

## Editorial

Kürzlich stieß ich auf einen bedenkenswerten Ansatz in der Diskussion über Industrie 4.0 und das selbstfahrende Fahrzeug. Dort wurde thematisiert, welche Fragen sich für einen softwaregestützten Entscheidungsprozess in einer beispielhaften Verkehrssituation ergeben, die durchaus nicht als außergewöhnlich zu betrachten ist.

Das Fahrzeug ist innerorts unterwegs auf der rechten Spur einer zweispurigen Straße. Rechts daneben ein Parkstreifen, unterbrochen durch Zufahrten und Bäume. Die Parkbuchten sind durchgehend belegt. Hinter dem Parkstreifen ein Gehweg. Auf beiden Fahrspuren fahren Fahrzeuge in vergleichbarer dichtem Abstand mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h. Plötzlich springt zwischen den parkenden Fahrzeugen ein Kind auf die Fahrbahn.

Auch bei einer unverzüglichen Vollbremsung (nach Faustformel, geschätzter Bremsweg 11-14 m) würde das Fahrzeug nicht vor dem Kind zum Stehen kommen.

Kurz vor der Stelle, an der das Kind auf die Straße springt, liegt rechts eine Zufahrt, jeweils von Bäumen begrenzt, über die es theoretisch möglich wäre auszuweichen, in Richtung Gehweg. Auf dem Gehweg bewegt sich allerdings eine alte Frau mit ihrem Rollator.

Theoretisch wären 3 Reaktionsmöglichkeiten denkbar, sofern ein Überfahren des Kindes ausgeschlossen wird. Das Fahrzeug wird gegen den Baum gelenkt, der Fahrer kann hierbei körperlich Schaden nehmen, wie auch das Fahrzeug. Das Fahrzeug könnte in die Einfahrt gelenkt werden, mit folgender Vollbremsung. Die Rentnerin auf dem Gehweg könnte allerdings dabei verletzt werden. Nicht auszuschließen wäre, das Fahrzeug nach links zu ziehen, mithin dort fahrende Fahrzeuge abzudrängen, dabei wäre eine Kollision mögliche Folge.

Die Programmierung der Software des selbstfahrenden Fahrzeugs müsste, unter Abwägung vorgegebener Parameter, eine Reaktion auslösen, zwischen geringstem Personen-/wie ggfs. auch Sachschaden. Eine Priorisierung wäre programmiertechnisch festzulegen, mithin eine Festlegung von Wertigkeit, welcher der beteiligten Personen eine größere oder kleinere Verletzung der körperlichen Integrität zuzuweisen ist.

Die Übergabe der Entscheidung an den »Fahrer« dürfte in der Ereignissituation kaum tragfähig sein. Sie würde die uneingeschränkte Konzentration voraussetzen, die Reaktionszeit wäre mit hoher Wahrscheinlichkeit verlängert.

Neben technischen Fragen der Programmierung stellen sich auch ethische-/moralische an die Gesellschaft, insbesondere auch an Juristen, Sachverständige, Versicherer.

*Die Redaktionsleitung*

## Inhalt

### ① Aus den Fachgruppen

### ② Aufsätze

#### ■ Risikobeurteilung von Groß-Dampferzeugern

Dr. Volker Detampel

#### ■ Beurteilung und Charakterisierung einer Betonoberfläche nach einem Säureschaden durch $H_2SO_4$

Dr. rer.nat. Jürgen Göske

#### ■ Wasser

Dipl.-Ing. Dipl.Wirtsch.-Ing. Dipl. Kfm.  
Uwe Borg

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

## Termine

- Jahreshauptversammlung 2016, vom 15.09.2016 bis 17.09.2016, Saarbrücken
- Jahresarbeitstagung 2017, vom 16.03.2017 bis 18.03.2017, Hannover

### IMPRESSUM

Herausgeber:  
Bund Technischer Experten e.V.  
Postfach 34 01 02, 45073 Essen  
eMail: [geschaeftsstelle@expertebte.de](mailto:geschaeftsstelle@expertebte.de)  
Internet: [www.expertebte.de](http://www.expertebte.de)

Redaktion:  
Jürgen Kupfrian  
Lösenbacher Landstraße 57, 58515 Lüdenscheid  
Tel.: 023 51 / 796 35  
Fax: 023 51 / 78 61 49  
E-Mail: [sv\\_buero@kupfrian.de](mailto:sv_buero@kupfrian.de)

## ❶ Aus den Fachgruppen

### FG Bauwesen

Dipl.-Ing. Björn Corneliussen

#### ✗ Quo vadis – Trocknung von Baukonstruktionen

*Problemstellungen während Trocknungsmaßnahmen, insbesondere auch im Hinblick auf Schimmelpilz- und Bakterienkontaminationen.*

Weitergehende Informationen über

Büro: Sachverständigenbüro  
Corneliussen

Tel.: 02 30 9 / 95 40 40

E-Mail: info@svbc.de

### FG Maschinenwesen

Dr. Ing. Colin Sailer (Gast)

#### ✗ Maschinenschaden an einer Bogenstanze unter AMB

*Auf Grund eines Kerbschlagbruchs an zwei Befestigungsschrauben löst sich ein Bogenanschlag, der in die Maschine gerät und weitere Schäden hervorruft. Die Kosten für die provisorische und endgültige Reparatur werden detailliert dargestellt und anhand der Versicherungsbedingungen »AMB« und »Medienpolice« analysiert. Die Einflussfaktoren und Bewertungsschritte für die erforderlichen Zeitwertbetrachtungen werden eingehend erläutert*

Weitergehende Informationen über

Büro: Dr. Ing. Colin Sailer

Tel.: 08 9 / 69 38 85 94

E-Mail: colin.sailer@web.de

Dipl.-Ing. Stefan Dillßner,

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Max Urban

(Gast)

#### ✗ Gegenüberstellung AFB-/Elektronikversicherung

*Anhand von Erläuterungen und Tabellen stellen die Referenten die Unterschiede der beiden Versicherungsbedingungen gegenüber. Dazu zählen die versicherten Sachen, die versicherten Gefahren, die Kosten und auch die verschiedenen Versicherungswerte.*

Weitergehende Informationen über

Büro: Götzelmann & Dillßner GbR

Tel.: 03 0 / 79 78 05 33

E-Mail: dillssner@sv-gd.de

Büro: Dipl.-Ing. Reinhold R. Urban

Tel.: 08 9 / 85 72 40 5

E-Mail: info@sv-urban.de

## ❷ Aufsätze

Dr. Volker Detampel

Tel.: 0 62 32 / 53 96 10

E-Mail: info@detampel.com

### Risikobeurteilung von Groß-Dampferzeugern

#### 1. Einleitung

**Groß-Dampferzeuger** (»Dampfkessel«) bilden die Hauptkomponente in der Prozeßdampferzeugung, und mit der Dampfturbine zusammen auch in der Stromerzeugung. Dabei macht der Dampferzeuger den markantesten Teil in der Silhouette eines Dampfkraftwerks aus, s. Bild 1 (Quelle ABB).

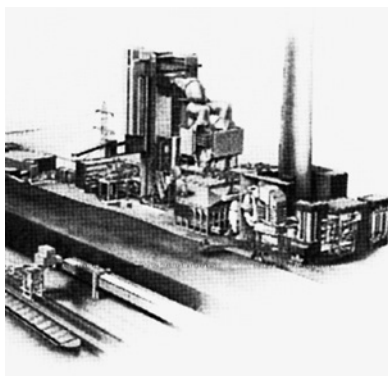


Bild 1: Dampfkraftwerk 750 MWe

Sie sind ab einer gewissen Größe stets als **Wasserrohr-Dampferzeuger** ausgeführt, s. Bild 2 (Quelle EVT).

Entgegen der allgemein üblichen Redensart vom »Dampfkessel« wird der

Dampf also nicht in einem Kessel erzeugt, sondern in den Rohrsystemen des Verdampfers. Wobei typische Auslegungs-Dampfdrücke oberhalb etwa 100 bar liegen und typische Auslegungs-Frischdampftemperaturen etwa 500 bis 540 °C betragen. (Hier soll von der völlig abweichenden Bauart der kleineren **Großwasserraum-Dampferzeuger** abgesehen werden, welche tatsächlich das Wesen eines *Dampfkessels* besitzen.)

Für solche betriebsbeanspruchten großen Dampferzeuger bekannter (vgl. Bild 3) wie weniger bekannter Hersteller kann es bei Maschinenversicherern zur Frage kommen, ob dort (weiterhin) versicherbare Risiken vorliegen oder ob die Risiken durch punktuelle Maßnahmen in einem überschaubaren Rahmen gehalten werden können.

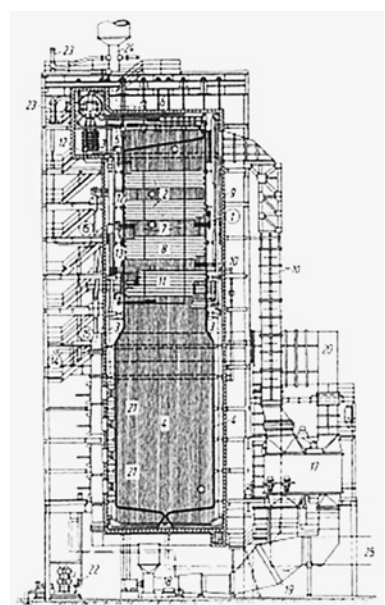


Bild 2: Dampferzeuger, Öl-Gas-Feuerung (Schnitt)



Bild 3: Dampfzeuger, schwerölgefeuert (Detail)

Umgekehrt kann sich die Frage stellen, ob und in welchen Teilbereichen eine solche komplexe Anlage alterungsbedingt zwangsläufig auf große oder gar finale Schadenereignisse zusteuert.

Entsprechender Informationsbedarf besteht beispielsweise vor einer Deckungsverlängerung, in der Anbahnungsphase oder nach Schadenfällen, aber auch bei einer stark veränderten Betriebsweise einer solchen Anlage.

Obwohl Dampfzeuger zu den »überwachungsbedürftigen Anlagen« nach der *Betriebssicherheitsverordnung* (BetrSichV) zählen, müssen potentielle Groß-Schäden nicht unbedingt sicherheitsrelevant sein. Solche Risiken stehen deshalb nicht im Fokus der gesetzlich vorgeschriebenen Überprüfungen der Anlagenüberwachung. Das ist der Grund, warum im Hinblick auf eine Beurteilung des Ausfallrisikos eines Dampfzeugers die vergleichsweise begrenzten Prüfmaßnahmen der jeweils mit der Überwachung betrauten *Zugelassenen Überwachungsstelle (ZÜS)*, wie etwa *Dekra, GTÜ Anlagensicherheit* oder einem *TÜV*, nur eingeschränkt aussagekräftig sind.

Hier können gezielte sachverständige Untersuchungen ansetzen, deren mögliche Bandbreite nachfolgend skizziert wird.

## 2. Faktoren der Lebensdauererschöpfung

Bei Dampfzeugern muß grundsätzlich zwischen den sogenannten »*unbeheizten*«, allerdings bis in der Größenordnung 540 °C warmen, meist dickwandigen Komponenten und den dünnwandigen »*beheizten*«, d.h. Rauchgas-, Flammen- oder Strahlungs-berührten Komponenten unterschieden werden.

Während Erstere (Wandstärken ab etwa 10 mm) mit Blick auf die Anlagensicherheit am kritischsten sind, finden Letztere, obwohl am höchsten betriebsbeansprucht, nur wenig Beachtung im sicherheitstechnischen Regelwerk für die wiederkehrenden Prüfungen der Anlagen. Denn die beheizten Komponenten (Wandstärken in der Größenordnung von 5 mm) sind für die mit der Verfügbarkeit und der Instandhaltung zusammenhängenden Risiken eines Dampfzeugers zentral.

### Ursachen der Lebensdauer-Aufzehrung

Bei den *unbeheizten* Komponenten stehen zum einen die **Zeitstand-Erschöpfung** durch Kriechen

des Werkstoffs unter statischer mechanischer Beanspruchung im Vordergrund (i.w. durch Innendruck, ab Temperaturen von mehr als etwa 350 °C). Solche Schädigungen sind nicht etwa auf die Oberfläche begrenzt, sondern erfassen die gesamte Wandung eines betroffenen Bauteils.

Das kann anhand der werkstoffspezifischen Bildung von Kriechporen (»cavities«) bis hin zur Bildung von Zeitstandrissen durch zerstörungsfreie Gefügeuntersuchungen an der Bauteiloberfläche nachgewiesen werden, s. [Bild 4](#).

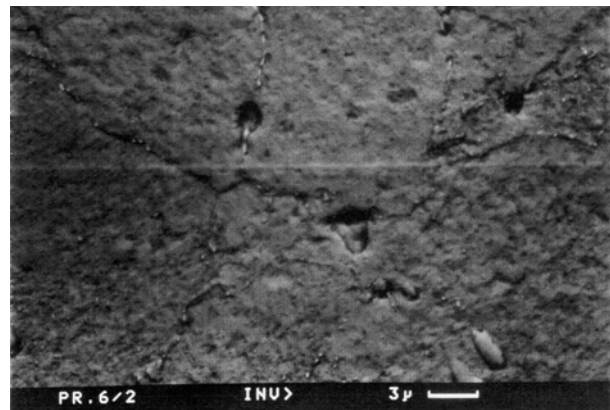


Bild 4: Zeitstand-Erschöpfung: Kriechporen

Zum anderen kommt bei den *unbeheizten* Komponenten die **Lastwechsel-Erschöpfung** (»Ermüdung«) aufgrund von wechselnden mechanischen Beanspruchungen hinzu. Grund hierfür sind i.w. Innendruckänderungen sowie Wärmespannungen infolge von Temperaturänderungen. Beides ist bedingt durch An- und Abfahrvorgänge sowie durch Laständerungen.

Im Gegensatz zur Zeitstand-Erschöpfung bleibt die Lastwechsel-Erschöpfung auf die Bauteiloberfläche begrenzt. In deren Folge kommt es dort zu Anrissen. Bevor es hierzu und damit zur Einleitung von möglicherweise beschleunigten Versagensvorgängen kommt, ist eine solche Erschöpfung allerdings nicht zerstörungsfrei metallografisch nachzuweisen, sondern nur über die Auswertung der Betriebsweise zu prognostizieren.

Die erwähnte **Zeitstand-** bzw. **Lastwechsel-Erschöpfung** bilden die zu beurteilenden maßgeblichen Erschöpfungsarten dieser *unbeheizten* Komponenten wie Verdampfertrommel, Sammler, Rohrverbindungen, Formstücke, Einspritzkühler, Armaturen. Diese sind einer – in Techn. Regelwerken beschriebenen – rechnerischen Ermittlung zugänglich, s.u..

Sie wirken in Überlagerung und beschreiben die Lebensdauer-begrenzenden Einflüsse die auf dickwandigen Komponenten eines Dampfzeugers. Diese werkstoffliche **Gesamterschöpfung** wird üblicherweise aus den beiden Teilerschöpfungen durch Addition gewonnen, s.u..

Im Gegensatz dazu stehen bei den *beheizten* Komponenten **Oberflächenschädigungen** durch rauchgasseitige Korrosion und Erosion als charakteristische Schädigungsform im Vordergrund. (Bekannt ist beispielsweise die Hochtemperatur-Korrosion an den Überhitzern.)



Und sofern diese dünnwandigen Komponenten Temperaturen von mehr als etwa 350 °C ausgesetzt sind, ist zusätzlich die **Zeitstand-Erschöpfung** durch Kriechen des Werkstoffs unter statischer mechanischer Beanspruchung zu berücksichtigen, während **Lastwechsel-Erschöpfung** hier kaum eine Rolle spielt, s.o..

**3. Untersuchungen vor Ort**

Untersuchungen vor Ort sind bei Dampferzeugern unumgänglich, insbesondere aufgrund der erwähnten »unplanmäßigen« Einflüsse auf den Anlagenzustand durch Korrosion und Erosion. Das bedingt trotz des anzustrebenden stichprobenweisen Charakters einen gewissen vorzuplanenden Untersuchungsaufwand an der Anlage, s. Bild 5.

**Materialprüfungen**

Bei den überwiegend zerstörungsfrei durchgeführten Materialprüfungen (ZfP) kommen i.w. Oberflächenriss-, Ultraschall- und Härteprüfungen zum Einsatz.

Dabei sind natürlich auch die Ist-Wandstärken für rechnerische Ermittlungen der Lebensdauer-Aufzehrungen zu erfassen. Denn die üblichen Plus-Toleranzen der Wandungen lassen teils erhebliche Lebensdauerreserven erwarten.

**4. Berechnungen**

**Berechnungen nach Regelwerk**

Das Schadenrisiko eines Dampferzeugers wird in werkstofftechnischer Hinsicht wie erwähnt durch die **Zeitstanderschöpfung** und zusätzlich durch die Erschöpfung aufgrund von **Wechselbeanspruchungen** charakterisiert.

3.1 Begleitende Prüfungen - PRÜFPLAN (Anlage 1, K6)

Nr.	Prüfung	Bezeichnung	Lage der Maßstelle	Zeichnung-Nr.	Material	Abmessungen	Prüf. Wf.	Prüfungstiefe	Prüfungstiefe	Bemerkungen	Besonderheiten
11	77	Tragrohre (einzelne Bündel)	Rohrlage (Ende Feuer-raum)		13011694	348x3,6	WS	50	62x	im geraden Teil, Umlenkungen, Bögenbereiche prüfen	
12		Tragrohrflansen	von allen Bündel ber-zhflächen				SP	100		Materialübertragungen der Tragfl-Röhre im Bereich der Tragflansen durch scheuern?; Tragflansen ab-prüfen	
							HP	10		Schweißnahtbereiche	
14	112	Rohrkümmen 90°, r=510	Frischdampfentnahme nach FD-Sammeln		10211694	219,1x28	MP	100	1x	Schweißnähte, Krümmen	
							WS	100		Stellung 3/3	
							OM	100		evtl. Aufweitung	
							OG	1x			
15	108	Frischdampfaustritts-sammeln	Kessel-Verdampfer, ca. +12m		10211694	250,5x40x5050	MP/HP	2, nach 100	1x	Schweißnähte	
							MP/HP/AS	2, nach 100		Stutzen	
							HP	1x		Einziehung	
							OG	1x			
							OM				

Bild 5: Prüfplanung, Auszug

Den Abschluss der nachgenannten Maßnahmen bildet zumeist eine Wasserdruckprobe.

**Visuelle Inspektionen**

Diese erfolgen für die kritischsten Partien des Dampferzeugers.

Bei den **beheizten Teilen** stehen die Überhitzer- und die Economizer-Bündel mit ihren Tragrohrsystemen sowie die Verdampferwände im Mittelpunkt des Interesses.

Bei den **unbeheizten** (dickwandigen) außerhalb der Rauchgasführung liegenden Dampferzeugerkomponenten sind es wie erwähnt die Verdampfer-Trommel (Bild 6) sowie die Sammler, Armaturen-Gehäuse usw..



Bild 6: Innenprüfung Verdampfertrommel

Diese lassen sich für hochbeanspruchte Komponenten am besten mit den vereinfachenden Berechnungsprozeduren der maßgeblichen Regelwerke bestimmen.

Wobei die Risikobeurteilung mittels einer Ermittlung der Lebensdauerreserven erfolgt. Hierfür erscheint die Anwendung der seit Jahrzehnten bewährten Dampferzeuger-Richtlinien TRD 508, Anlage 1 in Verbindung mit TRD 301, Anlage 1 »als Erkenntnisquelle« weiterhin als optimal und ist damit am weitesten verbreitet. Dagegen wird die aktuellere DIN EN 12 952, Teil 4 gemäß Druckgeräterichtlinie (DGRL) weniger häufig für die Berechnung angewendet.

Und zwar wird für potentiell kritische Komponenten zunächst die Kriecherschöpfung  $E_t$  nach Auswertung der Betriebsdaten und den Ergebnissen der Untersuchungen vor Ort der Lebensdauerverbrauch errechnet. Zusätzlich ist separat die Ermüdung  $E_n$  zu errechnen. Wobei die Teilschädigungen nach Auswertungsklassen für alle erschöpfungsrelevanten Kriech- und Lastwechselbeanspruchungen aufaddiert werden, s. Bild 7.

$$E_t = \sum E_{t,k}, \quad E_n = \sum E_{n,i}$$

$$E = E_t + E_n$$

Bild 7: Berechnungsschema Teil-/Gesamterschöpfung

Schlussendlich wird unter Anwendung der linearen Schadensakkumulationsregel die rechnerische **Gesamterschöpfung**  $E$  der zu untersuchenden hochbeanspruchten Partien ermittelt.

Bei Erreichen von  $E = 1,0$  ist prinzipiell vom Ende der Lebensdauer der jeweiligen Komponente auszugehen. Zusätzlich wird oft bei Vorliegen von nennenswerten Membranspannungen ein **Warnzeitpunkt** errechnet, beispielsweise  $E_{\text{warn}} = 0,75$ .

Es ist Stand der Technik, dass parallel und zusätzlich zur Berechnung an kritischen Partien zum Abgleich vereinzelte zerstörungsfreie Gefügeabdrücke auf **Cavities** (vgl. Bild 4) entnommen werden. Diese werden mittels Gefüge-Richtreihen wie der TW 507 (VGB) einer halbquantitativen Beurteilung der Lebensdauerreserven unterzogen.

(Übrigens sind die hier skizzierten Berechnungen zur Risikobeurteilung zwar dampferzeugerspezifisch, aber grundsätzlich verwandt mit analog benötigten Risikobeurteilungen für *Dampfturbinen*, wie bereits in den *BTE-Nachrichten* von 2/2005 vom Verfasser berichtet worden war.)

### Berechnungen Sonderprobleme

In vereinzelt Fällen kann sich ergeben, dass die Integrität von zutage getretenen kritischen Komponenten mittels den Regelwerkmethoden nicht aussagekräftig rechnerisch beurteilt werden kann. Dann bietet sich die Möglichkeit an, strukturmechanische FEM-Analysen (Bild 8) vorzunehmen und die Berechnungsergebnisse schlussendlich gutachterlich nach den Methoden der Betriebsfestigkeit zu interpretieren.

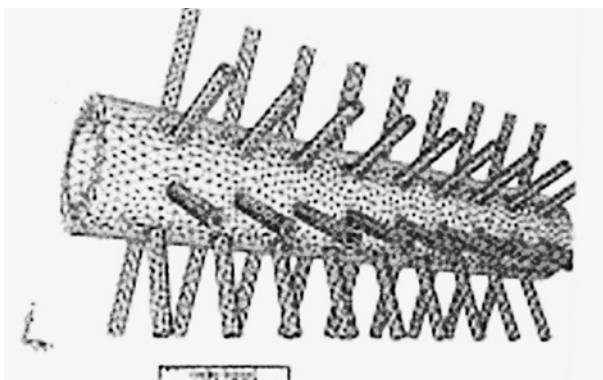


Bild 8: FEM-Modellierung Sammler

Das ist beispielsweise der Fall, wenn entdeckte Verbiegungen an Sammlern oder andere festgestellte Unregelmäßigkeiten von Komponenten im Hinblick auf deren Tolerierbarkeit beurteilt werden müssen. Dann müssen ggf. Biegebeanspruchungen und lokale Spannungsspitzen berechnet werden.

### 5. Ergebnisse

Beispielhaft zeigt **Bild 9** für einen untersuchten Dampferzeuger mit Frischdampf-Parametern von 480 - 500 °C und 98 bar die zusammengefassten Ergebnisse der Untersuchungen für die (*dünnwandigen*) **Überhitzer-Rohrbündel** aus dem Werkstoff 10 CrMo 9 10.

### Überhitzerbefunde

#### Überhitzer II

- Gefügeschädigung!
- Lebensdauerverbrauch (rechnerisch) gering
- Oberflächenzustand i.O.

#### Überhitzer III

- tiefe Korrosionsnarben!
- Lebensdauerverbrauch (rechnerisch) hoch
- Gefügeschädigung!

#### Überhitzer I

- tiefe Korrosionsnarben!
- Lebensdauerverbrauch (rechnerisch) minimal
- Gefügeschädigung!

Bild 9: Befundübersicht nach Anordnung der Überhitzer

Dagegen erfolgt für untersuchte *dickwandige* Komponenten eine Aufschlüsselung der jeweiligen rechnerisch ermittelten Lebensdauerreserven in quantitativ detaillierter Form.

### 6. Fazit

Nach einer solchen Risikobeurteilung eines Dampferzeugers darf unterstellt werden, dass etwaige Schadenrisiken mit hoher Wahrscheinlichkeit zutage getreten sind.

Andernfalls kann für einen derart überprüften Dampferzeuger davon ausgegangen werden, dass dieser für 10 bis 15 weitere Betriebsjahre keine absehbaren erheblichen Probleme birgt. Es sind dann also keine technischen Deckungsvorbehalte zu erkennen. Ergänzend können ggf. Ausschlussbereiche der Anlage bzw. primär erforderliche Instandhaltungsmaßnahmen aufgezeigt werden

Dr. rer.nat. Jürgen Göske

Tel.: 0 91 53 / 97 99 95

E-Mail: juergen.goeske@gmx.de

### Beurteilung und Charakterisierung einer Betonoberfläche nach einem Säureschaden durch $H_2SO_4$ .

#### Schadenshergang:

In einer Klärschlamm-trocknungsanlage kam es zu einem Säureschaden in der Form, dass Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) unbeabsichtigt und unbeobachtet ausgelaufen war und längere Zeit mit der Oberfläche des Betonfußbodens in Berührung kam.

#### Forderung des Kunden:

Folgende Fragen sollten bzw. mussten für den Kunden durch die wissenschaftlichen Analysen und Untersuchungen geklärt werden:

Wurde die Zementsteinmatrix des Fußbodens und der Schnitffugen durch den Säureangriff nachhaltig beschädigt?

Kam es durch den Säureangriff zu einer schädigenden Gips- und / oder Ettringitbildung?

#### Verwendete analytische Methoden:

Röntgendiffraktometrie und Rasterelektronenmikroskopie

Für die nachfolgende Analytik wurden folgende Geräte eingesetzt:

Rasterelektronenmikroskop LEO 1525 der Firma ZEISS SMT und ein Röntgendiffraktometer MPD X'Pert Pro der Firma PANalytical.

#### Probenmaterial

Es konnten zwei Bohrkern – zum einen ein Bohrkern der aus einem Bereich mit der höchsten Säurebelastung stammt und zum anderen ein Bohrkern aus einem unbelasteten Bereich (Referenzprobe) – erhalten werden.



Abb. 1: Bohrkern aus einem Bereich mit der höchsten Säurebelastung in der Draufsicht

Die per Post erhaltenen, fachgerecht verpackten Bohrkern wurden erst unmittelbar vor den Analysen ausgepackt, um eine Kontamination mit Fremdmaterial zu vermeiden.

Die eingegangenen Proben wurden fotografisch (digital) dokumentiert.

Nachfolgende Abbildung 1 zeigt als Beispiel einen Bohrkern aus einem Bereich mit der höchsten Säurebelastung, in der Draufsicht.

Es sind bereits makroskopisch sekundäre Verkrustungen bzw. Mineralisationen makroskopisch zu erkennen.

#### Ergebnisse aus den wissenschaftlichen Untersuchungen:

Mittels Röntgendiffraktometrie konnten in einer repräsentativen Probenmenge der Oberfläche des Bohrkerns aus dem unbelasteten Bereich (= Referenzprobe) die zement- und betontypischen kristallinen Phasen Calcit, Quarz und Mischkristalle aus dem System Ettringit-Thaumasit sowie zementäre Phasen identifiziert werden.

Hingegen konnten in einer repräsentativen Probenmenge der Oberfläche des Bohrkerns aus dem am stärksten mit Schwefelsäure belasteten Bereich nur

noch die kristallinen Mineralphasen Gips und Quarz diffraktometrisch nachgewiesen werden. Gips wurde hierbei sekundär durch chemische Reaktion mit der Schwefelsäure gebildet.

Nachfolgende Abbildung 2 zeigt das Röntgen-Diffraktogramm mit Phasenzuordnung von der Oberfläche des Bohrkerns.

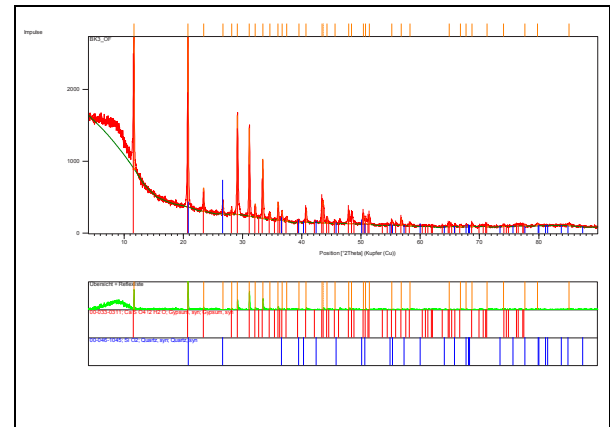


Abb. 2: Röntgendiffraktogramm mit Phasenzuordnung von der Oberfläche des Bohrkerns mit der höchsten Säurebelastung

Mittels Rasterelektronenmikroskopie konnten in einer repräsentativen Probenmenge einer intakten Bindemittelmatrix (=Referenzprobe) neben Quarz und Calcit (Gesteinskörnungen) auch Portlandit und zementäre gebildete Mineralphasen (CSH-Phasen, Ettringit-Thaumasit, mit Pfeil markiert) elektronenoptisch identifiziert werden. Charakteristische, mineralische Treiberscheinungen konnten nicht nachgewiesen werden (Abbildung 3).

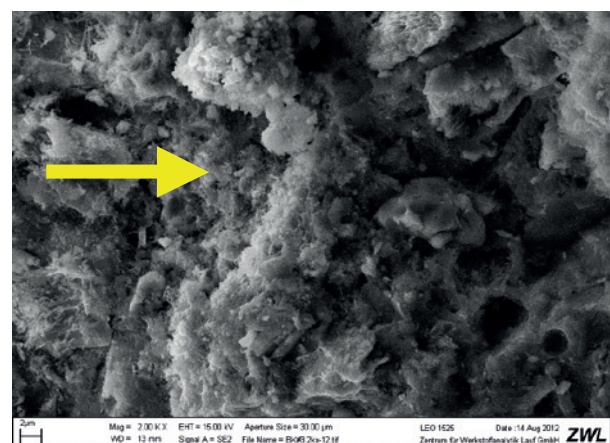


Abb. 3: Matrix eines Bohrkerns aus einem unbelasteten Bereich

Hingegen konnten in einer repräsentativen Probenmenge der Oberfläche des Bohrkerns aus dem am stärksten mit Schwefelsäure belasteten Bereich eine desolante, teilweise zerstörte und angelöste Bindemittelmatrix mit ausschließlichen Mineralisationen von Quarz (Gesteinskörnung) und sekundär gebildeten Gips (Umsetzungsprodukt) elektronenoptisch nachgewiesen werden (Abbildung 4). Charakteristische, mine-



ralische Treiberscheinungen konnten in Teilbereichen nachgewiesen werden (mit Pfeil markiert).

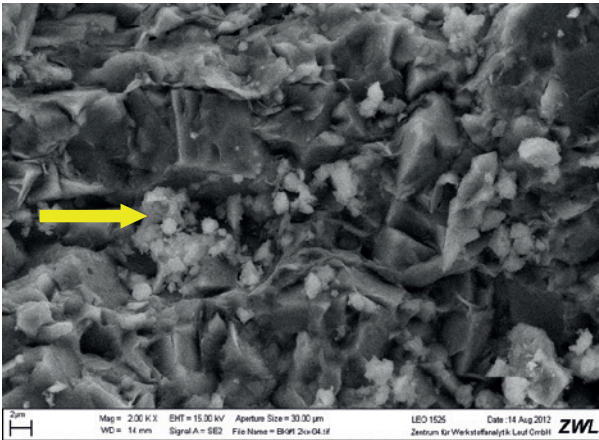
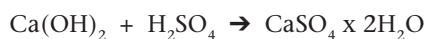


Abb. 4: Matrix eines Bohrkerns aus einem Bereich mit der höchsten Säurebelastung

#### Allgemeine Bemerkungen zu Säureschäden durch $H_2SO_4$ an Beton

Reaktive Schwefelsäure setzt u.a. die in der Zement- bzw. Betonmatrix – prozessbedingt – enthaltene mineralische Phase Portlandit,  $Ca(OH)_2$  nach folgender chemischen Reaktion um:



Diese sekundäre Kristallisation von Gips ist mit einer starken Volumenvergrößerung (Treiberscheinung) verbunden, die ohne weiteres Spannungen im Werkstück erzeugen kann und schließlich eine chemisch-physikalische Zerstörung des Werkstücks bewirkt.

Weiterhin können durch die Schwefelsäure Calcium-Ionen, die in der Bindemittelmatrix an hydraulische Phasen – wie CSH-Phasen (Calcium-Silikat-Hydrat-Phasen) – gebunden sind, herausgelöst werden (hier erfolgt ebenfalls eine chemische Reaktion zu Gips), die Folge ist ein »Weichwerden« der Bindemittelmatrix, die bis zur völligen Zerstörung der Matrix führen kann.

#### FAZIT aus den analytischen Untersuchungen

An den mit Schwefelsäure kontaminierten Oberflächen der Bohrkerns konnte eine defizitäre, angelöste und zum Teil aufgelöste Bindemittelmatrix bis ca. 0,3 mm bis 0,8 mm unter der jeweiligen Oberfläche nachgewiesen werden.

Die durch den Säureangriff resultierenden Gipskristallisationen bewirkten bereits eine massive Treiberscheinung.

Bei etwa 1 cm unterhalb der mit Schwefelsäure kontaminierten Oberflächen der Bohrkerns konnte stets eine intakte Bindemittelmatrix ohne Treiberscheinung identifiziert werden.

**Sowohl die Bereiche des Betons, die durchschnittlich mit Schwefelsäure von der Oberfläche her kontaminiert worden sind, als auch die Bereiche, die am stärksten belastet worden sind, zeigen eine**

**desolante Bindemittelmatrix bis maximal 1 cm unter der jeweiligen Oberfläche und müssen entfernt bzw. ausgetauscht werden.**

#### Literatur und Referenzen:

- BLAICH, J.: Bauschäden, Analyse und Vermeidung, EMPA, 1999.
- GÖSKE, J., PÖLLMANN, H., WENDA, R. (2007): Etringit- und Thaumasitreiben in Betonwerkstoffen – 8. Beton- und Stahlbetonbau, Heft 5 2007, S. 321 – 329.
- KARSTEN R.: Bauchemie – Ursachen, Verhütung und Sanierung von Bauschäden, 2003.
- PAVIĆEVIĆ M.P. & AMTHAUER G.: Physikalisch-chemische Untersuchungsmethoden in den Geowissenschaften, Band 1. und 2., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2000.
- SCHMIDT P.F.: Praxis der Rasterelektronenmikroskopie und Mikrobereichsanalyse, Expert Verlag, 1994.

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dipl.-Kfm. Uwe Borg

Tel.: 06 80 5 / 14 85

E-Mail: uweborg@uweborg.de

#### Trinkwasser

Wasser ist ein knappes Gut: Zwar bestehen 71 Prozent der Erdoberfläche aus Wasser, doch lediglich etwa 0,5 Prozent davon sind tatsächlich verfügbares Trinkwasser. Es ist ganz ungleich verteilt. Vor allem Menschen in ärmeren Regionen der Welt haben vielfach keinen Zugang zu hygienisch einwandfreiem Trinkwasser.



Etwa 780 Millionen Menschen weltweit haben keinen Zugang zu sicherem Trinkwasser

Im Fall von Naturkatastrophen ist die Versorgung mit Trinkwasser besonders kritisch. Nicht selten sind Wasserversorgungssysteme und sanitäre Einrichtungen beschädigt oder zerstört. Um das Überleben der betroffenen Menschen zu sichern, ist dann schnelles Handeln gefragt.

Die in Dresden ansässige Hilfsorganisation arche noVa – Initiative für Menschen in Not e.V. hat sich auf Projekte für Wasser- und Sanitärversorgung, sowie Hygieneaufklärung (WASH) spezialisiert.

Damit in Katastrophengebieten schnell wieder Wasser zur Verfügung steht, können die Mitarbeiter von arche

noVa neben anderen Hilfsgütern binnen kürzester Zeit mobile Trinkwasseraufbereitungsanlagen bereitstellen. Dazu stehen Mikrofiltrationsanlagen vom Typ »Skyhydrant« zur Verfügung. Mit ca. zehn Kilogramm Gewicht und einer Länge von unter 150 Zentimetern sind sie im persönlichen Fluggepäck und auf Motorrädern oder Lastentieren zu transportieren. Die Filter funktionieren ohne Stromzufuhr durch Schwerkraft

Sollte das Wasser stärker verschmutzt sein oder eine Umwandlung von Salzwasser in Trinkwasser notwendig werden, kann das Einsatzteam Umkehrosmose-Anlagen einsetzen.

Allerdings sind der Betrieb und die Wartung dieser Aufbereitungsanlagen sehr kostenintensiv, da geschultes Personal notwendig ist.



Die Selbsthilfegruppe Athiani bei den Arbeiten an einem Sanddamm.

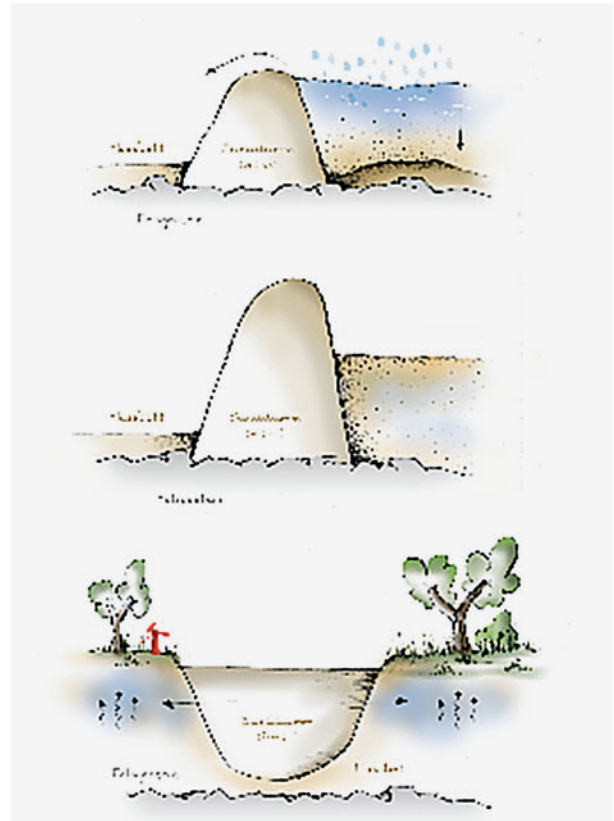
In den langfristig angelegten Projekten der Wasserversorgung von arche noVa setzen die Wasserexperten auf Einfachtechnologien. Ein Beispiel dafür ist der Bau so genannter Sanddämme in Zentral-Kenia. Das Klima in dieser Region ist die meiste Zeit des Jahres heiß und trocken – unterbrochen von nur zwei kurzen, aber heftigen Regenzeiten in denen die Flüsse überlaufen. Schnell sind sie wieder ausgetrocknet. Nur die Speicherung des Regenwassers bringt ganzjährige Wasserversorgung. Dies lässt sich hervorragend mit einem Sanddamm lösen. Im Laufe von zwei bis vier Regenzeiten bildet sich vor den Dämmen flussaufwärts eine flache Sandebene, die das Regenwasser speichert und verhindert, dass es verdunstet. Die Menschen können viele Monate auf diesen Vorrat zurückgreifen. Der Sand filtert das Wasser und verbessert so seine Qualität.

arche noVa arbeitet in Kenia mit einer lokalen Hilfsorganisation zusammen, die die Projektregion und die Bedürfnisse der Menschen vor Ort gut kennt.

Sie gründet Selbsthilfegruppen in Projektgemeinden. Gemeinsam werden geeignete Standorte in ausgetrockneten Flussbetten gesucht und die Geometrie der Dämme exakt berechnet, um ein Um- bzw. Unterspülen der zwischen 10 und 60 Meter langen Dammmauern zu verhindern.

Die Selbsthilfegruppen bauen dann ihren Damm aus Sand, Steinen, Eisen, Beton und Holz unter Anleitung selbst. Dabei werden lokalen Materialien verwandt.

Das simple Funktionsprinzip ermöglicht die Pflege und Wartung durch die lokale Wasserkomitees.



#### So funktioniert ein Sanddamm:

- In der Regenzeit sammelt sich das Wasser hinter dem in einem Flussbett errichteten Damm.
- 1 bis 3 Prozent des Wassers werden zurückgehalten und die Sandpartikel sinken ab.
- Über die Zeit von ein bis vier Regenzeiten füllt sich so der Damm mit Sand.
- Der Wassergehalt im Sand liegt dann zwischen 25 und 40 Prozent.
- Gleichzeitig erhöht sich so die Grundwasserschicht im Uferbereich.
- Durch Graben von Löchern oder die Installation von Brunnen kann das Wasser entnommen werden. Auch Rohrkonstruktionen sind möglich.

Sanddämme dienen nicht nur der Trinkwassergewinnung. In ihrer Umgebung verbessern sich auch die Bedingungen für den Anbau von Nutzpflanzen.

Gezielt bindet arche noVa die Menschen von Beginn der Planungen in die Projekte ein und fördert ihre Selbsthilfekräfte.

Mitglieder des BTE unterstützen solche Projekte durch Spenden und Informationen.

[www.arche-nova.org](http://www.arche-nova.org)

arche noVa - Initiative für Menschen in Not e.V.  
Weißeritzstraße 3  
01067 Dresden