

### Editorial

Verehrte Leser,

ein neues Jahr hat gerade begonnen, und die Sachverständigen des BTE wünschen Ihnen privat und beruflich ein erfolgreiches 2006.

Das zu Ende gegangene Jahr hat neben vielen kleineren auch wieder herausragende Feuerschäden gesehen. Als spektakulären öffentlichkeitswirksamen Schaden möchte ich hier stellvertretend die Vernichtung des Lokschuppens des Nürnberger Verkehrsmuseums durch ein Schadensfeuer nennen. Wie bei den meisten anderen Großschäden haben auch hier wieder Experten des BTE ihren Sachverstand einbringen können. Diesen Sachverstand auf hohem Niveau weiterzuentwickeln, ist eines der zentralen Anliegen des BTE.

Die vom BTE-Vorstand erwartete Teilnahme der Mitglieder an Tagungen und Seminaren ist ebenso ein Mittel zur Fortbildung wie die aktive Mitarbeit an solchen Veranstaltungen in Form der Übernahme von Vorträgen und Abhaltung von Seminaren. Die Qualitätssicherung fängt aber schon viel früher an.

Um geeignete Bewerber für eine Mitgliedschaft im BTE auszuwählen, regelt die Prüfungsordnung des BTE, unter welchen Voraussetzungen ein bereits im Markt etablierter Sachverständiger Experte BTE werden kann. Notwendig ist, dass bereits ein vertiefter, positiv beurteilter Kontakt mit BTE-Mitgliedern an Schadenstellen stattgefunden hat. Aber auch der Hinweis aus der Assekuranz oder von Maklern auf geeignet erscheinende Sachverständige ist willkommen.

Die Prüfungsordnung ist so angelegt, dass sie international den Aufnahmevoraussetzungen der FUEDI-Mitgliedsverbände entspricht. Wegen ihres hohen Stellenwertes ist sie auf der letzten Jahreshauptversammlung zum Satzungsbestandteil erhoben worden. Wer das Aufnahme-procedure der Prüfungsordnung erfolgreich absolviert hat, wird jederzeit als Experte BTE im Markt bestehen.

Nun wünschen wir Ihnen beim Studium der BTE-Nachrichten Freude und den Gewinn neuer, für Ihre Arbeit nützlicher Erkenntnisse.

Die Redaktion

### Inhalt

#### ① Aus den Fachgruppen

#### ② Aufsätze

- **Ab welcher Flächenbelastung ist Salzsäure eigentlich metallkorrosiv?**  
Dipl.-Chem. Dr. rer. nat. Dieter Rackwitz
- **Personal- und Personalnebenkosten im produzierenden Gewerbe**  
Dipl.-Vw. Peter Röder
- **Ermittlung der Restlebensdauer betriebsbeanspruchter Dampfturbinen**  
Dipl.-Phys. Dr. rer. nat. Volker Detampel
- **Sind Schnelltestverfahren zur Schimmelpilzbeurteilung sicher?**  
Dipl.-Chem. Dr. rer. nat. Hans-Dieter Wirts

### Termine

- Jahresarbeitstagung Hannover: 2.–4.3.2006
- DST Berlin: 16.–17.3.2006
- Jahreshauptversammlung Bremen: 8.–10.9.2006

#### IMPRESSUM

Herausgeber:  
Bund Technischer Experten e. V.  
Postfach 34 01 02, 45073 Essen  
eMail: bte-geschaeftsstelle@bte-ev.de  
Internet: www.bte-ev.de

Bankverbindung:  
Deutsche Bank, BLZ 370 700 24  
Konto: 361 248 800

Redaktion:  
Dr. Dieter Rackwitz  
Kollenbacher Straße 36, 51515 Kürten  
Tel.: 0 22 07 / 96 67 14  
Fax: 0 22 07 / 96 67 50  
eMail: CSB.Dr.Rackwitz@t-online.de

Die Beiträge geben die Meinung der Autoren wieder und entsprechen nicht zwangsläufig der Auffassung der jeweiligen Fachgruppe des BTE.

## ❶ Aus den Fachgruppen

### FG Naturwissenschaften und Sondergebiete mit der FG Maschinenwesen

Dipl.-Ing. Joachim Scheuermann  
Tel.: 05 51 / 83 83 93

#### ✗ Brand in einer Span- plattenfertigungsanlage

Am 1. Juni 2005 ist die neue TA Abfall in Kraft getreten, nach der nur noch mineralische Abfälle deponiert werden dürfen. Der Anteil an organischem Abfall darf einen Massengehalt von 10% nicht überschreiten. Abfälle mit einem höheren organischen Anteil müssen durch Verrotten oder Verbrennen mineralisiert werden. Die Entsorgungskosten für nicht mehr weiter auftrennbaren Brandschutt mit seinem hohen organischen Anteil werden steigen. Es werden viele HMD geschlossen werden und mit mineralischem Abfall abgedeckt werden müssen.

Anhand von Beispielen wurde die Problematik der Entsorgung von Löschwasser und Brandschutt erläutert.

Dipl.-Phys. Dr. Ingo Dienwiebel  
Dipl.-Ing. N. Lakota  
Tel.: 0 23 02 / 4 70 58

#### ✗ Metallschäden bei er- höhten Temperaturen

Temperaturwechselrisse entstehen an der Bauteiloberfläche aufgrund örtlicher Spannungs- und Dehnungsgradienten infolge einmaliger oder wiederholter Überschreitung der Warmzugfestigkeit von Werkstoffen. Hierfür erläutert Herr Lakota vier Beispiele:

- Eisenbahnbremsen mit radialen Rissen auf einem Bremsenprüfstand.
- Eine Bandhaspel aus hitzebeständigem Stahlguss für Stranggussrollen. Hier wurden im Temperaturbereich von 1000 °C größere Schäden beobachtet als bei 1300 °C, weil dort die zusätzliche mechanische Belastung Ausbrüche verursachte.

- Bei der Untersuchung von Verformungen und Rissen an der Innenseite des Mantels eines Kupolofens wurden Temperaturwechsel von 100 °C bis 400 °C gemessen. Auf den Rissflanken wurde Zinn, Zink und Blei gefunden. Die Risse sind verzundert und verlaufen entlang der Korngrenzen. Es handelt sich um Lötbrüchigkeit, eine interkristalline Trennung an den Korngrenzen infolge des Eindringens flüssiger Metalle wie Zinn, Zink, Blei oder Kupfer.
- Nach einem Brand in einer Halle wurde die Frage der Tragfähigkeit der Nachbarhalle gestellt. Es wurden Stahlproben entnommen und der Härteverlust als Funktion der Temperatur untersucht. Ab einer Temperatur von 650 °C wurde Härteverlust festgestellt; diese Untersuchungen wurden durch Gefügeuntersuchungen bestätigt.

Dr.-Ing. Dieter Wanders  
Tel.: 0 81 65 / 94 09-0

#### ✗ Brand in einer Span- plattenfabrik

Nach dem Bruch einer Hydraulikleitung konnte die Spanplatten-Presse nicht mehr hydraulisch abgefahren werden. Bei dem Versuch, die Presse von Hand abzufahren, senkten sich die Hydraulikzylinder ungleichmäßig, so dass die Pressentische herausrutschten und die Hydraulikleitungen zerstörten. Das Hydrauliköl zündet bei 205 bis 220 °C; das Thermoöl der beheizten Presse hat eine Temperatur von 232 °C, womit die Brandursache klar ist.

Amerikanische Sachverständige behaupteten, dass die Presse unbedingt geöffnet werden musste, weil sich sonst die Spanplatten in der Presse entzündet hätten. Zusammen mit dem Pressenhersteller wurden Laborversuche angestellt, bei denen es nicht gelang, eine Spanplatte in der Presse zu entzünden.

Dipl.-Phys. Dr. Volker Detampel  
Tel.: 0 62 32 / 53 96 10

#### ✗ Sanierung eines Heiß- gaskanals. Vorbereitun- gen angesichts von VN- Bedenken

In zwei Heißgaskanal-Segmenten aus dem Nickel-Basis-Werkstoff Inconel 725, Neupreis insgesamt mehrere 100 TEuro, die sich hinter einer Gasturbine des VN (Stadtwerke) befinden, war es in der Folge einer Explosion zu Deformationen gekommen. Um einen künftigen Weiterbetrieb dieser Komponenten ohne schadensbedingte Einschränkungen zu erreichen, waren die Flanschanschlussmaße sowie einzelne Fluchten wiederherzustellen.

Nach Überprüfung der konstruktiven und werkstofftechnischen Gegebenheiten war aus sachverständiger Sicht festzustellen, dass eine Wiederherstellung im erforderlichen Umfang durch Richten und Schweißarbeiten möglich ist, und zwar ohne Vorwärmen und ohne abschließende Wärmebehandlung. Dabei beträgt der erforderliche Reparaturaufwand nur einen geringen Teil der Neuteilkosten.

Dennoch weigerte sich der Hersteller der Kanalsegmente, ein namhafter OEM, mit technisch nicht nachvollziehbaren Argumenten, eine entsprechende Reparatur auszuführen, sondern er bot lediglich die Lieferung von Neuteilen an. Dementsprechend lehnte der VN unter Hinweis auf die Herstellerweigerung zunächst eine Reparatur ab.

Daher waren sachverständigenseits in einem zweiten Schritt geeignete und vor allem aktiv interessierte Anbieter für die Durchführung der Reparatur ausfindig zu machen. Obwohl bekannte Maschinensanierer hier über keine Lösungsmöglichkeiten verfügten, war diese Anbietersuche letztlich doch erfolgreich.

Da der VN nicht über die auch für die auftraggeberseitige Begleitung einer erfolgreichen Reparatur benötigte Engineering-Erfahrung verfügte, wurden als Drittes noch

einschlägig erfahrene Ingenieur-Dienstleister für diesen Part benötigt. Diese mussten in der Lage sein, den VN, beginnend mit den technischen Gesprächen, von der Vergabe bis hin zur Fertigungsüberwachung mit begleitender Materialprüfung und Terminkontrolle sowie der abschließenden Abnahme der reparierten Kanal-Segmente zu unterstützen. Auch hier konnten dem VN Lösungen angeboten werden.

Schlussendlich zeichnete sich für die Regulierung ab, dass sich alle Kosten im Zusammenhang mit einer Reparatur nur etwa auf die Hälfte der ursprünglich vom VN angestrebten Ersatzmaßnahme belaufen.

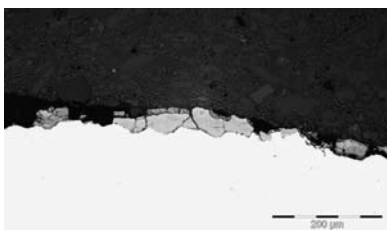
Dipl.-Phys. Dr. Dienwiebel

Dipl.-Ing. Lakota

Tel.: 0 23 02 / 4 70 58

### ✘ Anaerobe Bio-Korrosion an einem Behälter aus einem niedriglegierten Stahl

Das Bild 1 zeigt einen flächigen Korrosionsangriff im Bereich der Lochflanke ausgehend von der äußeren Oberfläche des Behälters. Auf der Innenseite wird keine Korrosion nachgewiesen.

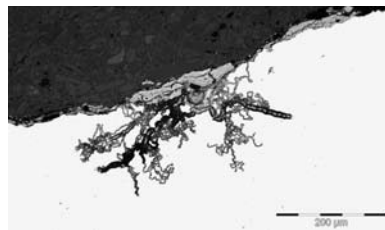


*Bild 1: Langsam fortschreitende Flächenkorrosion*

Je nach Feuchtigkeit der Außenoberfläche schreitet diese Korrosion voran, da der niedriglegierte Stahl keinen Schutz gegen diese Korrosion bietet. Die Beläge sind schichtweise aufgebaut, weil die Feuchtigkeit bei jedem Aufheizen trocknet, dadurch kommt die Korrosion zum Stoppen. Diese Korrosion schreitet aber langsam voran. Es bildet sich in Gegenwart von Sauerstoff Rost – Eisen<sup>III</sup>-Oxid. Auch ohne Sauerstoff kann Eisen bei

Anwesenheit von Wasser korrodieren, es bildet sich Eisenhydroxid und Wasserstoff, diese Korrosion schreitet noch langsamer voran. Bei der Auflösung von Eisen – mit und ohne Sauerstoff – handelt es sich um einen elektrochemischen Prozess, d. h. die chemischen Prozesse sind mit dem Fließen eines lokalen Stromes verbunden.

An einigen Stellen sind jedoch baumartige Korrosionsstrukturen sichtbar (Bild 2), die auf sulfatreduzierende Bakterien zurückzuführen sind.



*Bild 2: Biologische Korrosion durch sulfatreduzierende Bakterien*

Sie leben ohne Sauerstoff unter Belägen, deshalb spricht man auch von anaerober Biokorrosion. Die Auflösung von Eisen durch diese Mikroorganismen ist keine Flächenkorrosion, sondern verläuft wie eine Lochkorrosion. Hauptverursacher sind sulfatreduzierende Bakterien, die überall vorhanden sind. Sie leben vom im Wasser vorhandenen Sulfat (nachgewiesen durch EDX-Analyse) und reduzieren dieses zu Schwefelwasserstoff. Der Schwefelwasserstoff greift das Eisen an, und es bildet sich Eisensulfid.

Die Einzelheiten dieser elektrochemischen Korrosion sind noch nicht geklärt, da die Bakterien durch direkten Kontakt mit dem Eisen diesem Elektronen entziehen müssen. Wie dieser Stromfluss über die Bakterienzelle zustande kommt, ist noch nicht bekannt.

### FG Bauwesen

Dipl.-Ing. Peter Grimm (Hospitant)

### ✘ Normalherstellungskosten

Normalherstellungskosten (NHK) in Abhängigkeit der Wohnfläche

am Beispiel freistehender Einfamilienhäuser. Vergleich zwischen NHK- und BKL-Werten sowie eigenen Berechnungen bei verschiedenen Ausstattungsstandards. Es ergeben sich Abweichungen von bis zu 20%.

Dipl.-Ing. Erik Thees (Gast)

### ✘ Zeitwert

Unterschiede bei der Zeitwertbemessung von Sach- und von Haftpflicht-Schäden; zum einen gilt es, die technische Wertminderung zu ermitteln, zum anderen den Vorteilsausgleich. Berechnung der Quotierung bei mitwirkenden Ursachen.

Dipl.-Ing. Mathias Förster (Gast)

### ✘ Schadenabwicklung über das Internet

Technische Möglichkeiten und Voraussetzungen.

Dipl.-Ing. Ulrich Agethen (Gast)

### ✘ Dauerhafte Entwertung von Bauteilen

Unterschied zwischen Lebens- und Nutzungsdauer. Beispiele, Bewertungen, Beurteilungen, Diskussion.

Weitergehende Informationen hierzu über:

Dipl.-Ing. Bernd Frantzen

Tel.: 02 41 / 9 78 66-0

### FG Betriebswirtschaft

Dipl.-Kfm. Roland Eisele

Tel. 0 69 / 98 40 35 10

### ✘ Ist der Zeit- oder Neuwert Ausgangsbasis für die Bestimmung der Mehrkosten, wenn zwecks Beschleunigung anstelle einer Reparatur eine neue Anlage gekauft wird?

Mit Ausnahme der in den Versicherungsbedingungen gesondert geregelten Neuwertversicherung ist generell davon auszugehen,

dass der Ersatz einer Versicherung als Vermögensschaden anzusehen ist. Dies hat dann auch für die FBU-Versicherung Gültigkeit, wenn eine Neuwertregelung nicht gesondert vorgesehen ist (Bereicherungsverbot). Demnach ist für die FBU-Versicherung bei einer Beteiligung zwischen Maschinen-Neukauf und Reparaturkosten als Obergrenze der Totalschaden mit dem Zeitwert abgedeckt.

Die Fachgruppe BW ist allerdings der Auffassung, dass in diesem Falle durch Übereinstimmung der Vertragsparteien unter Würdigung der jeweiligen Sachlage eine andere Regelung getroffen werden kann. Sofern mit der Neuanschaffung einer Maschine jedoch Mehrkosten für Wertverbesserungen oder sonstige Vor- u. Nachteile verbunden sind, sind diese gesondert zu bewerten und auszusondern.

Dipl.-Vw. Günter Späth  
Tel.: 0 61 81 / 98 37 87

### ✗ Welche Möglichkeiten des Schadennachweises gibt es bei Unternehmen, die Gewinnermittlungen nach § 4 Abs. 3 EStG durchführen?

Ermittlungen sind nur über Plausibilitätsprüfungen/-berechnungen möglich. Ein buchmäßiger Schadensnachweis ist nicht möglich.

### ✗ Gruppendiskussion:

#### **Behandlung von ersparter AfA im Unterbrechungszeitraum, wenn durch vom Versicherer bezahlte Schadensminderungsmaßnahmen ein Ausfallschaden vermieden werden konnte**

Die ersparte AfA ist bei der Ermittlung des BU-Schadens auch dann zu berücksichtigen, wenn nur Schadenminderungskosten anfallen, da sich ansonsten ein wirtschaftlicher Vorteil für die VN ergeben würde

Kontakt hierzu:

Dipl.-Kfm. Dieter Götz  
Tel.: 0 89 / 8 59 44 04

## ② Aufsätze

Dipl.-Chem. Dr. Dieter Rackwitz  
Tel.: 0 22 07 / 96 67 14

### **Ab welcher Flächenbelastung ist Salzsäure eigentlich metallkorrosiv?**

Bei nahezu allen Feuerschäden ist Polyvinylchlorid (PVC) in Form von Kabelisolierung, Tehalitkanälen sowie Panzer- und Abflussrohren involviert. Bei der thermischen Zersetzung bzw. Zerstörung des PVC wird das darin enthaltene Chlor teilweise als elementares Chlor und vorwiegend als Hydrogenchlorid HCl abgespalten. Die wässrige Lösung des Letzteren ist als Salzsäure bekannt. Die Salzsäuredämpfe sind Bestandteil der Rauchgase, verteilen sich mit ihnen, kondensieren bei Unterschreitung der Rauchgastemperatur von ca. 110 °C und schlagen sich vorwiegend auf den nach oben weisenden Flächen von Gebäude und Betriebseinrichtung nieder. Handelt es sich um metallische Flächen, so kann die Salzsäure das Metall korrosiv angreifen. Bei un- oder niedrig legiertem Stahl, z. B. St 37, treten die bekannten flächigwolkigen fuchsbraunen Verfärbungen auf. Edeltähle, z. B. St. 1.1301, neigen eher zur Ausbildung von Lochfraßstellen.

Chlor, das zu seiner Bildung aus PVC einen Katalysator, nämlich Kupfer benötigt, ist aggressiver als Salzsäure und wirkt nach einem anderen Reaktionsmechanismus, wie noch gezeigt werden wird.

Die Salzsäurebeaufschlagung von Flächen wird aufgrund von Wisch- oder Ätzproben in µg Chlorid/cm<sup>2</sup> angegeben. Es ist zu fragen, ab welcher Flächenbelastung Salzsäure eigentlich Korrosionen auf Stahl auslöst. Ab 10 oder 5 oder 2 µg/cm<sup>2</sup>?

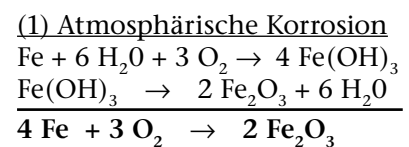
In dem Buch *Schadenminderung durch Schadenmanagement*<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> H.-P. Wollner (Hrsg.), Relectronic-Remech (heute BELFOR-Relectronic), RKH Verlag Tondock, München 1998, Seite 104 ff.

Band 1, wird unter Bezug auf Laboruntersuchungen (des Allianz Zentrum Technik) ein Grenzwert von ≥ 10 µg/cm<sup>2</sup> für Stahl formuliert, der sich in der Praxis bewährt habe. Dieser als korrosivkritisch bezeichnete Grenzwert hat auch Eingang in die VDS-Richtlinie 2357 zur Brandschadensanierung gefunden. Zu beachten ist, dass es sich bei der zugrunde gelegten Chloridflächenbelastung um eine Neutralsalzbelastung gehandelt hat bzw. um eine mit Chlorid in Handschweiß, der beim Anfasen übertragen worden ist. Für elektronische Anlagen gilt nach anderen Spezifikationen für eine Neutralsalzbelastung ein Grenzwert von ca. 1 µg/cm<sup>2</sup>.

Bevor man den Grenzwert hinsichtlich seiner allgemeinen Gültigkeit auch für Salzsäurebelastungen überprüfen kann, muss man sich mit den unterschiedlichen Korrosionstypen und -mechanismen auseinandersetzen und mit den Mengen- bzw. Massenverhältnissen.

Als Nächstes wird die atmosphärische Korrosion durch Luftsauerstoff in Gegenwart von Feuchtigkeit beschrieben.

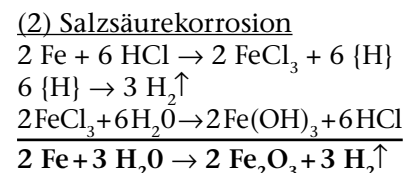


Legende:

Fe = Eisen  
 O<sub>2</sub> = Sauerstoff  
 H<sub>2</sub>O = Wasser  
 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = Eisen<sup>III</sup>-oxid

Wie man an der fett gedruckten Summenformel erkennt, ist Wasser nur als Reaktionsvermittler notwendig und wird nicht verbraucht.

Die salzsäureinduzierte Korrosion verläuft nach einem anderen Reaktionsschema.



Legende:

Fe	= Eisen
HCl	= Salzsäure
FeCl <sub>3</sub>	= Eisen <sup>III</sup> -chlorid
H <sub>2</sub> O	= Wasser
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= Eisen <sup>III</sup> -oxid
{H}	= Atomarer, instabiler Wasserstoff
H <sub>2</sub>	= Molekularer Wasserstoff als Gas

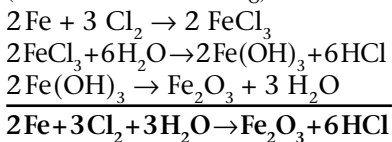
Das Wichtige an dieser Reaktion ist, dass einerseits die Salzsäure in der Summenformel gar nicht auftaucht, also nicht verbraucht wird, und dass andererseits Wasserstoff gebildet wird. Man kann mit Fug und Recht von salzsäureinduzierter Korrosion reden.

Die Korrosion verläuft also solange fortschreitend, bis das Eisenchlorid bzw. die Salzsäure chemisch oder mechanisch entfernt sind oder bis die Feuchtigkeitzufuhr durch Absenkung der rel. Luftfeuchte unter 45 % gestoppt ist.

Der in die Korngrenzen eindiffundierte Wasserstoff ist dafür verantwortlich, dass die Beweglichkeit der Atome im Kristallgitter behindert wird und sich dadurch Spannungen aufbauen, die zur Spannungsrisskorrosion führen können. Gefährdet sind hier alle sich elastisch verformenden Stähle, also auf Zug oder Torsion belastete Bauteile. Genannt seien hier Seile und Ketten von Hebezeugen (Krane, Aufzüge etc.) sowie Federn mit ungeschützten Oberflächen.

(3) Korrosion durch Chlor

(Vereinfachte Darstellung)



Legende (Ergänzung):

Cl<sub>2</sub> = Chlor

Bei dieser Reaktion entsteht als Reaktionsprodukt an Stelle von Wasserstoff Salzsäure, die nach (2) weiterreagieren kann, und es wird Wasser benötigt. Ist kein Wasser zugegen, kann man das aggressive Chlor in Eisenbehältern aufbewahren.

Es soll nun geprüft werden, was die unterschiedlichen Salz-

säureflächenbelastungen denn in ihrer Anzahl an Salzsäuremolekülen/cm<sup>2</sup> bedeuten, um daraus die Aussage ›korrosionsaggressiv oder nicht‹ ableiten zu können.

Es gibt in der Chemie eine Universalkonstante, die **Loschmidtsche Zahl: 6,023 x 10<sup>23</sup>**

- Sie bezeichnet universell die Anzahl von Molekülen in einem Mol eines Stoffes. Sie gilt für jeden Stoff.
- Unter Mol versteht man das Molekulargewicht eines Stoffes in Gramm.
- Ein Mol Salzsäure hat eine Masse von ca. 36,5 g und besteht demnach aus 6,023 x 10<sup>23</sup> Salzsäuremolekülen.

Die Salzsäurebelastung einer Fläche von 1 cm<sup>2</sup> liege bei 10 µg, entspr. 10 x 10<sup>-6</sup> g.

In Mol ausgedrückt: 10 x 10<sup>-6</sup> g : 36,5 g/Mol = 0,27 x 10<sup>-6</sup> Mol.

Damit kann man die Anzahl der Moleküle auf dem cm<sup>2</sup> ausrechnen:

0,27 x 10<sup>-6</sup> x 6,023 10<sup>23</sup> = 1,63 x 10<sup>17</sup> = 163 x 10<sup>15</sup> oder 163 Billionen Moleküle.

10 <sup>6</sup> = Million	10 <sup>18</sup> = Trillion
10 <sup>9</sup> = Milliarde	10 <sup>21</sup> = Trilliarde
10 <sup>12</sup> = Billion	10 <sup>24</sup> = Quatrillion
10 <sup>15</sup> = Billiarde	

Wie groß diese Anzahl an Salzsäuremolekülen auf dem cm<sup>2</sup> ist, soll anhand eines Beispiels erläutert werden.

- Das Volumen aller Weltmeere beträgt ca. 1.370 Millionen Kubikkilometer = 1,37 x 10<sup>18</sup> m<sup>3</sup>.
- Auf dem cm<sup>2</sup> befinden sich 163 x 10<sup>15</sup> HCl-Moleküle.
- Spült man die HCl von dem cm<sup>2</sup> vollständig in die Weltmeere und rührt um, so dass sich die Moleküle gleichmäßig verteilen, so ergibt sich folgende Rechnung: 163 x 10<sup>15</sup> : 1,37 x 10<sup>18</sup> = 119 x 10<sup>-10</sup> entsprechend 119 Moleküle je 1 Million Liter bzw. ca. 1 Salzsäuremolekül je 10 m<sup>3</sup>.

Führt man die Rechnung mit einem µg Chlorid/cm<sup>2</sup> durch, so fände man ein Molekül vom abgespülten cm<sup>2</sup> je 100 m<sup>3</sup>.

Wenn es bei 10 µg Salzsäure/cm<sup>2</sup>, entsprechend 163 Billionen

Molekülen/cm<sup>2</sup> zu Korrosionen kommt, bei 1 µg/cm<sup>2</sup>, entsprechend 16,3 Billionen Molekülen/cm<sup>2</sup> jedoch nicht, kann nicht die Anzahl der Salzsäuremoleküle dafür verantwortlich sein!

Was ist dann aber dafür verantwortlich, dass es bei einer Flächenbelastung von 10 µg Chlorid/cm<sup>2</sup> i.d.R. zu den begangstypischen Stahlkorrosionen kommt, bei 1 µg/cm<sup>2</sup> aber nicht?

Salzsäurekorrosionen können nur dann ausgelöst werden, wenn die Salzsäuremoleküle auch den Stahl erreichen und mit ihm reagieren können. Als Voraussetzung sei angenommen, dass die rel. Luftfeuchte ausreichend hoch ist oder dass sich ein Feuchtigkeitsfilm auf dem Stahl befindet.

Auch nicht durch eine Beschichtung geschützte Stahloberflächen sind jedoch nie ohne irgendwelche Beläge, sei es Fett, Staub (unspezifischer ›Hausstaub‹, mineralischer Gebäudeabrieb) oder Fremdmetalstäube oder -oxide aus der Fertigung. Ein Teil dieser Stoffe verhindert den direkten Kontakt der Salzsäure mit dem Stahl. Ein anderer Teil reagiert mit der Salzsäure, wobei dasselbe Gesetz gilt wie bei der beschriebenen Korrosion, d. h., auch bei den Fremdbelägen besteht ein Mol aus 6,023 x 10<sup>23</sup> Molekülen. So kann die Salzsäure leicht neutralisiert werden.

Bei Edelstählen kann es auch dann zu Korrosionen kommen, wenn bei einer Salzsäurebelastung weit unter 10 µg/cm<sup>2</sup> eine Gitterfellestelle in der mit Chrom oder/und Nickel angereicherten Oberfläche in Kontakt mit Salzsäure kommt. Es sind dann Lochkorrosionen zu beobachten mit dem bei ausreichender Luftfeuchte typischen Ausbluten.

Einem dritten Effekt muss auch noch Rechnung getragen werden. Die Proben werden i. d. R. als Wischproben von min. 100 cm<sup>2</sup> genommen. Es wird also über die Fläche integriert. Stellt man sich eine Tröpfcheninfektion mit Salzsäure vor, so könnte die örtliche Flächenbelastung auch viel höher sein als die integral ermittelte von z. B. 10 µg/cm<sup>2</sup>.

Was sind nun die für die Schadenspraxis relevanten Aussagen der Diskussion?

- Einen realen unteren Grenzwert für die Salzsäureflächenbelastung, die eine Stahlkorrosion auslöst, kann es nicht geben, zumal dann nicht, wenn die Belastung integral über eine Fläche ermittelt worden ist.
- Bei welcher Flächenbelastung Stahlkorrosionen ausgelöst werden, hängt von der Oberflächenbeschaffenheit des Stahls ab, d. h. von der Mächtigkeit und Deckung des Belages mit adsorbierenden oder neutralisierenden Stoffen.
- Bei der Formulierung eines *Flächenbelastungsorientierungswertes* muss es daher heißen: ›Ab welcher Flächenbelastung kann Salzsäure metallkorrosiv wirken?‹ und nicht ›Ab welcher Flächenbelastung ist Salzsäure metallkorrosiv?‹!
- Der Grenz- bzw. Orientierungswert von  $10 \mu\text{g Chlorid}/\text{cm}^2$  ist rein empirisch und als Aufforderung an den Chemiker zu verstehen, bei seinen Ermittlungen zu prüfen, ob eine Neutralsalz- oder tatsächlich eine Salzsäurebeaufschlagung vorliegt. Dazu reicht die Feststellung aus, ob die beprobte Fläche sauer reagiert.

Dipl.-Vw. Peter Röder  
Tel.: 0 55 51 / 9 82 40

### **Personal- und Personalnebenkosten im produzierenden Gewerbe**

Bei der Berechnung von Eigenleistungen der Versicherungsnehmer, insbesondere von Mitarbeitern bei der Behebung von Sachschäden, Durchführung von Schadenminderungsmaßnahmen sowie Nachholung von Leistungsausfällen, stellt sich immer die Frage nach dem Stundensatz der eingesetzten Mitarbeiter, der der Schadenberechnung zu Grunde zu legen ist.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass bei Einsatz der Mitarbeiter nur die tatsächlich anfallenden Kosten anzurechnen sind. Ge-

winnanteile und sonstige Gemeinkosten, die nicht im direkten Zusammenhang mit der Entlohnung der Mitarbeiter stehen, sind nicht zu berücksichtigen.

Die Personalkosten werden unterteilt nach dem Bruttostundensatz und den direkten und indirekten Personalnebenkosten. Die Höhe der direkten Personalnebenkosten wird bestimmt durch die Arbeitgeberanteile, Sozial-, Kranken- und Arbeitslosenversicherung, etc. Sie betragen 2003 im Durchschnitt des produzierenden Gewerbes 22,35% (vergl. iw-Trends, 2/2004). Die indirekten Personalnebenkosten beinhalten die zusätzlichen Leistungen und Vergütungen für Urlaub, Krankheit/Kuren, Sonderleistungen, betriebliche Altersversorgung, etc. Diese indirekten Zahlungen fallen grundsätzlich bei den geleisteten Arbeitszeiten an. Die geleisteten Arbeitszeiten sind die Arbeitszeiten, die von Arbeitnehmern tatsächlich produktiv gearbeitet werden. Die indirekten Personalzusatzkosten erhöhen somit genauso wie die direkten die Bruttolöhne der Arbeitnehmer.

In der gewerblichen Wirtschaft wurden im Durchschnitt 2003 von 260 bezahlten Arbeitstagen insgesamt 210 tatsächlich gearbeitet. Bei 38,5 Std./Woche entspricht das insgesamt 1.617 Stunden pro Jahr gegenüber 2.000 bezahlten Arbeitsstunden. Die Differenz ergibt sich aus den bezahlten Feiertagen, Urlaubs- und Krankheitstagen sowie sonstigen bezahlten Arbeitstagen. Neben der Berücksichtigung dieser indirekten Personalkosten, die in der ›produktiven Arbeitszeit‹ erwirtschaftet werden müssen, fallen Personalzusatzkosten aus betrieblicher Altersversorgung und sonstigen betrieblichen Leistungen an.

Die beschriebenen direkten und indirekten Personalnebenkosten werden auf den Bruttolohn bezogen. Für 2003 betragen im produzierenden Gewerbe die Personalnebenkosten rd. 85% des Bruttolohns. Bei der Berechnung des Stundensatzes für den Einsatz von Mitarbeitern des Versicherungsnehmers sind in der normalen Arbeitszeit

somit auf den Bruttostundenlohn rd. 85% zuzuschlagen.

In der geleisteten Überstunde fallen dagegen zunächst nur die direkten Personalnebenkosten von rd. 22% (bezogen auf den Bruttostundenlohn) an. Ob weitere Zuschläge zu berücksichtigen sind, hängt von den tarifvertraglichen Vereinbarungen zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer ab. So wird z. B. vielfach ein 13. Monatsgehalt aus der Jahreslohnsumme berechnet. Die bezahlten Überstunden erhöhen somit die Jahreslohnsumme und damit auch die indirekten Personalnebenkosten, die auf die Überstunde zu zahlen sind (in diesem Beispiel um 8%). Beim Einsatz von Mitarbeitern in Überstunden sollte deshalb die Berechnung des Zuschlags für Personalnebenkosten die betrieblichen Bedingungen berücksichtigen.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß die Zuschläge für Personalnebenkosten in der normalen Arbeitszeit im Durchschnitt bei rd. 85% liegen und bei Überstunden im Minimum rd. 22% betragen.

Bei der Einschaltung von Sanierungsfirmen in Überstunden gilt im Grundsatz ein ähnlicher Sachverhalt. Die vertraglich vereinbarten Basisstundensätze der Sanierungsfacharbeiter beinhalten für die Normalstunde die direkten und indirekten Personalnebenkosten, sonstige Umlage- und Gewinnanteile. Werden Überstundenzuschläge auf der Grundlage des Basisstundensatzes berechnet, entstehen zusätzliche Gewinnanteile, da die indirekten Personalnebenkosten der Sanierungsfacharbeiter in der Überstunde geringer sind. Die Sanierungsfirmen haben deshalb den Basisstundensatz für die Berechnung der Überstundenzuschläge reduziert. Der Umfang dieser Reduzierung ist unter Berücksichtigung einer Mischkalkulation zwischen dem Einsatz in der normalen Arbeitszeit und Überstunden in den Preislisten der Sanierungsfirmen festgelegt bzw. wird direkt mit dem Versicherer vereinbart.

Dr. Volker Detampel  
Tel.: 0 62 32 / 53 96 10

### **Ermittlung der Restlebensdauer betriebsbeanspruchter Dampfturbinen**

Schäden an Dampfturbinen sind zumeist keine Schicksalsschläge: die Faktoren, welche die »eingebaute« Lebensdauer der Hauptkomponenten aufzehren, sind bekannt. Sie sind mit den klassischen Berechnungsmethoden der Betriebsfestigkeit für alle kritischen Partien für einen schadenfreien Betrieb sachverständigseits prognostizierbar.

Der Umfang der zu überprüfenden hoch beanspruchten Turbinenkomponenten wird an einer durchgeführten Lebensdauer-Beurteilung beispielhaft verdeutlicht:

Zu beurteilen war »nach Aktenlage« eine hochoptimierte 9-stufige Gegendruck-Industrieturbine in Gleichdruck-Bauart (Scheibenläufer), Hersteller Escher Wyss (Sulzer/MAN Turbo), Type RGH 500, betrieben zur Grundlaststromerzeugung in einer Papierfabrik in Italien: Drehzahl 8 750 [min<sup>-1</sup>], maximale Wellenleistung 10 000 kW.

Ausgelegt für 515 °C und 97 bar Frischdampf bei einem Gegendruck von 4 bar für eine Lebensdauer von 100 000 [Bh], war die Turbine seit 1964 nur mit max. 495 °C bei max. 92 bar betrieben worden. Zum Zeitpunkt der Lebensdauerbeurteilung hatte diese bereits 293 000 [Bh] bei ca. 40 Kalt-, ca. 60 Warmstarts und ca. 75 Schnellschlussproben absolviert.

Aufgrund des bisherigen problemlosen Einsatzes wünschte der Betreiber einen Weiterbetrieb für, wenn möglich, 15 Jahre.

Daher waren die bereits vorhandenen bzw. die nach 15 Jahren zu erwartenden Problembereiche der hoch beanspruchten Turbinenkomponenten rechnerisch zu ermitteln. Unter Fortschreibung der bisherigen Fahrweise käme die Maschine dann auf eine Gesamtlebensdauer von ca. 420 000 [Bh]!

### **Faktoren der Lebensdauererschöpfung**

Die Restlebensdauer kritischer Bau-

teile wird in erster Linie bestimmt durch Materialerschöpfung unter mechanischer Beanspruchung (Fliehkraft, Innendruck u. a. m.).

Dies erfolgt zum einen volumetrisch durch Kriechen unter Last ab ca. 350 °C. Das kann anhand der werkstoffspezifischen Bildung von Kriechporen (»cavities«) bis hin zur Bildung von Zeitstandrisen überwacht werden.

Als Zweites tritt bei allen Einsatztemperaturen durch Dehnungswechsellerschöpfung sogenannte Ermüdung auf, die zu Anrissen an der Oberfläche führt.

Kriechen und Ermüdung stellen die maßgeblichen »planmäßigen« die Lebensdauer begrenzenden Einflüsse dar.

Daneben sind denkbare »unplanmäßige« Beschränkungen der Restlebensdauer durch Oberflächeneinflüsse, die nicht auf Bauteilkräfte zurückzuführen sind, auszuschließen. Diese sind beispielsweise Erosion oder Korrosion.

Ferner sind insbesondere bei sehr langen Laufzeiten und bei primär mit Molybdän legierten Stählen mögliche anomale Gefügeveränderungen durch Carbidzerfall (Graphitisierung) zu berücksichtigen. (Damit zusammenhängend und aufgrund der fehlenden langfristigen Werkstoffkennwerte ist gegenwärtig eine Lebensdauerprognose und deshalb auch ein Betrieb warmgehender Teile für > 500 000 [Bh] nicht zu vertreten.)

### **Hochbeanspruchte Komponenten:**

Im vorliegenden Fall waren die aus Erfahrung bzw. nach überschlägigen Vorberechnungen höchstbeanspruchten Partien der stehenden und drehenden Teile rechnerisch zu untersuchen.

#### **Stehende Teile:**

- Schnellschluss- und Regelventilgehäuse,
- interne Dampfleitungen,
- Turbinengehäuse,
- Leitschaufelträger,
- Dehnschrauben.

#### **Drehende Teile:**

- Turbinenrotor mit Übergängen,
- Entlastungsbohrungen und

- Radkränzen (Kranznuten),
- Schaufeln mit Schaufelfüßen,
- Deckbänder.

### **Berechnungsschritte**

Es existieren zwar keine Technischen Regeln für Restlebensdauer-Berechnungen von Turbinen, beispielsweise seitens VGB, und natürlich erst recht nicht in Gestalt etwaiger behördlicher Sicherheitsbestimmungen. Dies ist aufgrund der besonderen, zudem bauartspezifischen Komplexität nicht überraschend, obwohl Turbinen ein nicht zu unterschätzendes Gefahren- wie erhebliches Kosten- und Investitionsrisiko darstellen.

Allerdings hat sich zumindest im deutschsprachigen Raum unter Verwendung der bekannten Berechnungsansätze der Betriebsfestigkeit eine umfassende und bewährte Methodik herausgebildet. Diese liegt den Berechnungsalgorithmen der bekannten Turbinenhersteller zugrunde und wurde auch im vorliegenden Fall angewendet.

Dabei erfolgt nach Auswertung der Betriebsdaten die Berechnung des Lebensdauerungsverbrauchs jeder einzelnen möglicherweise kritischen Partie zunächst für die Kriecherschöpfung

$$E_t = \sum E_{t,i}$$

und für die Ermüdung

$$E_n = \sum E_{n,j}$$

separat.

Hierfür wird von der bisherigen Fahrweise und der künftigen Einsatzplanung, der konstruktiven Gestaltung mit den verwendeten Werkstoffen sowie den weiteren thermodynamisch anzusetzenden Gegebenheiten (beispielsweise dem Entspannungsverlauf entlang der Schaufelreihen) ausgegangen. Schlussendlich wird unter Anwendung der Schadensakkumulationsregel die rechnerische Gesamterschöpfung der zu untersuchenden hochbeanspruchten Partien zu

$$E = E_t + E_n$$

ermittelt.

Bei Erreichen von  $E = 1,0$  ist prinzipiell vom Ende der Lebensdauer der jeweiligen Komponente

auszugehen. Insbesondere bei Vorliegen von nennenswerten Membranspannungen wird üblicherweise zusätzlich ein Warnzeitpunkt  $E_{\text{warm}} = E = 0,5$  errechnet.

Diese Berechnungen enthalten in den jeweiligen Schritten notwendigerweise konservative Annahmen und Sicherheitsfaktoren. Daher können in Fällen kritischer Berechnungsergebnisse – soweit Inspektionsmöglichkeiten bestehen – anhand von Materialprüfungen und künftig mittels wiederkehrender Prüfungen noch zusätzliche Lebensdauer-Reserven ausgeschöpft werden.

### Ergebnisse

Ohne auf die Vielzahl der jeweils erforderlichen Berechnungsschritte einzugehen, sollen einige wesentliche Ergebnisse beispielhaft dargelegt werden. Diese spiegeln den zu erwartenden hohen Erschöpfungszustand der Maschine wider:

So ergab sich an der sog. Entlastungsbohrung der 1. Stufe des Rotors eine rechnerische Erschöpfung von

$$E = 3,01$$

(i. W. durch Kriechen). Die Radkränze der vorderen Stufen wiesen mit

$$E > 1,77$$

massive Erschöpfungen auf. Bei den Deckbändern wurde mit

$$E = 2,61$$

in der 6. Stufe das günstigste Ergebnis errechnet, was im übrigen entsprechende Rissbefunde bei einer früheren Revision als Verschleißerscheinung erklärt. Überraschenderweise wies die gesamte Beschauelung mit dem Maximalwert

$$E = 0,13$$

kaum Erschöpfung auf.

Für die turbineninternen Dampfleitungen betrug die Gesamterschöpfung teilweise

$$E = 1,62,$$

was sicherheitstechnisch besonders bedenklich war. Hier war der Warnzeitpunkt mit

$$E_{\text{warm}} = 0,5$$

bereits 1979 erreicht worden.

Zusammenfassend konnte ein Weiterbetrieb der Dampfturbine nicht empfohlen werden; für den

Fall einer Weiternutzung waren daher sachverständigseits – ergänzend zu den komponentenspezifischen Revisionshinweisen des Herstellers – umfangreiche Materialprüfungen bzw. Austauschmaßnahmen zu spezifizieren.

### Anmerkungen

Die verwendete Berechnungsmethodik kann nicht nur für die Ermittlung von Schadenursachen entscheidende Ergebnisse liefern. Sie dient auch dem Risk-Management zur nachvollziehbaren Beurteilung der Schadenträchtigkeit der Turbine, zur Identifizierung von Verschleißteilen und deren jeweilige Lebensdauer wie zur Spezifikation erforderlicher Instandhaltungsmaßnahmen. Umgekehrt stellt sie die maßgebliche Möglichkeit zur Nutzbarmachung von aufgrund der Betriebshistorie verbliebenen Lebensdauer-Reserven dar.

Analog finden diese rechnerischen Beurteilungsmethoden auch bei anderen hochbelasteten Komponenten und Systemen der Kraftwerkstechnik Anwendung, wie bei Frischdampfleitungen oder Dampferzeugern mit den unbeheizten, dickwandigen wie den beheizten Einbauten.

Nicht zuletzt wird auf diese Weise eine nachvollziehbare Zeitwert-Bestimmung und im Teilschadenfall die Angabe der erzielten Wertverbesserung möglich.

Dipl.-Chem. Dr. H.-D. Wirts

Tel.: 05 11 – 95 07 98-0

### **Sind Schnelltestverfahren zur Schimmelpilzbeurteilung sicher?**

Die Begutachtung von größeren Schimmelpilzbelastungen in Wohnungen oder gewerblichen Gebäuden ist grundsätzlich eine Aufgabe für einen mit Schimmelschäden vertrauten Sachverständigen, wobei ein interdisziplinäres Zusammenwirken von fachkundigem Innenraumsachverständigen und Bausachverständigen der raschen Ursachenfindung und Erarbeitung von Vorgaben zur Schadenbeseitigung dienlich ist.

Auf dem Markt werden z. Z. Schnelltestsysteme zur Ermittlung von Schimmelpilzbelastungen angeboten, die den Anwender gemäß Aussage der Hersteller in die Lage versetzen, eine Schimmelpilzbelastung selbst feststellen zu können. Diese Testsysteme arbeiten nach der Sedimentationsmethode, indem die in der Luft enthaltenen Sporen sich auf spezifischen Nährböden absetzen sollen. Nach mehrtägiger Bebrütung, teilweise nur bei Raumtemperatur, werden die gewachsenen Kolonien gezählt. Bei Einsendung des Testsatzes an den Vertreiber können in der Regel auch Aussagen über die Art der Schimmelpilze gemacht werden.

Das Umweltbundesamt weist in seinem aktuellen *Schimmelpilzleitfaden* unter Punkt C-1.2.3, eindeutig darauf hin, dass die Ermittlung kultivierbarer Schimmelpilzsporen durch Sedimentation keine quantitativen und keine reproduzierbaren Ergebnisse liefert. Die Sedimentationsmethode kann damit nicht empfohlen werden.

Begründung: Die Platten mit den Nährmedien können nur kurze Zeit (max. 30 min.) offen ausgelegt werden, da sie sonst austrocknen. In dieser Zeit wird aus dem Bioaerosol der Luft in Abhängigkeit von der Sporengroße und deren Aggregatzustand nur ein Bruchteil der vorhandenen Schimmelpilzsporen sedimentieren. Viele Schimmelpilze bilden sehr kleine Sporen (z. B. Aspergillusarten 2-3 µm), die sehr lange in der Luft schweben und sich nur wenig absetzen, so dass sie mit dem Sedimentationsverfahren gar nicht erfasst werden.

Die Ermittlung einer Sporenbelastung kann nur sicher über Luftmessungen ermittelt werden, wobei zur Bewertung grundsätzlich gleichzeitig die Außenluftbelastung als Bezug benötigt wird.

Die angebotenen Schnellverfahren nach dem Sedimentationsverfahren sind daher zur Ermittlung und Beurteilung einer Sporenbelastung in der Raumluft oder gar eines Schimmelschadens insgesamt ungeeignet!