Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 113 (1995)
Heft: 10

Artikel: Biologisch induzierte Betonkorrosion in ARA
Autor: Jentzsch, Klaus / Wigger, Herbert
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-78678

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Klaus Jentzsch und Herbert Wigger, Reinach

Biologisch induzierte Betonkorrosion in ARA

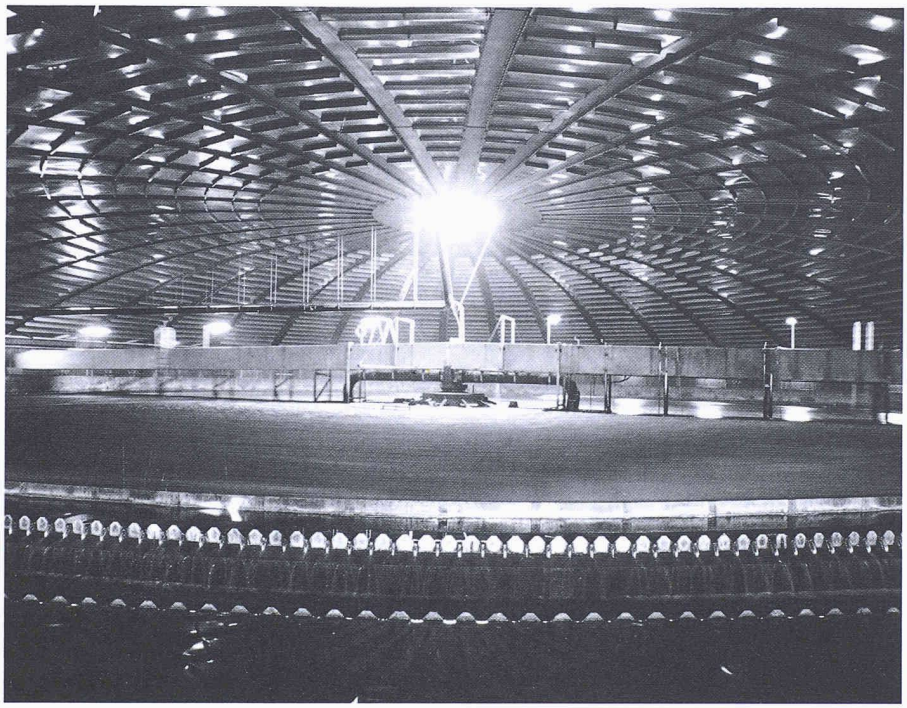

Bild 1.
Innenansicht eines Nachklärbeckens

Der Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen ist oft mit Geruchsemissionen verbunden. Um dies in städtischen Siedlungsgebieten auszuschliessen, müssen die betreffenden Bauwerke mit Dachkonstruktionen versehen werden. Allerdings entsteht darunter ein Mikroklima, das günstige Bedingungen für die Entwicklung schwefelsäureerzeugender Bakterien bietet. Siedeln sich diese auf Beton an, werden fortschreitend der Zementstein und teilweise auch die Zuschlagstoffe zersetzt. Mittels eines geeigneten Oberflächen-Schutzsystems kann die Dauerhaftigkeit solcher Anlagen erhöht werden.

Problemstellung

In einer Abwasserreinigungsanlage (ARA) laufen die einzelnen Prozessstufen üblicherweise mit Geruchsemissionen einher. Befindet sich eine solche Anlage in oder nahe einer städtischen Agglomeration, wird dadurch die Lebensqualität der dort lebenden Menschen beeinträchtigt. Um dies auszuschliessen, entschloss man sich bei der Planung der ARA Basel, sämtliche Bauwerke mit Dachkonstruktionen zu versehen. Allerdings kam es am Konstruktionsbeton der drei 1982 errichteten Nachklärbecken und der zugehörigen Ablaufkanäle schon nach einigen Jahren in der Gaszone zu Korrosionschäden. Es galt mit einer ausführlichen Untersuchung die Ursachen für die aufgetretenen Schädigungen aufzudecken und Vorschläge für die zukünftige Sanierung zu unterbreiten.

Bild 1 zeigt einen Blick in das Innere des Inspektionsobjektes.

Zustandsanalyse

Inspektionsprogramm

Für die Zustandsanalyse wurde nach SIA-Merkblatt 2002 [1] ein für Betonkonstruktionen langjährig bewährtes Untersuchungsprogramm angewendet. Es beinhaltet zerstörungsfreie beziehungsweise zerstörungsarme Mess- und Prüfverfahren. Das Regelprogramm wurde jedoch aufgrund des Schadensbildes im vorliegenden Fall um einige Detailabklärungen erweitert:

- In-situ-Messungen (Ermittlung grundlegender Material- und Betriebskennwerte wie Oberflächen-Druckfestigkeit, Fliessgeschwindigkeit),
- Bohrkernanalysen (Bestimmung ergänzender Materialkennwerte),
- Laboranalysen (Versalzungsgrad, Raster-Elektronenmikroskopie).

Nachfolgend wird über die wesentlichen, bereits vorliegenden Ergebnisse berichtet.

Beanspruchungsbedingungen

Die innerhalb des Nachklärbeckens herrschenden Beanspruchungsbedingungen liessen sich wie folgt charakterisieren:

Wasserzone

- relativ lange Verweilzeit des Schwimmschlamms sowie der Wand- und Bodenablagerungen,
- niedrige Fliessgeschwindigkeit (Randbereich: v ~ 0,07m/s),
- Wasserturbulenzen mit Sprühnebelbildung bei Ablaufrinne und Ablaufkanal,
- unbedeutende Konzentration beton- und stahlkorrosiver Ionen (NH_4^+, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, Cl^-),
- pH-Wert ≥ 6,5.

Gaszone

- deutlich erhöhte Innen-Lufttemperatur (Bedienungsgang: T ≈ 20-30 °C),
- zumeist extrem hohe relative Luftfeuchte (Bedienungsgang: ≈ 95%),
- geringe Luftzirkulation,
- Konzentration von Schwefelwasserstoff (H_2S) 50 cm über dem Wasserspiegel ungefähr 0,85mg/m^3 beziehungsweise 0,6 ppm,
- geringe Anteile beton- und stahlkorrosiver Ionen im Kondenswasser,
- pH-Wert des Kondenswassers um 5, also leicht sauer.

Zusammengefasst wurde der Angriffsgrad auf den Beton in der Wasserzone nach DIN

Bild 2.
Schadensbild im Ablaufkanal

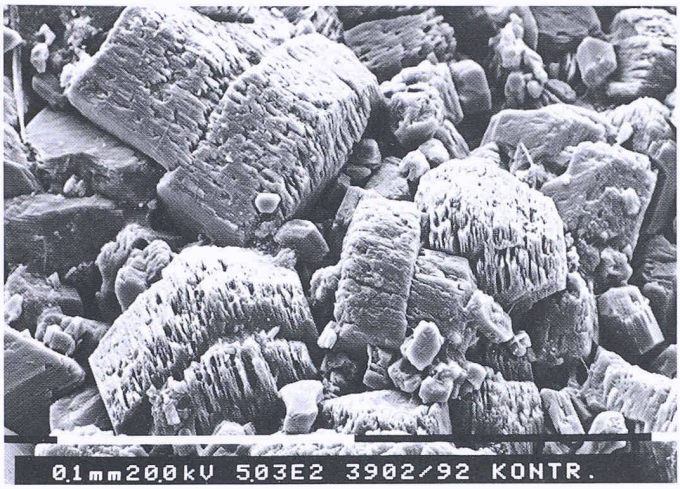

Bild 3.
Gipskristalle im korrodierten Zementstein, Vergrösserung: ca. 500 x, REM-Labor Universität Basel

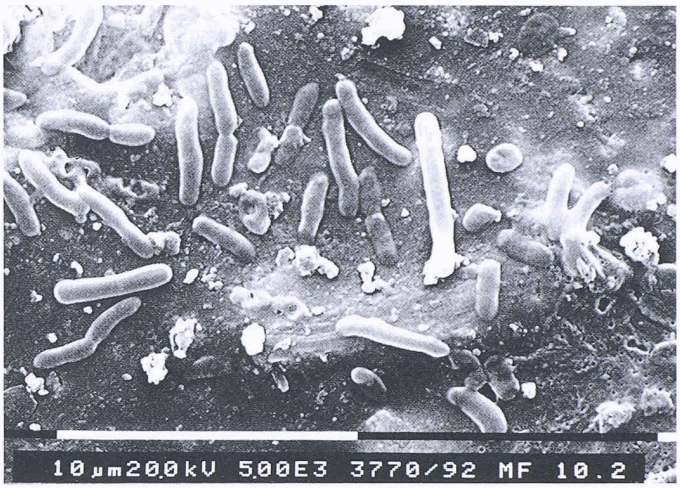

Bild 4.
Bakterien auf einer Epoxidharz-Musterfläche zum Zeitpunkt t = 0,5a, Vergrösserung rund 5000 x, REM-Labor Universität Basel

4030 [2] als «schwach», in der Gaszone als «stark» eingestuft.

Zustand des Konstruktionbetons

Der Zustand des Betons in der Wasserzone konnte - trotz einer verdächtig anmutenden, von rotbraun bis schwarz verfärbten Oberfläche beziehungsweise Belagsschicht - als vollkommen intakt bezeichnet werden. Es wurden keinerlei Schäden (wie beispielsweise Risse, Abplatzungen oder Abtragungen) festgestellt. Die Druckfestigkeit des Kernbetons lag teilweise um mehr als 100% über der planerisch geforderten Betonfestigkeit von 35 N/mm^2. Der Beton wies eine kapillare Wasseraufnahme zwischen 7,2 und 8,9 Volumen % auf.

In der Gaszone war es dagegen zu beträchtlichen Betonschäden gekommen, die von freiliegendem Korngerüst, grossflächigen, schalenartigen Abplatzungen und starker Absandung gekennzeichnet waren (Bild 2). Im Tiefenprofil von 0 bis 10 mm wurden Sulfatgehalte festgestellt, die deutlich über dem Schwellwert für sulfatinduzierte Betonkorrosion (1,0 Masse-% an SO_4^{2-}) lagen. An besonders exponierten Stellen, wie beispielsweise an der Beckenwand, betrug die Korrosionsrate ungefähr 0,5 mm/a.

Resultate der Raster-Elektronenmikroskopie

Untersuchungen ausgewählter Proben mit dem Raster-Elektronenmikroskop (REM) erbrachten zusätzliche Informationen zur Betonkorrosion in der Gaszone. Dabei wurden nicht nur die völlig zerstörte Betonoberfläche (Bild 3), sondern viele verschiedene Mikroorganismen sichtbar. Das deutete darauf hin, dass die Betonschäden durch Schwefelsäure erzeugende Bakterien verursacht wurden.

Biogene Schwefelsäurekorrosion

Kenntnisstand

Über Schäden in Kanalisationen aus Beton, hervorgerufen durch Schwefelsäure produzierende Bakterien (Thiobacillen), wurde zum ersten Male 1945 aus Australien berichtet. Meldungen über gleiche Schadensursachen folgten in den 50er Jahren aus Durban/Südafrika und aus Ländern des Nahen Ostens. Allen diesen Ländern ist gemeinsam, dass sie ein deutlich wärmeres Klima als dasjenige in Zentraleuropa aufweisen. Das Phänomen trat in den letzten 10 bis 20 Jahren jedoch zunehmend auch in Zentraleuropa auf, so in Dänemark, Deutschland und Finnland. Selbst in Entwässerungsleitungen von Staumauern in Spanien und den USA ist es zu den gleichen Zerstörungsmechanismen gekommen.

Die starken und in der Regel bereits nach etwa zwei Jahren beginnenden Schädigungen veranlassten interdisziplinäre Forscherteams aus den Bereichen Materialtechnologie, Mikrobiologie, Abwasserchemie, Abwassertechnik und Hydromechanik, sich intensiv des Problems anzunehmen. Über erzielte Ergebnisse wird in konzentrierter Form etwa auch in [3] berichtet.

Voraussetzungen

Bedingung für das Auftreten biogener Schwefelsäurekorrosion (BSK) ist Schwefelwasserstoff, der gasförmig aus dem Abwasser entweicht. Schwefelwasserstoff entsteht durch Fäulnisprozesse, die unter anaeroben Bedingungen vornehmlich in der Sielhaut, in geringerem Umfange in den Sohlablagerungen von Abwasseranlagen ablaufen. Dabei kommt es einerseits zur mikrobiellen Desulfurikation von anorganischen Schwefelverbindungen, andererseits zum mikrobiellen Abbau des in Proteinen enthaltenen Schwefels. Die Konzentration des entweichenden Schwefelwasserstoffs ist von den jeweiligen technologischen und mikroklimatischen Bedingungen abhängig. Wird eine ARA zur Vermeidung von Geruchsimissionen mit einem Dach versehen, werden diese Bedingungen gefördert.

Dass in Europa in den letzten beiden Jahrzehnten vermehrt BSK aufgetreten ist, hängt unter anderem mit den veränderten Abwassereigenschaften und einem erhöhten Sulfateintrag ab. Als Ursachen sind die Veränderung der Ernährungsgewohnheiten, vermehrte Verwendung von synthetischen Wasch- und Reinigungsmitteln, Erhöhung der Abwassertemperatur und Absenkung des pH-Wertes zu nennen.

Schwefelbakterien (Thiobacillen)

Schwefelsäure erzeugende Bakterien findet man vielerorts und zwar sowohl im Abwasser als auch beispielsweise in Gartenerde. In Abwasserbauwerken gelangen sie über die Gaszone auf die Betonoberfläche, wo sie sich bei entsprechenden Voraussetzungen massenhaft vermehren. Bei den Thiobacillen werden vier verschiedene Bakterienstämme unterschieden, die nur in ganz bestimmten pH-Bereichen gedeihen können (Tabelle 1).

Lebensgrundlage für diese Mikroorganismen sind vorrangig eine feuchte Betonoberfläche und Schwefelwasserstoff als

Bakterienstamm	pH-Bereich
Thiobacillus neapolitanus	3 bis 13
Thiobacillus intermedius	2 bis 9
Thiobacillus novellus	2 bis 9
Thiobacillus thiooxidans	0 bis 6

Tabelle 1.
Lebensbereiche von Thiobacillen

Energiequelle. Die ersten drei Bakterienarten bewirken durch die Bildung niedrigprozentiger Schwefelsäure eine zunehmende Absenkung des pH-Wertes. Thiobacillus thiooxidans (frühere Bezeichnung: Thiobacillus concretivorus = «Betonfresser») ist erst ab einem pH-Wert kleiner als 6 lebensfähig. Ist diese Bedingung gegeben, werden nach und nach die anderen Thiobacillen als Nahrungskonkurrenten ausgeschaltet. Die günstigsten Entwicklungsbedingungen liegen bei Temperaturen um 30°C und einer relativen Luftfeuchte von etwa 95%. Dieser Bakterientyp ist in der Lage, 7%ige Schwefelsäure zu produzieren. Das stellt einen der schärfsten Säureangriffe der Natur dar.

Thiobacillen bilden Schwefelsäure aus Schwefelwasserstoff (mikrobiologische Oxidation) wie folgt:

$$2\,H_2S + O_2 \longrightarrow 2S + 2\,H_2O$$

$$2\,S + 3O_2 + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,H_2SO_4$$

Trocknet eine solcherart besiedelte Betonfläche zeitweise aus, so kann die Schwefelsäure-Konzentration sogar bis auf 30% ansteigen. Die Entwicklungszeit der Schwefelbakterien beträgt ungefähr ein bis anderthalb Jahre.

Betonkorrosion

Die von den Thiobazillen erzeugte Schwefelsäure bewirkt im Zementstein durch Bildung von Gips einen oberflächlich lösenden und - in geringerem Umfang - eine mineralogische Umlagerung von Aluminathydraten zu Ettringit treibenden Angriff. Nachfolgend sind die grundlegenden Reaktionen, die zu dieser Art biologisch induzierter Betonkorrosion führen, angegeben.

Bildung von Gips:

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \longrightarrow CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$$

Bildung von Ettringit (nach [4]):

$$3\,CaO \cdot Al_2O_3 + 3\,(CaSO_4 \cdot 2\,H_2O) + 26\,H_2O \longrightarrow 3\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3\,CaSO_4 \cdot 32\,H_2O$$

Zwar stellt die Zementmatrix bei einem Angriff von Schwefelsäure - insbesondere bei Verwendung von Portlandzement - das schwächste Glied im Betongefüge dar, doch ist auch eine Zersetzung des Zuschlagstoffs möglich.

Problemlösung

Der Konstruktionsbeton in der Gaszone der drei Nachklärbecken und Ablaufkanäle muss in absehbarer Zeit instand gesetzt werden. Ein geeignetes Oberflächen-Schutzsystem (OS) hat den Anforderungen von OS 6 (chemisch widerstandsfähige Beschichtung für mechanisch gering beanspruchte Flächen nach [5] zu genügen. Gegenwärtig wird jedoch noch kein Sanierungsprodukt angeboten, das auch für den Sonderfall eines biogenen Schwefelsäureangriffes hohe Dauerhaftigkeit garantiert. Aus diesem Grund wurden in enger Zusammenarbeit mit Materialherstellern im Bedienungsgang des inspizierten Nachklärbeckens mehrere Musterflächen appliziert:

- Spritzbetone (Bindemittel: sulfatbeständige bzw. mineralisch vergütete Zemente),
- Dünnschichtputze (Bindemittel: mineralisch, teilweise mit diversen Spezifikationen),
- Kunstharz-Beschichtungen (Bindemittel: Epoxidharz, Teer-Epoxid-Harz, Polyurethan-Harz).

Literatur

[1]
Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Merkblatt SIA 2002, Inspektion und Instandsetzung von Bauteilen aus Beton, Zürich 1990.

[2]
DIN 4030, Teil 1, Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; Grundlagen und Grenzwerte, Juni 1991.

[3]
Bielecki, R.; Schremmer, H.: Biogene Schwefelsäure-Korrosion in teilgefüllten Abwasserkanälen, TU Braunschweig, 1987.

[4]
Knoblauch, H.: Baustoffkenntnis, Werner-Verlag, 1987.

[5]
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Berlin 1990.

An den Musterflächen werden in mehreren Zyklen nach einem speziell ausgearbeiteten Programm Dauerhaftigkeitstests durchgeführt. Sie umfassen visuelle Begutachtung, In-situ-Messungen sowie Bohrkern- und Laborprüfungen. Bild 4 zeigt, dass die Testflächen bereits nach kurzer Zeit von zahlreichen Mikroorganismen besiedelt waren. Die Schlussergebnisse werden anfangs 1995 vorliegen und eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die spätere Instandsetzung sein.

Adresse der Verfasser:
Klaus Jentzsch, Dr.-Ing., dipl. Bauing. TH/SIA und *Herbert Wigger,* dipl. Bauing. (FH), Gruner AG, Ingenieurunternehmung, Sternenhofstrasse 15, 4153 Reinach BL.