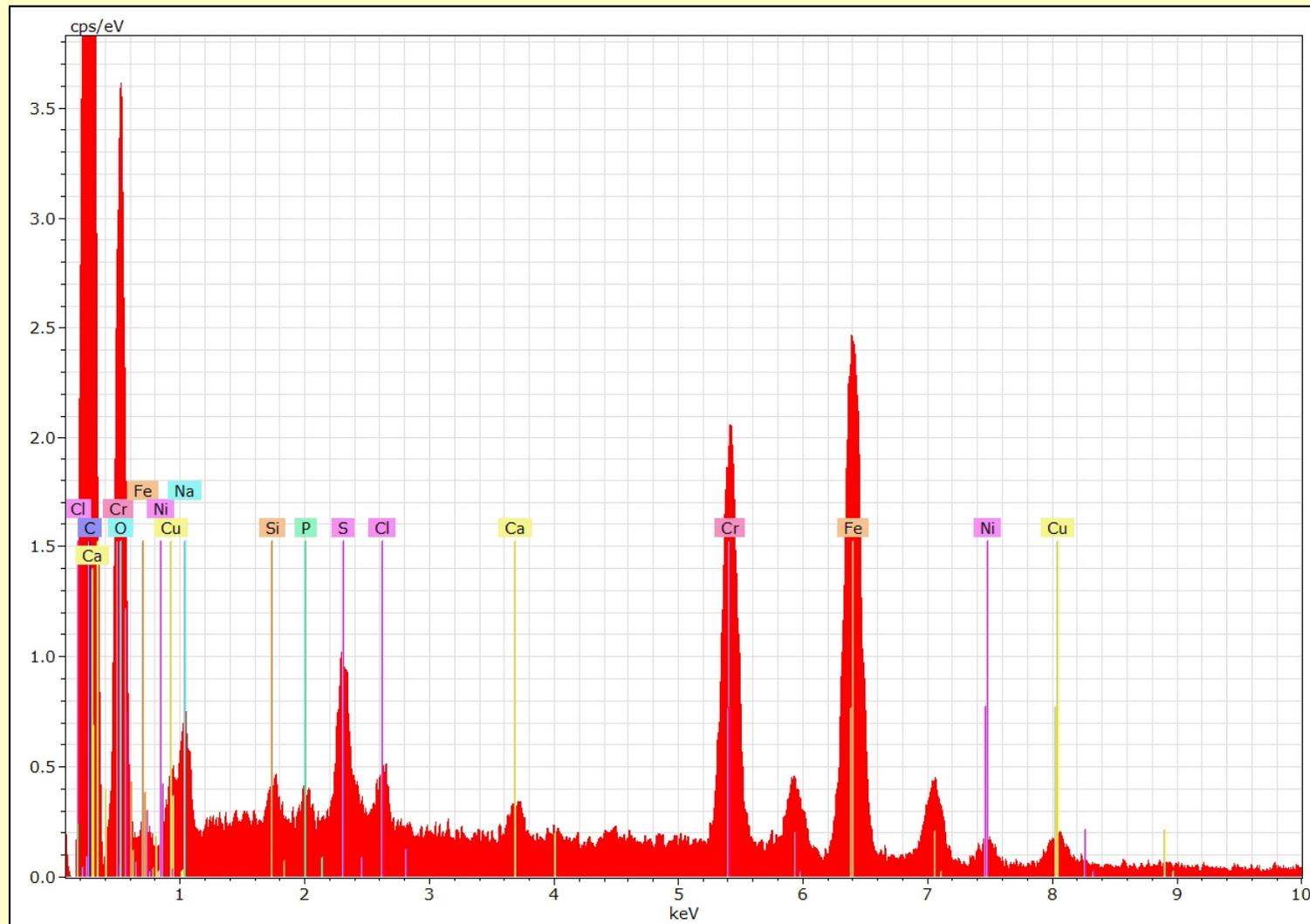
Druckseite des Laufrades

## Beispiel 2: Ausfall einer Kreiselpumpe



Ergebnis einer EDX-Analyse vom  
Gehäusedeckel entnommener Beläge

## Beispiel 2: Ausfall einer Kreiselpumpe



Ergebnis einer weiteren EDX-Analyse

## **Beispiel 2: Ausfall einer Kreiselpumpe**

### **Ergebnisse von insgesamt sechs EDX-Analysen**

#### **Hauptbestandteile**

- Oxide und Hydroxide von Eisen
- organische Rückstände (von Biodiesel oder Rapsöl)

#### **Nebenbestandteile**

- Sulfate
- Chloride

#### **Spuren**

Verbindungen von  
Calcium, Natrium, Silizium, Phosphor, Aluminium  
sowie  
Mangan, Nickel, Kupfer, Chrom

## **Beispiel 2: Ausfall einer Kreiselpumpe**

### **Ursache der Korrosionserscheinungen**

Erhöhter Gehalt an Schwefelsäure?

→ 1.4517 und 1.4462 hätten das ertragen!

Anwesenheit von Chloriden

→ vernichtende Wirkung von Chloriden in schwefelsauren Medien!!!

### **Abhilfe**

→ Pumpe aus den Nickel-Chrom-Molybdän-Legierungen 2.4686/2.4610

## **Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe**

- Förderung von 18-22% Schwefelsäure aus einem Mischbehälter
- Betriebstemperatur: 30 bis 40°C
- Betrieb batchweise
- Standzeit: fünf Tage

### **Werkstoffausführung**

- Gehäuse der Pumpe: Grauguß, gummiert (Naturkautschuk)
- Stator und Gelenk-Manschetten: FKM (Viton)
- Rotor: 2.4610 (Hastelloy-C4)
- sonstige produktberührte Teile: 2.4610 (Hastelloy-C4)
- Aufnahmegehäuse: Duplexstahlguß
- Mischbehälter und Rohre: Kautschuk, Kunststoff (PP)

### **Schadensbild**

- Anätzung / Aufrauhung fast aller metallischer Bauteile
- Zerstörung des Stators als Folge

## Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe

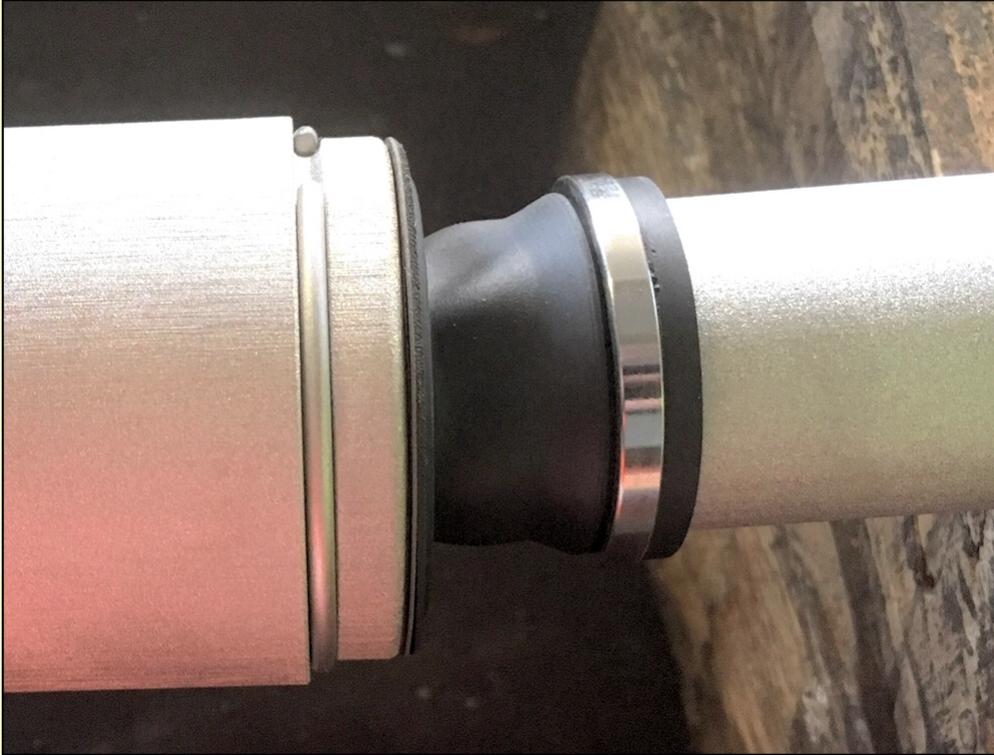


Teilbereich des Rotors

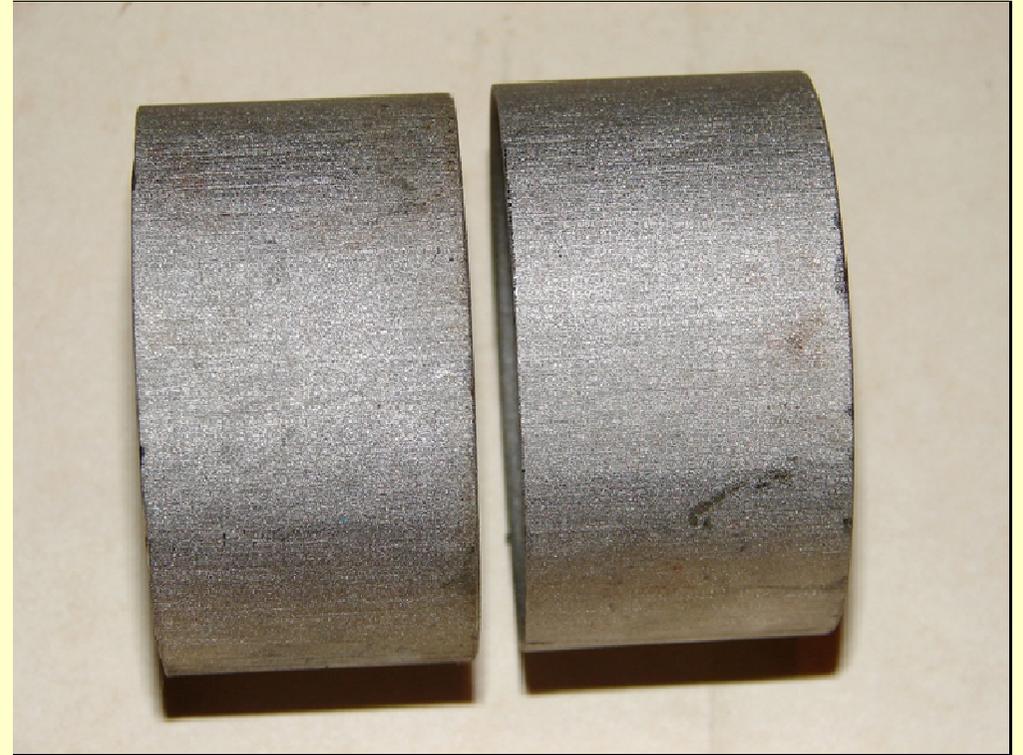


Ansicht von Kleinteilen

## Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe

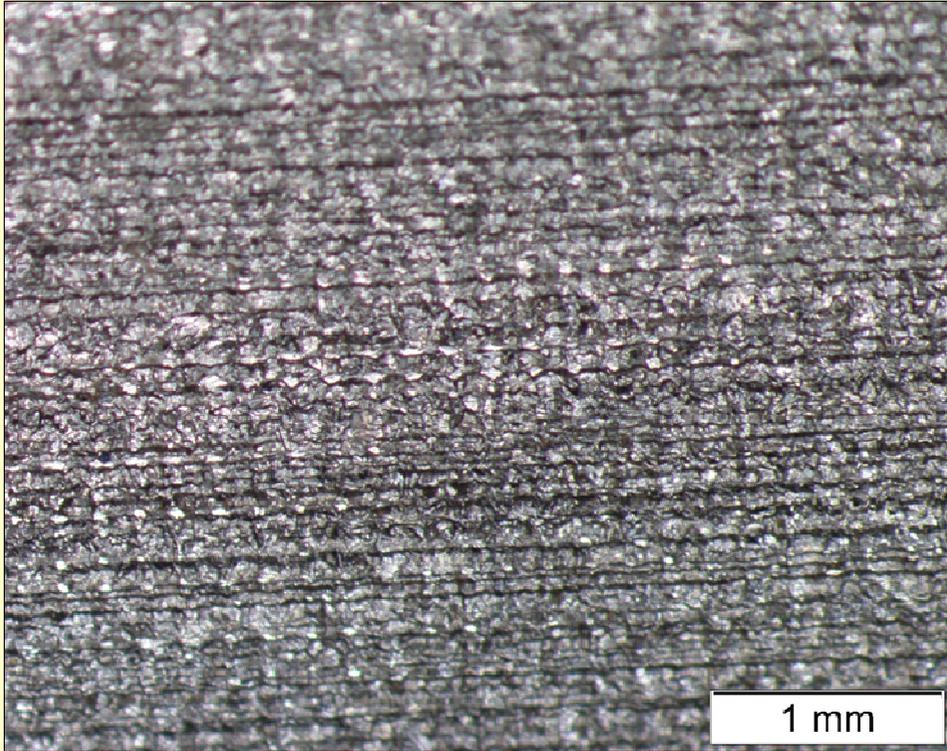


Manschette am Übergang von  
der Gelenkwelle zum Rotor



Ansicht der Distanzhülsen

### Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe



Oberfläche einer Distanzhülse, 20x



Ansicht der Manschettenringe

## Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe

### Zwischenstand – Zusammenfassung der Fakten

1) völlig gleichmäßige Korrosion fast aller produktberührter metallischer Bauteile

2) Ausnahme 1: die beide Manschettenringe

→ Sitz auf den Manschetten aus FKM (Viton)

→ sind somit von rotierender Einheit elektrisch isoliert

3) Ausnahme 2: das „Aufnahmegehäuse“

→ befindet sich am Wellendurchtritt

→ kein Kontakt zur rotierenden Einheit

4) Korrodierte Bauteile stammen aus verschiedenen Chargen von verschiedenen Herstellern!

5) Keine Anzeichen eines Angriffes an den Elastomeren!

## Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe

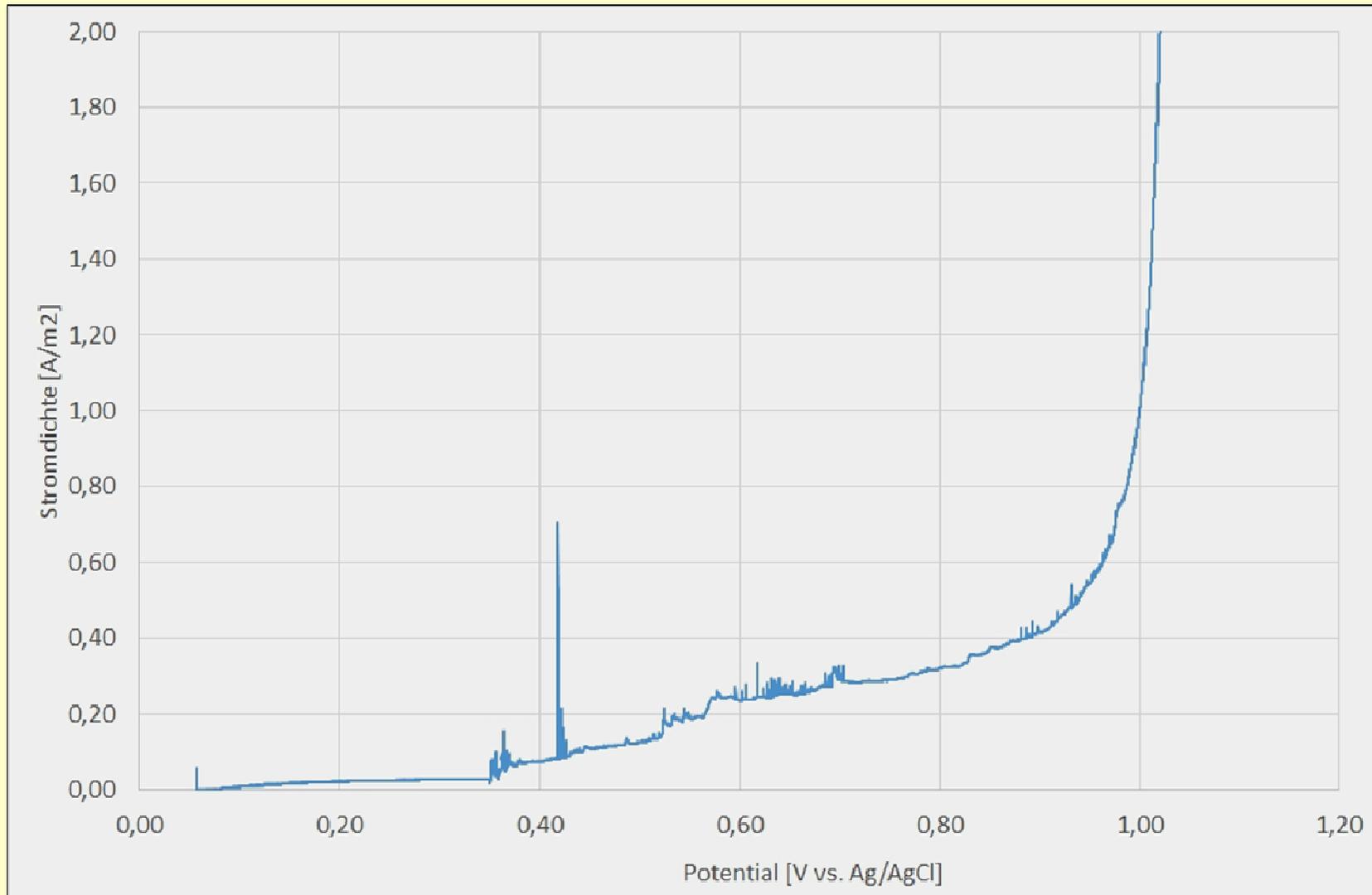
### Weiteres Vorgehen

- 1) → EDX-Analyse verschiedener Einzelteile zeigt Nickel, Chrom und Molybdän als Hauptbestandteile
- 2) Ermittlung einer Stromdichte-Spannungs-Kurve in 20% Schwefelsäure
- 3) Durchführung einer metallographischen Untersuchung

Geeignete Probe: Scheibe aus der Gelenkwelle

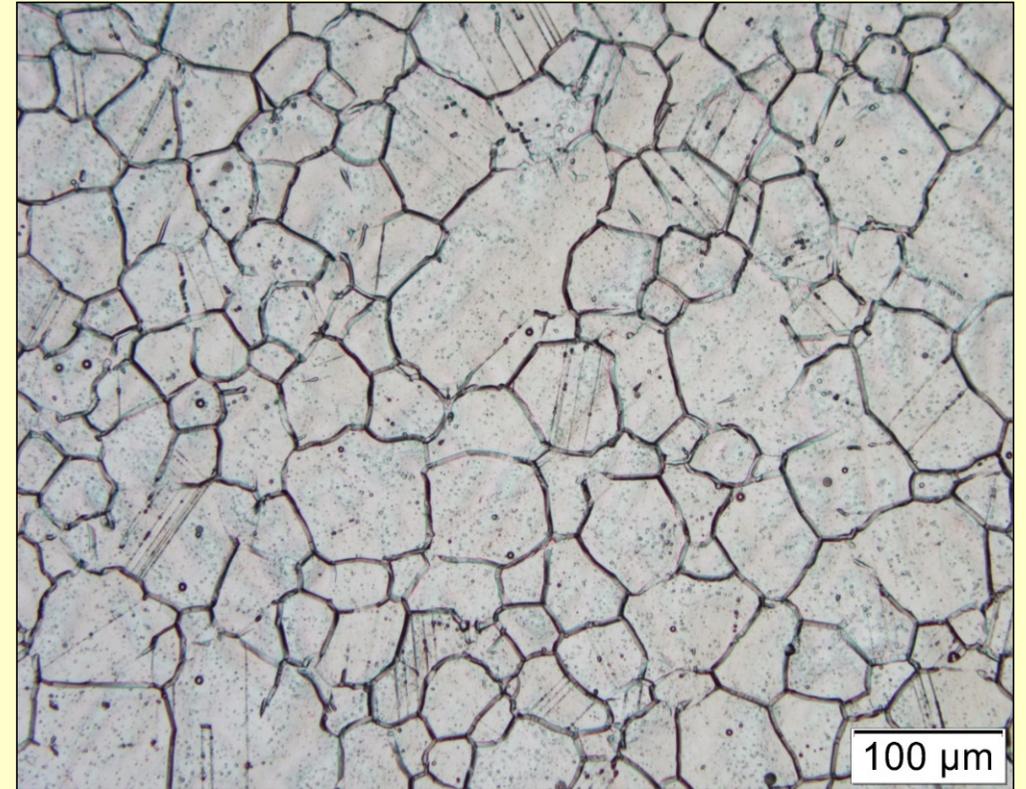
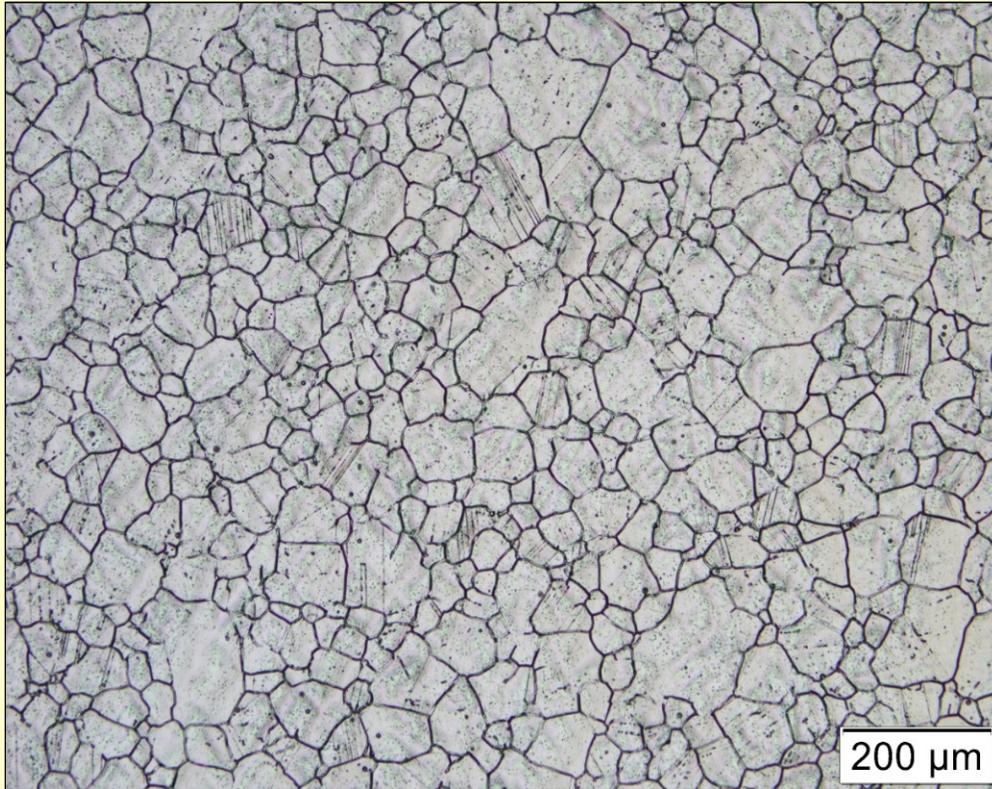
- Einbetten, Polieren
- Stromdichte-Spannungskurve
- wieder Polieren, Anätzen

## Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe



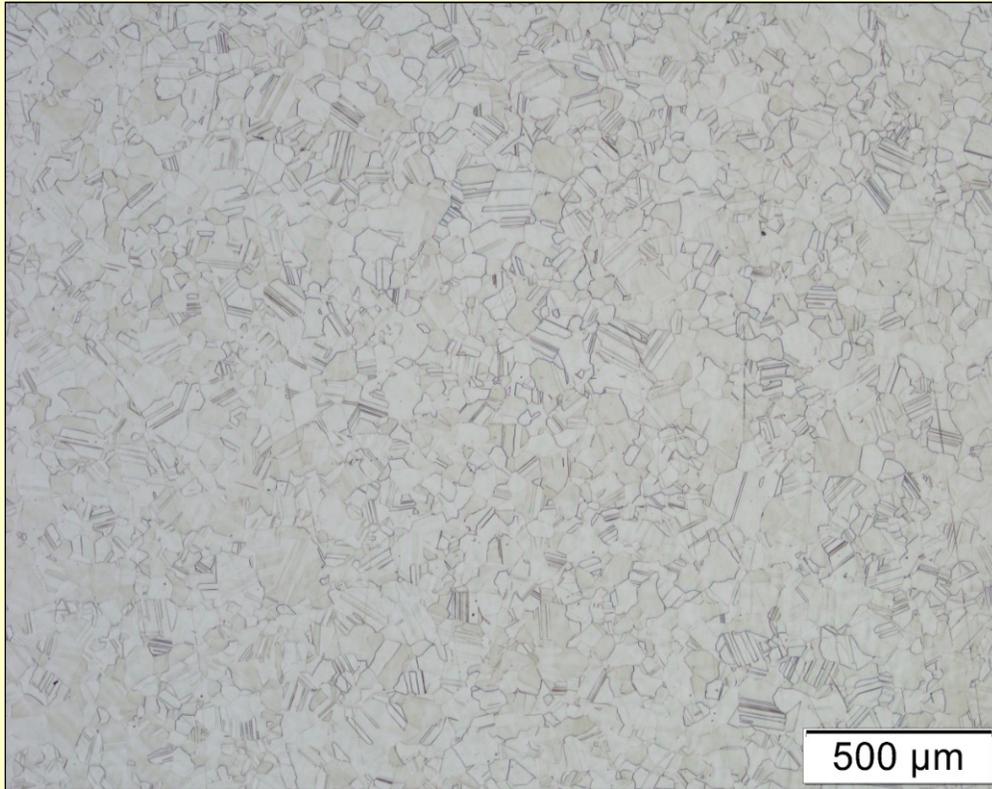
Stromdichte-Spannungs-Kurve

### Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe



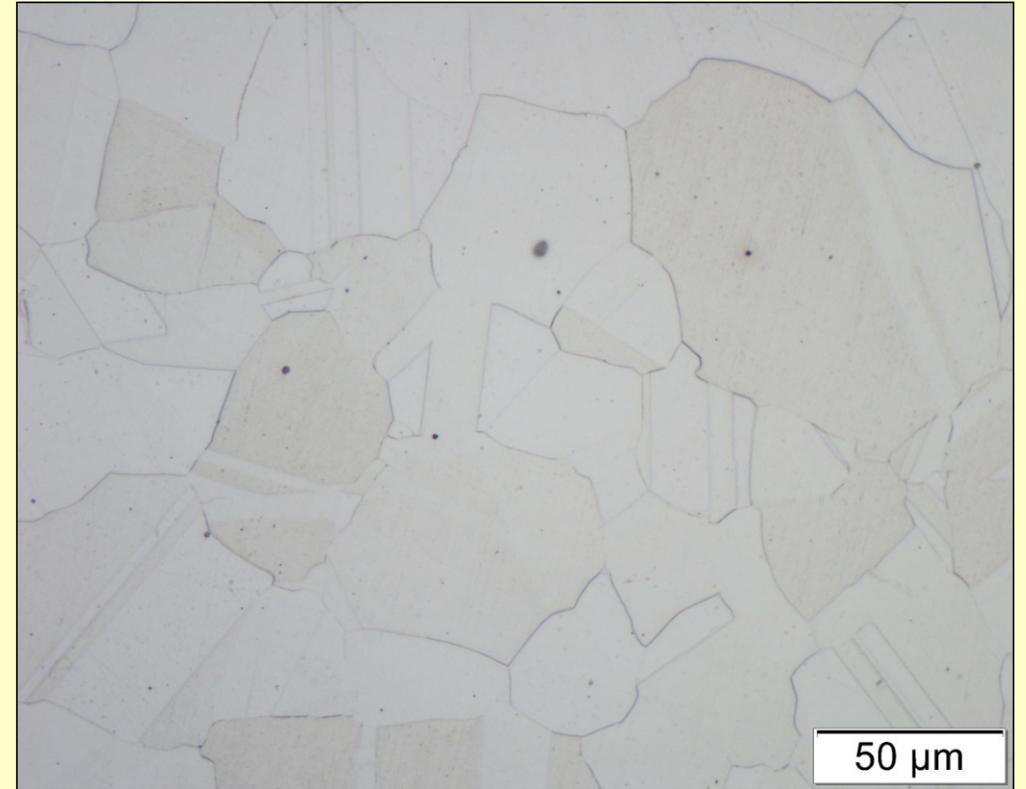
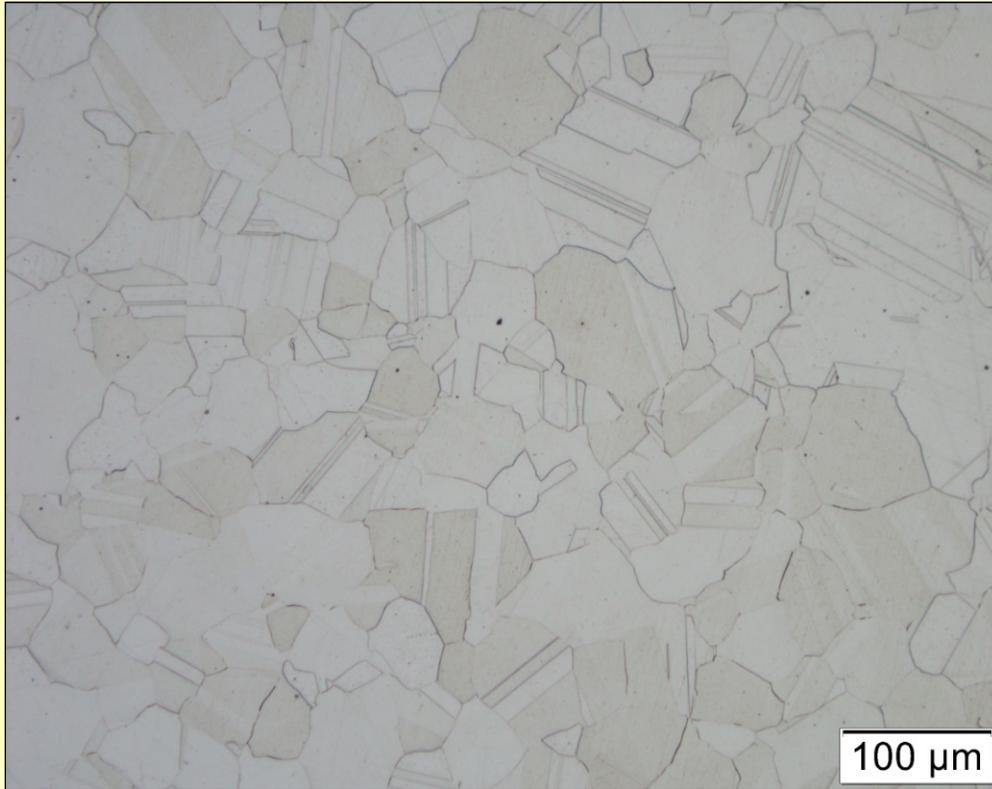
Probenoberfläche nach Abschluß des Versuchs, 100-fach und 200-fach

## Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe



Schliff der Gelenkwelle, geätzt, 50-fach und 100-fach

## Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe



Schliff der Gelenkwelle, geätzt, 200-fach und 500-fach

## **Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe – Diskussion**

### **1) schlechtes Material – äußerst unwahrscheinlich**

- Einzelteile aus unterschiedlichen Chargen unterschiedlicher Hersteller
- Angriff völlig gleichmäßig
- Schliffbild OK, schwierig zu ätzen
- völlig fehlender Ferromagnetismus (keine Reaktion auf Neodym-Magnet)

### **2) weitaus höhere Säuretemperatur – unwahrscheinlich**

- 2.4610 erträgt mindestens 80°C
- Aufnahmegehäuse aus Duplexstahlguß 1.4517 war nicht korrodiert

### **3) CIP-Lösung aus Salpetersäure – unwahrscheinlich**

- beide Manschettenringe wären ebenso angegriffen worden

## **Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe - Diskussion**

### **4) galvanisches Elementes mit 2.4610 als Anode – unwahrscheinlich**

- nur wenige metallische Werkstoffe sind in 20% Schwefelsäure beständiger
  - Platinmetalle, Gold
  - Tantal, Zirkonium, Nickel-Molybdän-Legierungen (Hastelloy-B-Typen)
  - Eisensiliziumguß
- Keiner dieser Werkstoffe ist in der Anlage verbaut!

### **5) Korrosion durch Streuströme – einziger Verdächtiger ohne Alibi**

- Fördermedium besitzt hohe elektrische Leitfähigkeit
- völlig fehlende Korrosionsprodukte an betroffenen Bauteilen
- keine Korrosion an isolierten Manschettenringen sowie Aufnahmegehäuse
- schnelle anodische Auflösung bei niedriger Spannung (I-U-Kurve)
- Stromart vermutlich Gleichstrom

**Kontra:** Bei Steustromkorrosion üblicherweise lochartige Narben

## **Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe - Diskussion**

### **Besonderheiten der Pumpe**

- Blockbauweise (Motor direkt an Welle)
- Befestigung an Stahlgerüst

### **Stromfluß**

über Fördermedium – Rotor – Gelenkwelle – Antriebswelle – Motor –  
Stahlgestell – Erde

### **mögliche Quellen des Gleichstroms:**

- Schweißarbeiten
- Erdungsleitungen
- kathodischer Korrosionsschutz anderer Anlagenteile
- oder???

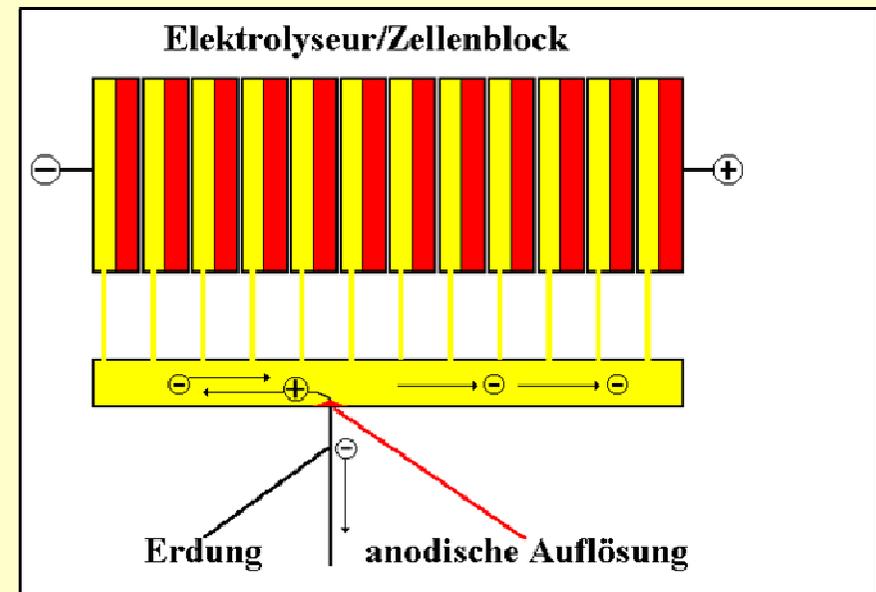
## Beispiel 3: Ausfall einer Exzentrerschneckenpumpe - Diskussion

### Erklärung des Schadensbildes (völlig gleichmäßiger Abtrag)

- geringe Spannung
- geringer Stromfluß
- rotierende Einheit

### Abhilfe

- Unterbrechung des Stromflusses
- Isolierung der Pumpe von ihrem Befestigungsgestell



Streustrom in der Elektrolyse



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**