

KORROSIONSSCHÄDEN

WECHSELWIRKUNG ZWISCHEN PLANUNG, AUSFÜHRUNG UND BETRIEB

K O N S U L E N T
A L L G E M E I N B E E I D E T E R
U N D G E R I C H T L I C H
Z E R T I F I Z I E R T E R
S A C H V E R S T Ä N D I G E R

DIPL.-ING. WOLFGANG ALLERTSHAMMER

S C H A D E N S A N A L Y S E
M E T A L L I S C H E R
W E R K S T O F F E
W E R K S T O F F B E R A T U N G
G U T A C H T E N

KORROSIONSSCHADEN

- WAS ? – Beschreibung des Schadens
- WARUM ? – zum Schaden führender Mechanismus
- WER ? – Suche nach dem Verursacher
- WIE ? – Kann der Schaden in Hinkunft vermieden werden ?

AUFGABENSTELLUNG

- Darstellung der Entwicklung von Schäden an Beispielen
- Erkennen der Fehler, die zum Schaden geführt haben
- Ableitung von Verhaltensweisen, um das Schadensrisiko möglichst gering zu halten

2

W. Allertshammer 05/2006

ÜBERSICHT

- **Spannungsrissskorrosion**

Verursachung durch Fehler bei der Konstruktion, der Fertigung, der Montage, der Wasserqualität, mikrobiologischer Aktivität

- **Schäden durch Einfluss von Konstruktion und Planung**
- **Herstellungsfehler**
- **Schäden durch Einfluss von Errichtung und Montage**
- **Schäden durch Einfluss der Umgebung (Medium)**
- **Schäden durch den Einfluss von Zusatz- und Hilfsstoffen**
- **Schäden durch den Einfluss von starkem Preisdruck**

SPANNUNGSRISSKORROSION

Definition

nach DIN 50900 / Teil 1:

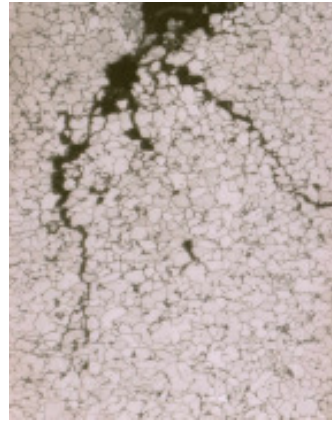
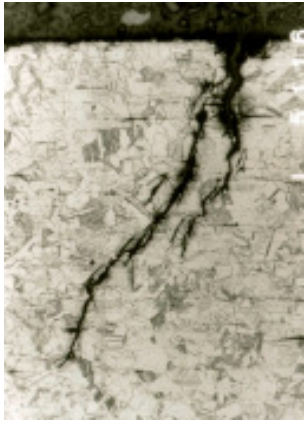
Rissbildung mit inter- oder transkristallinem Verlauf in Metallen unter Einwirkung bestimmter Korrosionsmedien bei rein statischen oder mit überlagerten niederfrequenten schwellenden Zugbeanspruchungen. Kennzeichnend ist eine verformungsarme Trennung oft ohne Bildung sichtbarer Korrosionsprodukte. Zugspannungen können auch als Eigenspannungen im Werkstück vorliegen.

3

W. Allertshammer 05/2006

Erscheinungsbild

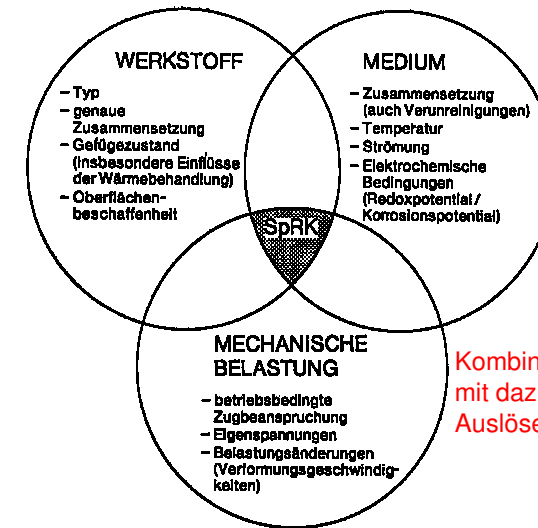
- spröde verästelte Risse
- transkristallin oder interkristallin



5

W. Allertshammer 05/2006

Wesentliche Einflussgrößen der Spannungsrisskorrosion



Kombination von Werkstoff mit dazu passendem Auslösemedium

6

W. Allertshammer 05/2006

Zugspannungen

- Lastspannungen
- Zwängspannungen
- Thermische Spannungen
- Schweißeigenspannungen
- Bearbeitungseigenspannungen
- geometrische Kerben
- innere Fehlstellen
- Gefügekerben

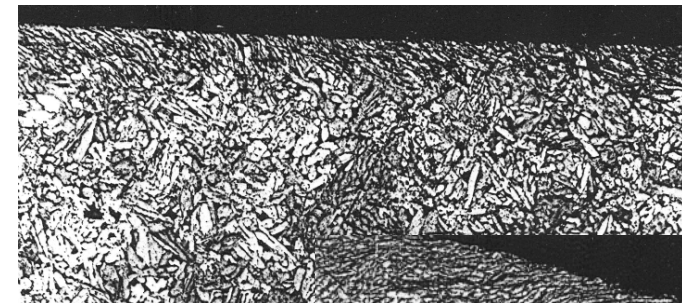
wichtig:

- ➔ Summe aller Spannungen
- ➔ räumlich und zeitlich
- ➔ in manchen Fällen kritische Dehngeschwindigkeit

7

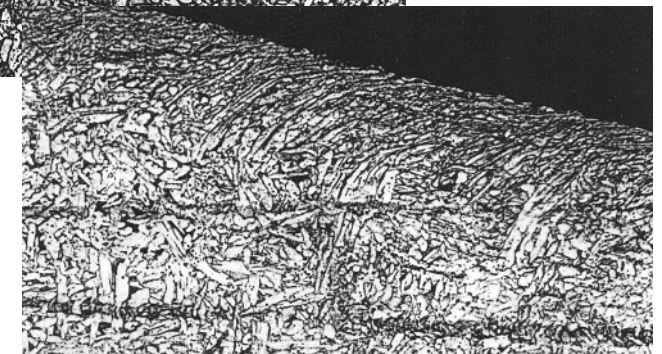
W. Allertshammer 05/2006

Zugeigenspannungen durch spanabhebende Bearbeitung



Gussmessing nach Drehbearbeitung mit geringer und hoher Kaltverformung

hohe Streckgrade des Gefüges erzeugen hohe Zugeigenspannungen



8

W. Allertshammer 05/2006

Beispiel: Bearbeitungseigenstressungen
Untersuchung der Rissempfindlichkeit im Labor



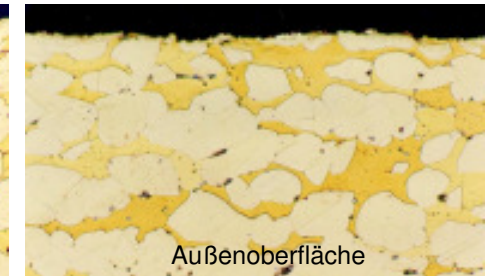
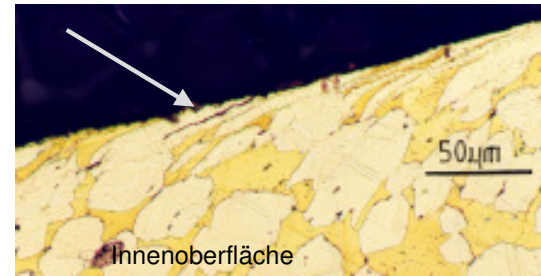
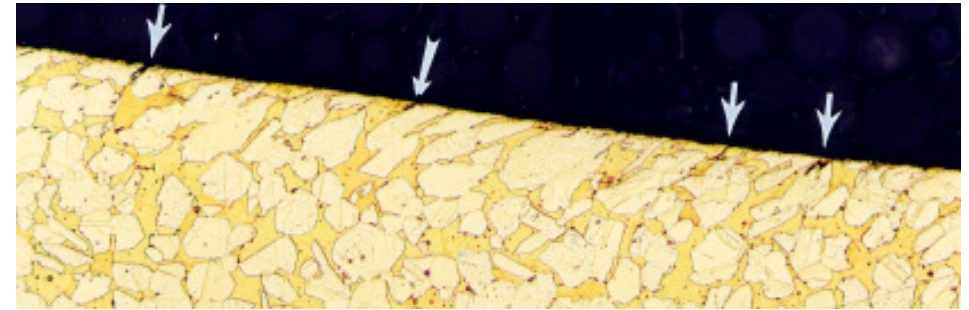
- Vergleichsteil weist innenseitig raue und verschmierte Drehriefen auf
- beide Teile aus Stangenmessing CuZn39Pb2
- Durchführung eines modifizierten Spannungsrissskorrosionsversuches in Anlehnung an DIN 50916 an einem Vergleichsteil
- Auslagerung über 5 Std. über einer 5 %igen Ammoniaklösung (entsprechend H. Sick)
- Metallographische Untersuchung → Anfangszustand der Rissbildung In diesem und anderen Merkmalen exakt gleich dem Schadensteil

9

W. Allertshammer 05/2006

Beispiel: Bearbeitungseigenstressungen

Herstellungsfehler



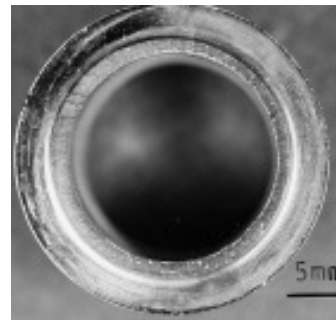
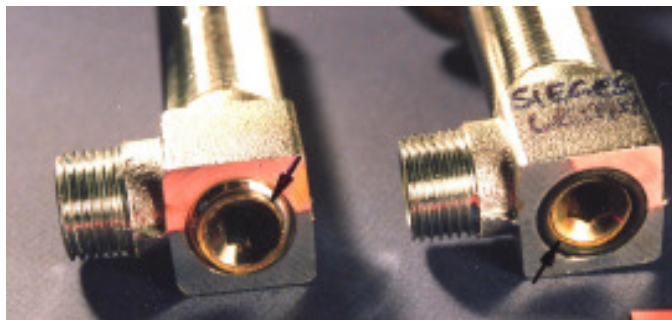
- 120 – 140 HV 0,5 ; in kaltverformten Zonen bis 190 HV 0,5

10

W. Allertshammer 05/2006

Beispiel: Konstruktiver Mangel

Einfluss von
Konstruktion und
Planung



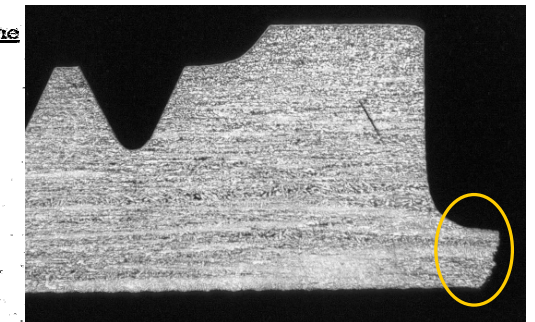
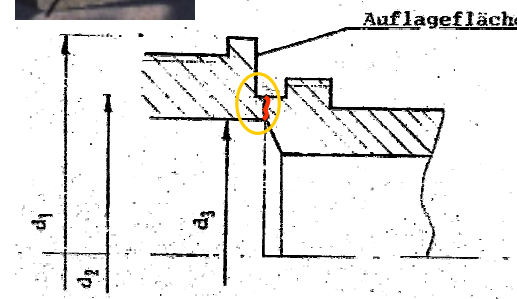
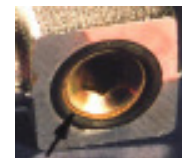
- Rissbildung im Anschlussbereich eines Installationsteiles
- mehrfach bei unterschiedlichen Wasseranalysen
- Rissausgang immer innenseitig von einer scharfen Kerbe am Grund einer Sacklochbohrung nach 2 bis 3 Jahren
- außenseitig Nut zur Aufnahme eines O-Ringes
- verbleibende Wanddicke zwischen 0,75 und 1,3 mm

11

W. Allertshammer 05/2006

Beispiel: Konstruktiver Mangel

Einfluss von
Konstruktion und
Planung

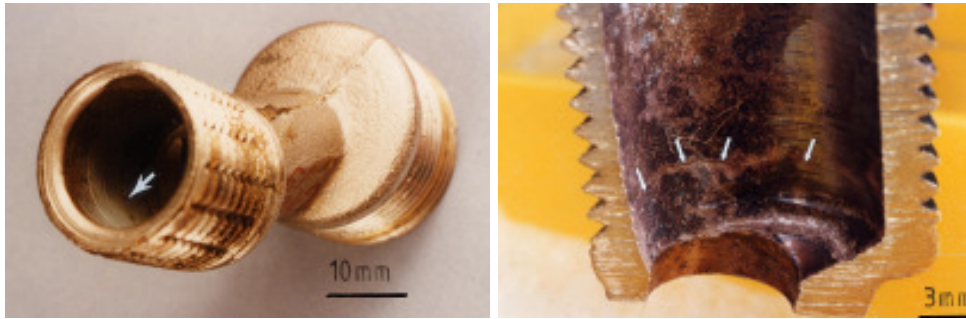


- entspanntes Stangenmessing CuZn39Pb2
- Der geringe Querschnitt ist von außen nicht erkennbar.
- Mit dem Festziehen der Gewindeverbindung wurde auch der kritische Querschnitt zusätzlich auf Zug belastet.
- Durch die doppelte Kerbwirkung ist ein hoch mehrachsiger Spannungszustand gegeben.

12

W. Allertshammer 05/2006

Spannungsrissskorrosion durch ungeeigneten Gefügestand



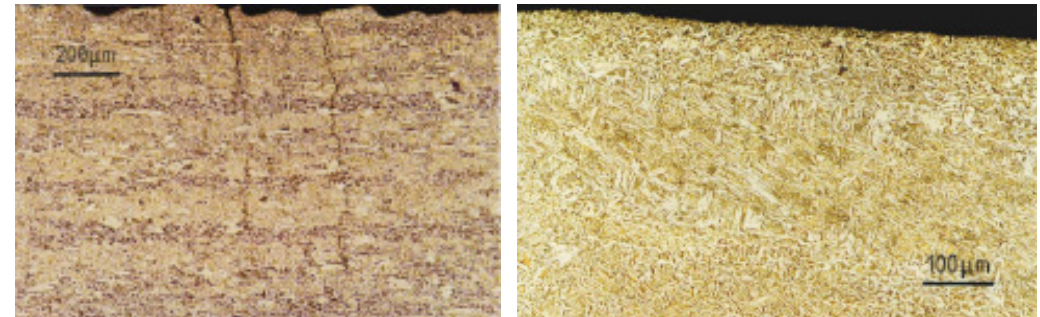
- Bildung von meist quer verlaufenden Rissen an Armaturenexzentern, von der Innenseite ausgehend
- Auftreten an verschiedenen Einbauorten
- unterschiedliche Deckschichtausbildung an der Innenoberfläche
- Nebenrisse zwischen dem 5. und 10. Gewindegang vorhanden
- Teile warm gepresst mit geschmiedetem Kern

14

W. Allertshammer 05/2006

Spannungsrissskorrosion durch ungeeigneten Gefügestand

Herstellungsfehler



- in den dünnwandigen Randbereichen atypisches Gefüge mit einer martensitähnlichen Nadelstruktur
- Härtewerte:

im Mittelteil des Exzenters

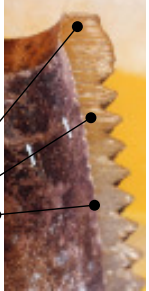
119 bis 126 HV0,5

im Bereich der Rissbildung (5. bis 10. Gewindegang)

140 bis 170 HV 0,5

in bearbeiteten Randzonen mit Kaltverformung

157 bis 198 HV 0,5



15

W. Allertshammer 05/2006

Spannungsrissskorrosion durch ungeeigneten Gefügestand

Verursachung:

- Art und Lage der Rissbildung und die ungewöhnlich hohe Härte lassen auf fertigungsbedingte Eigenspannungen schließen.
- Die feinnadelige Gefügeausbildung ist unüblich und in der Literatur nicht beschrieben.
- mehrfaches Auftreten unter verschiedenen Wasserqualitäten
- Rissbildung über mehrere Gewindegänge
- Der ungünstige Eigenspannungszustand muss schadensauslösend gewesen sein.

Herstellungsfehler

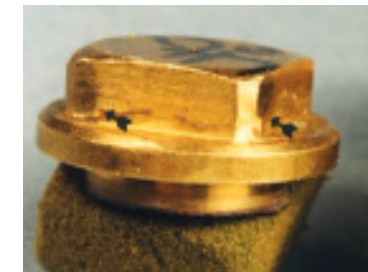
16

W. Allertshammer 05/2006

Spannungsrissskorrosion mit Entzinkung



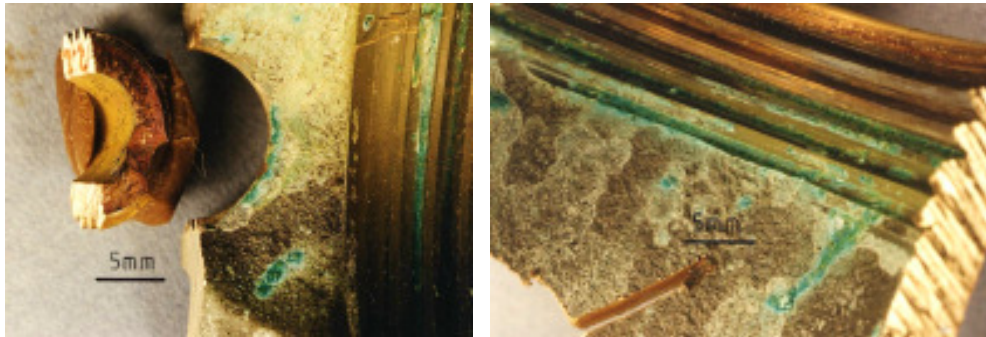
- Verschlussstopfen an einem Absperrventil aus CuZn39Pb2
- deutliche Abdruckspuren des Schraubenschlüssels vom Festziehen bei einer Abdichtung mit O-Ring
- von der Innenseite ausgehender, verformungsarmer Bruch
- kupferfarbige Bruchfläche



17

W. Allertshammer 05/2006

Spannungsrisskorrosion mit Entzinkung

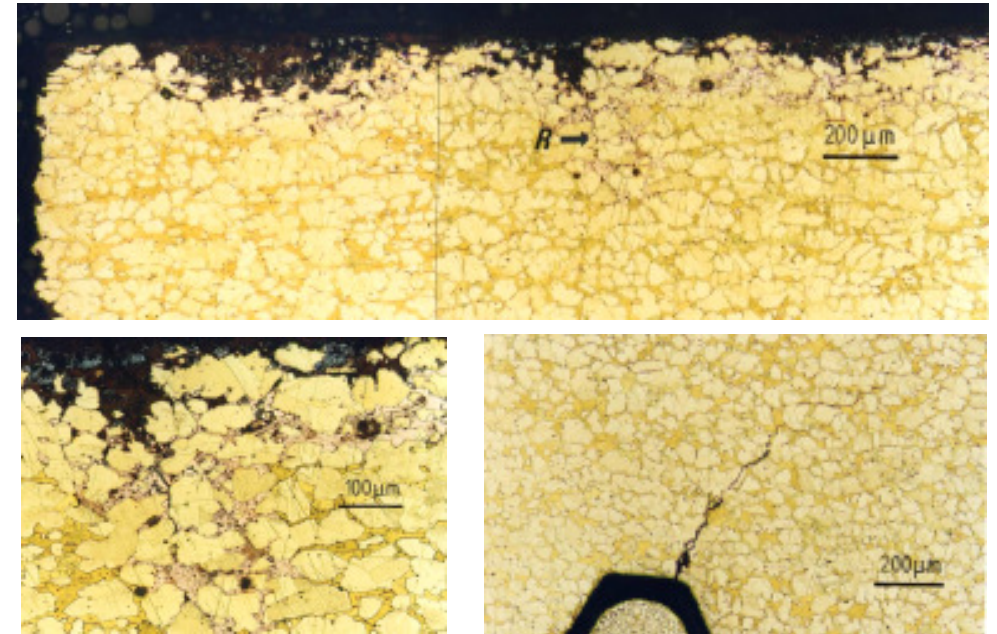


- Entzinkung war in einem weichen, chloridfreien Quellwasser unter den üblichen Bedingungen einer Trinkwasserinstallation nicht nachvollziehbar.
- Aus den voluminösen, grünlichen Belägen konnten filmartige Beläge extrahiert werden
- im FTIR- Infrarotmikroskop als extrazelluläre polymere Substanzen (EPS) aus einem Biofilm identifiziert

18

W. Allertshammer 05/2006

Spannungsrisskorrosion mit Entzinkung



19

W. Allertshammer 05/2006

Spannungsrisskorrosion mit Entzinkung

Verursachung

- primär sicher durch völlig unnötige Überbeanspruchung des Stopfens durch übermäßiges Festziehen
- Entzinkung fördert das Auftreten von Spannungsrisskorrosion wesentlich.
- Es ist als wahrscheinlich anzusehen, dass der vorhandene Biofilm dazu wesentlich beigetragen hat.

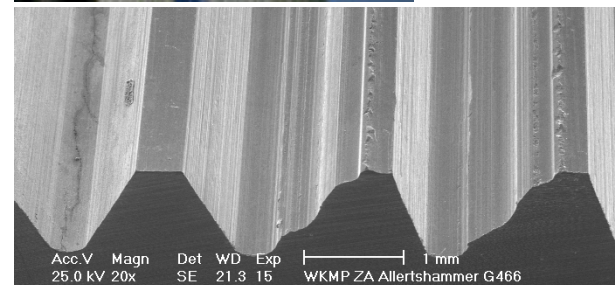
**Einfluss von Errichtung
und Montage**

**Einfluss der
Umgebung (Medium)**

Spannungsrisskorrosion durch Überziehen bei der Montage



- Rohrverschraubungen zwischen verzinkten Stahlrohren und Armaturen aus Messing
- Aufweitung bei SW 32 um 0,3 bis 0,8 mm
- Risse in Längs und Querrichtung, von außen oder innen, je nach Angriffsmöglichkeit eines Elektrolyten



**Einfluss von Errichtung
und Montage**

20

W. Allertshammer 05/2006

W. Allertshammer 05/2006

Spannungsrissskorrosion durch Überziehen bei der Montage



- $\alpha+\beta$ -Gussmessing des Typs CuZn39Pb mit einwandfreiem Gefüge und geringer Härte
- einwandfreie Bearbeitung ohne Einbringung von Zugeigenspannungen durch plastische Deformation bei der Bearbeitung
- die Untersuchung einer größeren Zahl an Verbindungen zeigt einen Zusammenhang zwischen Aufweitung und Häufigkeit der Rissbildung.
- Das extrem gehäufte Auftreten lässt einen zusätzlichen Einfluss vermuten

Einfluss von Errichtung und Montage

22

W. Allertshammer 05/2006

Spannungsrissskorrosion ausgelöst durch Dichtungshanf

Einfluss von Zusatz- und Hilfsstoffen



seit Jahren gleichbleibend hergestellte Bauteile aus Messing
innerhalb kurzer Zeit gehäuft Schäden durch Spannungsrissskorrosion

Dichtungshanf (Flachs) gibt Ammoniumionen an das Wasser ab
dadurch Spannungsrissskorrosion ausgelöst

Der Schaden ist im gleichen Zeitraum an unterschiedlichen Einbauorten und an Messingbauteilen unterschiedlicher Hersteller aufgetreten!!!



Einfluss von Errichtung und Montage

23

W. Allertshammer 05/2006

Spannungsrissskorrosion ausgelöst durch Dichtungshanf

Einfluss von Zusatz- und Hilfsstoffen

Nachweis des Ammoniumgehaltes mit Eluatanalysen (Lösung in destilliertem Wasser)

Vergleichsanalysen zeigen sehr unterschiedliche Gehalte von 0,3 bis 49,0 mg/l NH_4

Im strömungstoten Spalt genügen geringe Mengen um eine kritische Konzentration zu erzielen.

Rissbildung im ersten wasserberührten Gewindegang



24

W. Allertshammer 05/2006

Förderung mikrobiologischer Aktivität durch unkontrollierte Zugabe von Dosierstoffen

Einfluss von Zusatz- und Hilfsstoffen

- Korrosion an neu errichteten offenen Kühlkreisläufen
- Dosierung zum Korrosionsschutz vorgenommen
- Werkstoffe: Stahl, Messing, Rotguss
- immer stärker werdender Korrosion
- Vervierfachung der Dosiermenge
- Messung der betreuenden Fachfirma ergibt immer eine Unterdosierung des Dosiermittels
- innerhalb eines Jahres starker Korrosionsangriff der Rohrleitungen und teilweise Zusetzen derselben
- zur Sanierung werden große Mengen an Sauerstoffbindemittel zugegeben

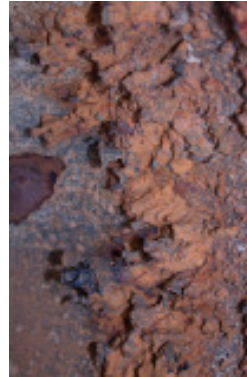


25

W. Allertshammer 05/2006

Förderung mikrobiologischer Aktivität durch unkontrollierte Zugabe von Dosierstoffen

Einfluss von Zusatz- und Hilfsstoffen



- Ergebnis: die Korrosion nimmt nochmals drastisch zu
- spätes Erkenntnis: Mikrobiologie ist im Spiel
- extremer Verbrauch der Dosiermittel durch Bakterien
- Sauerstoffbindemittel Sulfit ist ein Leckerbissen für sulfitreduzierende Bakterien
- Beschleunigung der Korrosion
 - Bakterien
 - Endprodukt Sulfat
 - ungenügende Filterung
- wesentlicher Fehler:
 - Dosierung ohne ausreichendes Wissen
 - ohne geeignete Kontrolle
 - Steigerung der Problematik durch falsche Sanierungsmaßnahmen

Bakterien können Dosierstoffe und manchmal sogar Mikrobiozide als Nahrungsquelle nutzen !!!

26

W. Allertshammer 05/2006

unerklärliche Korrosion in Heizkesseln

Einfluss der Umgebung (Medium)



Durchrostung der Abgasführung von Brennkesseln nach bereits halbjähriger Betriebszeit in einer Thermenanlage

in Rostproben, Schlammproben und Kondensat wurde Chlor, Schwefel und Fluor festgestellt

umfangreiche Untersuchungen mehrerer Experten:

Ergebnis: die Verunreinigungen können nur durch den Installateur eingebracht worden sein

Erneuerung der Kesselanlage

nach Erneuerung der Kesselanlage gleicher Schaden innerhalb eines halben Jahres

27

W. Allertshammer 05/2006

unerklärliche Korrosion in Heizkesseln

Einfluss der Umgebung (Medium)



Blick auf die Analyse des Thermenwassers:

Schwefel, Chlor und Fluor etwa im gleichen Mengenverhältnis, wie in den vorliegenden Analysen der Korrosionsprodukte

Untersuchung zur Entlastung des Installationsunternehmens:

kann nachgewiesen werden, dass von den Brennern tatsächlich die Abluft der Therme angesaugt wurde?

Wo geht Abluft hin?

➡ örtlich begrenzte Korrosionserscheinungen am Flachdach des Gebäudes



28

unerklärliche Korrosion in Heizkesseln

Einfluss der Umgebung (Medium)



Bestimmte Stellen der Einblechung aus Kupfer weisen unschöne Korrosionsbeläge auf.

Beläge unterhalb des Fortluftgitters und an Stellen verstärkter Kondensation.

Die restliche Verblechung ist frei von Korrosion und zeigt die übliche Patina.

Belagsanalysen zum Nachweis des Transportweges

Belagsproben an Korrosionsstellen und außerhalb davon entnommen

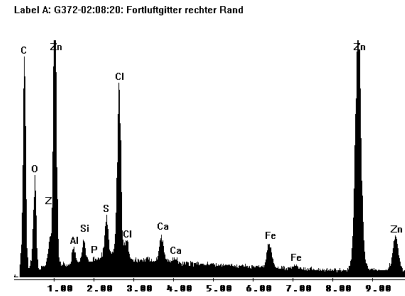


29

W. Allertshammer 05/2006

unerklärliche Korrosion in Heizkesseln

Einfluss der Umgebung (Medium)



Die Belagsanalysen bestätigen den Transportweg über die Fortluft der Halle.

Chlor und Schwefel sind in allen Korrosionsbelägen, Ablagerungen etc. nachzuweisen:

in der Thermenhalle, am Fortluftgitter, am Flachdach, im Zuluftgitter des Heizraumes, in der Luftansaugung der Gasbrenner

Pointe: Bei Untersuchung des Erstschadens wurde die Zusammensetzung des Thermalwassers überhaupt nicht berücksichtigt.

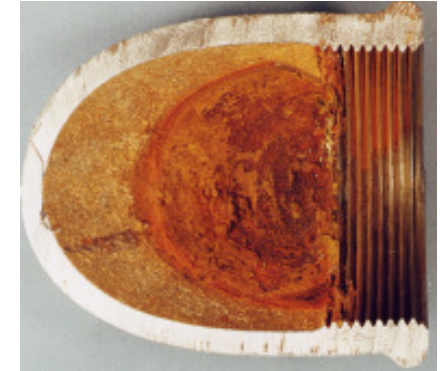
30

W. Allertshammer 05/2006

Wasserreste nach Entleerung

Einfluss von Errichtung und Montage

- Entleerung von Wasserleitungen nach Druckprobe mit Wasser
- verbleibende Sumpfe sind über Monate sich selbst überlassen
- empfindliches Problem für neue verzinkte Rohrleitungen
- Einflussgrößen:
 - Elementbildung
 - Mikrobiologie
 - Eintrag von Kupferpartikeln aus der Entzinkung von Messing
- Abhilfe:
 - Druckprobe ohne Wasser
 - Ausblasen
 - Inbetriebnahme nach DIN 1988

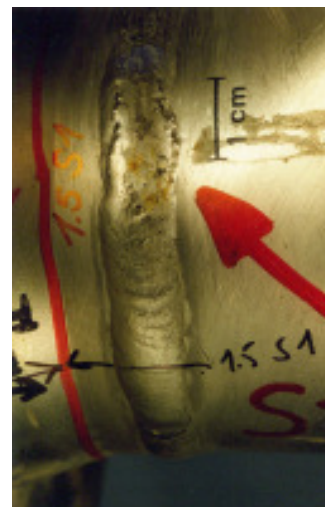


31

W. Allertshammer 05/2006

fehlerhaftes Schweißen von Rohrleitungen aus NIRO (1.4571) (Meerwasserentsalzungsanlage)

Einfluss von Errichtung und Montage



3

W. Allertshammer 05/2006

fehlerhaftes Schweißen von Rohrleitungen aus NIRO

Einfluss von Errichtung und Montage

- Rohre wurden dreifach gefertigt
- Erstfertigung binnen Tagen undicht, massive Fertigungsmängel
- Zweitfertigung mit Qualitätsüberwachung (Röntgenprüfung durch TÜV), ebenfalls binnen Wochen undicht
- Drittfertigung durch andere Firma
- Ergebnis: kein einziger Schaden
- **Was ist falsch gelaufen ?**



33

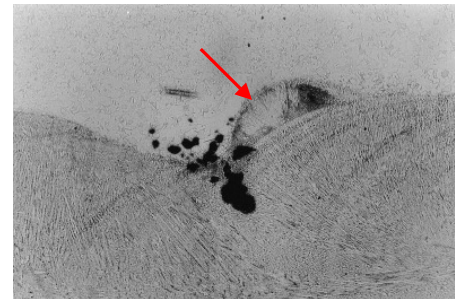
W. Allertshammer 05/2006

fehlerhaftes Schweißen von Rohrleitungen aus NIRO

Einfluss von Errichtung und Montage

zahlreiche Fehler:

- Ausschreibung mangelhaft
- Fertigung ohne Hinterfragung der Ausschreibung
- als Folge: Beizung der Außenseite, Innenseite ohne Nachbehandlung
- Heften ohne Formiergas
- Korrosion ausgehend von den Heftstellen, jeweils 90° versetzt
- Folge Lochkorrosion in chromverarmten Zonen und entlang von Oxidhäutchen der Heftstellen



W. Allertshammer 05/2006

Korrosionsgefahren in Schweißkonstruktionen aus nichtrostendem Stahl

- Oxidfilme und Zunderschichten vermeiden sonst erhöhte Korrosionswahrscheinlichkeit für Lochkorrosion
- Schutz- und Formiergas erforderlich
- EN 12502-4: „ In Wässern, deren Zusammensetzung Trinkwasser entspricht und deren Temperatur unter 100 °C liegt, wird die Korrosionswahrscheinlichkeit durch dünne Oxidfilme von strohgelber Farbe nicht beeinflusst.“
- bei höherer Korrosionsbelastung Anlauffarben komplett entfernen (Beizen, Schleifen, Strahlen)
- bei grobem Schleifen umgekehrter Effekt möglich: Aufhärtungen
- weitere Hinweise in EN 12502-4

35

W. Allertshammer 05/2006

Korrosion an Rohrschweißnähten eines Hallenbades



36

W. Allertshammer 05/2006

Werkstofffehler bei Billigimport

Einfluss von starkem Preisdruck

Bruch des Schlauchanschlusses einer Armatur durch Spannungsrisskorrosion

die Untersuchung ergab:

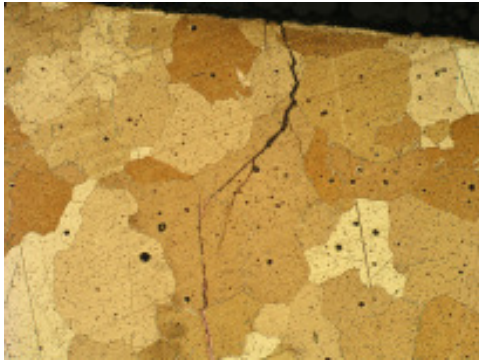
- ein massives Überziehen der Schlauchanschlusskupplung
- Verwendung ungeeigneter, weil beschädigter Dichtringe
- ein ungeeigneter Werkstoff mit ungünstiger Gefügeausbildung und einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Spannungsrisskorrosion



W. Allertshammer 05/2006

Werkstofffehler bei Billigimport

Einfluss von starkem Preisdruck



- Gussteil aus β -Messing
- spröde und empfindlich gegenüber Spannungsrissskorrosion
- grobkörniger Guss bei Wanddicken um 0,8 mm
- Rissbildung durch Überlagerung mehrerer ungünstiger Parameter
- wesentlich waren:
 - überziehen
 - ungeeigneter Werkstoff
 - ungeeigneter Gefügestand

38

W. Allertshammer 05/2006

Sauerstoffeintrag durch Verwendung flexibler Schläuche

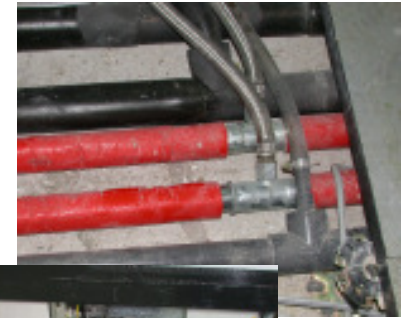
Einfluss von starkem Preisdruck

Heizanlage eines neuen Bürogebäudes

Werkstoffe – Installation:
Stahlrohre und Weichstahlrohre mit Pressfittings
Armaturen aus Messing
Fancoils mit Kupferrohren
Anschluss mit flexiblen Schläuchen

Funktionsprobleme durch stecken gebliebene
Thermostatventile ab der ersten Heizsaison

mangels geeigneter Sanierung Steigerung der
Probleme in der 2. Saison, Mieter beginnen
abzusiedeln



mer 05/2006

39

Sauerstoffeintrag durch Verwendung flexibler Schläuche

Einfluss von starkem Preisdruck



Ergebnisse:

- Thermostatventile mit sehr engem Regespalt
- Ventile haben im Neuzustand einwandfreie Funktion
- ständig hoher Eisengehalt im Wasser durch Analysen bestätigt
- mehrfaches Spülen der gesamten Anlage mit Feuerwehranschluss bringt nur kurzzeitig Verbesserung
- im Ventilspalt besonders dicke Beläge, die überwiegend aus Rost und Zinkoxid bestehen
- noppenförmiger Korrosionsangriff auf den Weichstahlrohren

40

W. Allertshammer 05/2006

Sauerstoffeintrag durch Verwendung flexibler Schläuche

Einfluss von starkem Preisdruck

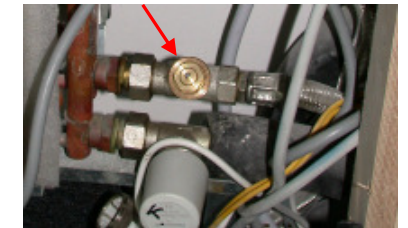
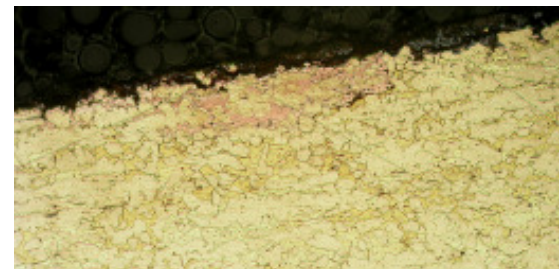
besonders starke Korrosion der Ventilkegel

Thermostatventile sitzen unmittelbar hinter den flexiblen Schläuchen

etwa 7.000 m flexibler Schlauch in der Anlage

damit andauernd geringer Eintrag von Sauerstoff

ein nur geringer Sauerstoffgehalt fördert die
Entzinkungskorrosion von Messing.



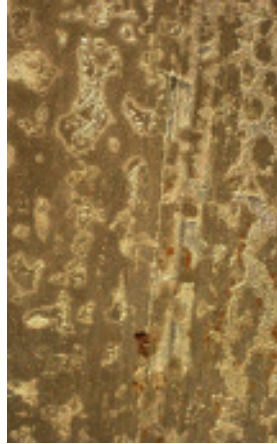
41

W. Allertshammer 05/2006

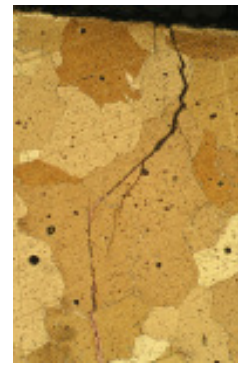
Sauerstoffeintrag durch Verwendung flexibler Schläuche

- Verursachung durch
 - extensive Verwendung flexibler Schläuche, die nicht völlig sauerstoffdicht sind
 - keine Dosierung eines Sauerstoffbindemittels
- Dosierung und Umwälzung wäre unter den gegebenen Bedingungen auch im Sommer erforderlich gewesen
- Selbstverstärkung des Schädigungsmechanismus:
 - wenig O₂ erzeugt Entzinkung von Messing
 - Kupfer geht in Lösung
 - lagert sich auf den Stahlrohren ab
 - Bildung von Lokalelementen auf Stahlrohren
 - durch ständige Nachlieferung von O₂ große Mengen an Korrosionsprodukten
 - bevorzugte Korrosion und Aufwachsen von Belägen im Spalt des Thermostatventils
 - dieses setzt sich binnen kurzer Zeit zu und blockiert

Einfluss von starkem Preisdruck



W. Allertshammer 05/2006



43

ZUSAMMENFASSUNG

- Korrosion ist keine abgeschlossene Wissenschaft, sondern muss sich beständig mit neuen Problemsituationen auseinandersetzen.
- Die anhaltende technische Entwicklung, der Einsatz neuer Werkstoffkombinationen, Fertigungs- und Montagetechniken führt auch zur Entstehung neuer Schadensmechanismen.



5/2006

ZUSAMMENFASSUNG

- Es gibt daher keine absolute Sicherheit bei der Vermeidung von Korrosionsrisiken
- Das Wissen um entsprechende Gefahrenquellen kann entscheidend dazu beitragen, dass Schäden gar nicht entstehen.
- Korrosionsschäden sind in den seltensten Fällen auf einen fehlerhaften Werkstoff zurückzuführen; sie entstehen fast immer durch ein komplexes Zusammenwirken unbekannter oder nicht ausreichend berücksichtigter Einflüsse

