Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 60-61 (1992-1993)
Heft: 23

Artikel: Beton in Kläranlagen
Autor: Hermann, Kurt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153786

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: 05.08.2025

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

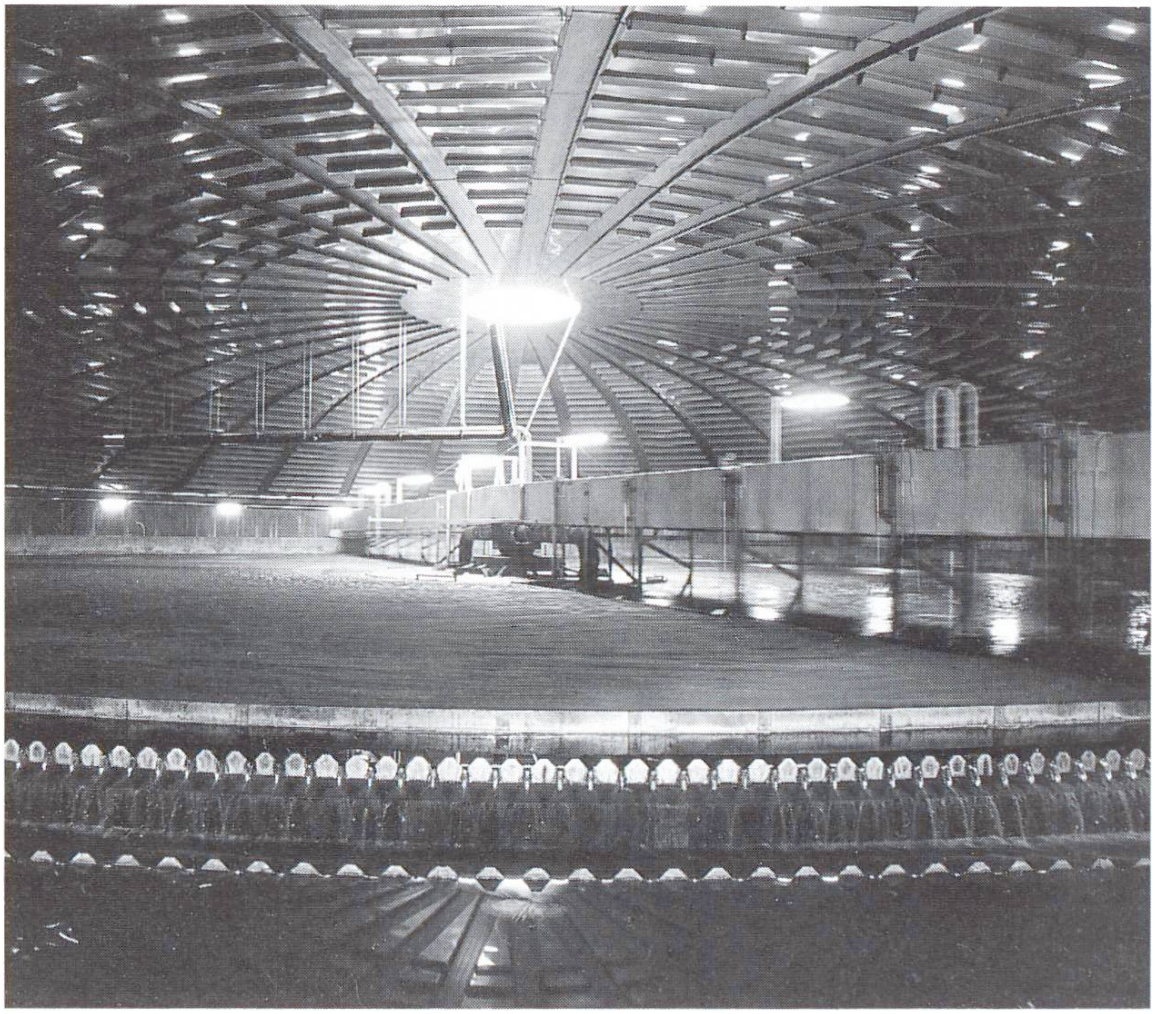
CEMENTBULLETIN

NOVEMBER 1993 JAHRGANG 61 NUMMER 23

Beton in Kläranlagen

Beton in Kläranlagen: Ein Werkstoff, auf den nicht verzichtet werden kann, der aber in dieser chemisch aggressiven Umgebung Schwächen zeigt – vor allem bei unsachgemässer Zusammensetzung und Verarbeitung.

Anfang dieses Jahrhunderts wurden die ersten Kläranlagen in der Schweiz gebaut. Gegenwärtig sind mehr als 900 Anlagen unter-



Innenansicht eines überdeckten Nachklärbeckens.
(Foto: Gruner AG Ingenieurunternehmung, Reinach BL)

schiedlichster Grösse in Betrieb. Unser Land gehört damit zu den Ländern, in denen prozentual der grösste Anteil der Schmutzwassererzeuger an Kläranlagen angeschlossen ist.

Eine typische Kläranlage besteht in der Regel aus einer mechanischen, einer biologischen und einer chemischen Stufe sowie einer Schlammfaulung. Häufig kommen zusätzliche Anlagen für eine weitergehende Abwasser- und Schlammbehandlung dazu. In *Tabelle 1* sind die wichtigsten Anlagenteile samt ihrer Funktion und den Materialien, aus denen sie hauptsächlich bestehen, zusammengefasst. Daraus ist ersichtlich, dass Beton auch für abwasserberührte Teile in Kläranlagen ein unverzichtbarer Werkstoff ist.

Beton wird in Kläranlagen vielfältig beansprucht: Je nach Ort und Zusammensetzung der Abwässer können die Einwirkungen statischer, mechanischer oder chemischer Natur sein. Zu erwarten, dass dabei keine Schäden auftreten, wäre blauäugig. Viele der Schäden liessen sich allerdings vermeiden, wenn die elementarsten Regeln der Baukunst eingehalten würden, andere können durch entsprechende Massnahmen beträchtlich reduziert werden.

Im vorliegenden «Cementbulletin» befassen wir uns mit Schäden in Kläranlagen, die auf den chemischen Angriff von Abwässern auf Beton zurückzuführen sind. Zu einem späteren Zeitpunkt wird ausführlich über gewisse Aspekte der Sanierung derartiger Schäden berichtet werden.

Betonschäden in Kläranlagen

Vor einigen Jahren wurden einzelne Anlagenteile von 17 der etwa 65 zentralen Abwasserreinigungsanlagen des Kantons Graubünden untersucht [1]. Allgemeine Bauschäden und Mängel, die unabhängig vom Kontakt zwischen Beton und Abwasser auftreten, wurden in sehr unterschiedlicher Anzahl vorgefunden. Neben den Schäden, die eine direkte Folge schlechter Ausführung waren, wurden auch Schäden aufgrund von mechanischen Beanspruchungen beobachtet:

- Risse infolge von Setzungen
- Risse infolge von Temperatureinwirkungen (besonders bei beheizten Mauerkronen)
- Trennrisse bei Bauteilen mit extrem unterschiedlichen Querschnittabmessungen (systembedingte Schäden)
- Risse infolge ungenügender konstruktiver Ausbildung der Bauteile
- Zerstörte Fugenbänder

Die wichtigsten kläranlagenspezifischen Schäden waren bei alten und – oft sogar ausgeprägter – bei neuen Anlagen sichtbar als

- waschbetonartige Oberflächenstrukturen von Beton in Klärbecken,
- oft beträchtliche Rostfahnen sowie

Wassereigenschaft		Angriffsgrad		
		schwach angreifend	stark angreifend	sehr stark angreifend
pH-Wert		6,5–5,5	5,5–4,5	unter 4,5
kalklösende Kohlensäure	(mg CO_2/l)	15–40	40–100	über 100
Ammoniumgehalt[1])	(mg NH_4^+/l)	15–30	30–60	über 60
Magnesiumgehalt	(mg Mg^{2+}/l)	300–1000	1000–3000	über 3000
Sulfatgehalt	(mg SO_4^{2-}/l)	200–600	600–3000	über 3000

[1]) Aufgrund neuerer Untersuchungen wurde vorgeschlagen, Ammoniumionenkonzentrationen bis zu 100 mg/l als «schwach angreifend» zu klassieren [15]!

Tab. 2 Grenzwerte zur Beurteilung des Angriffsgrades von Wässern nach DIN 4030 [5].

- einige wenige Betonabplatzungen durch treibende Angriffe.

Am stärksten betroffen waren die Belüftungsbecken. Sie wiesen zwei- bis dreimal grössere Schäden als die Nachklärbecken auf. In den Teilen, die den Belüftungsbecken vorgelagert sind (siehe *Tabelle 1)*, wurden dagegen beinahe keine Schäden beobachtet; Ausnahmen bildeten lokale Betonschäden in den Übergangsbereichen Wasser–Luft.

Aggressive Abwässer

Die Zusammensetzung von Abwässern kann sehr unterschiedlich sein. Entsprechend verschieden sind denn auch ihre betonaggressiven Wirkungen. Häusliches und kommunales Abwasser gilt in Deutschland als im allgemeinen nicht betonangreifend. Sachgemäss zusammengesetzter, verarbeiteter und nachbehandelter Beton wird deshalb ohne äussere Schutzmassnahmen als ausreichend widerstandsfähig betrachtet [3].

Industrielle und gewerbliche Abwässer können dagegen eine Vielzahl von Verunreinigungen enthalten, die harmlos oder auch stark angreifend sein können. Einen Eindruck über die Einwirkung verschiedener Stoffe auf Beton vermittelt eine von der TFB im Jahr 1982 veröffentlichte Übersicht [4]. Abwasserfachleute greifen häufig auf DIN 4030 [5] zurück, aus welcher *Tabelle 2* stammt, die zur Beurteilung der Aggressivität von Wässern dient. Auch organische Verbindungen, die im Abwasser gelöst sind, können aggressiv auf Beton wirken [6].

Die Betonaggressivität von Abwässern hängt jedoch nicht nur von der Art und Konzentration der Inhaltstoffe ab. Einen grossen Einfluss üben auch der pH-Wert *(Tabelle 2!)*, die Temperatur, das Sauerstoffangebot und weitere Faktoren wie beispielsweise die zusätzliche mechanische Beanspruchungen durch strömendes oder bewegtes Wasser aus.

4 Korrosion der Bewehrung

Zu den immer wiederkehrenden Schäden an Stahlbeton gehören Abplatzungen als Folge der Korrosion der Bewehrung. Die Ursachen dafür sind bekannt: In Beton entsteht an der Oberfläche der Bewehrung spontan eine dünne Schicht aus Eisenoxiden, die vor Korrosion schützt. Sinkt der pH-Wert um die Bewehrung durch Carbonatisierung (oder durch Einwirkung von Säuren) unter 9,5, wird diese Schutzschicht zerstört, und Korrosion kann einsetzen, wenn genügend Sauerstoff und Feuchtigkeit vorhanden sind [7]. Chloridionen können die Passivierungsschicht der Bewehrung auch bei hohen pH-Werten ($> 12{,}0$) durchbrechen und die Korrosion einleiten [8].
Begünstigt wird die Korrosion durch eine ungenügende Betonüberdeckung, wie sie leider auch in Kläranlagen immer wieder gefunden wird [2]. Sie manifestiert sich als Rostfahnen sowie Absprengungen von Beton. (Rost hat ein wesentlich grösseres Volumen als der Stahl, aus dem er gebildet wurde!) Wirksame Gegenmassnahmen bestehen primär darin, einen dichten Beton mit ausreichender Überdekkung der Bewehrung herzustellen. Weitere Massnahmen sind beispielsweise die Verwendung von epoxidharzbeschichtetem Bewehrungsstahl [9] oder die Beschichtung des Betons in gefährdeten Bereichen.

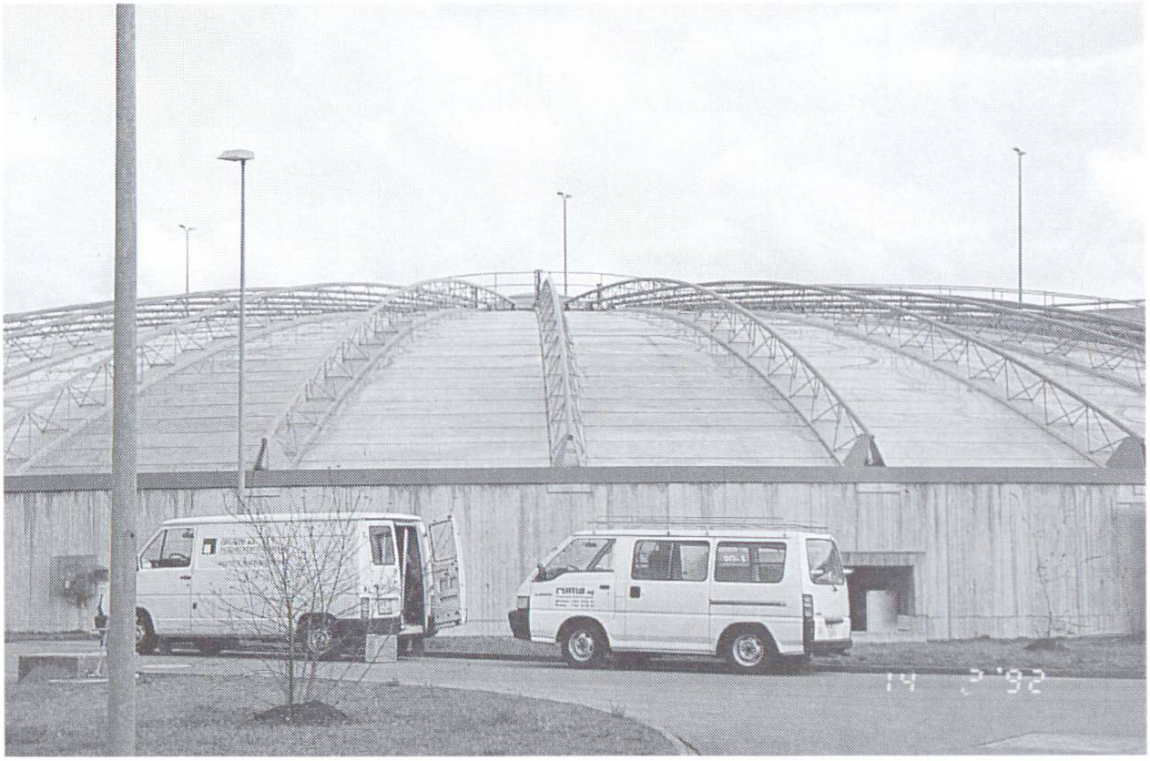
Lösende Angriffe auf Beton

Stahlbeton setzt sich – stark vereinfacht – aus den mineralischen Zuschlagstoffen, dem Zementstein sowie der Bewehrung zusammen. Schwachpunkt ist der poröse Zementstein, der im wesentlichen aus Calciumsilikathydraten, Calciumaluminathydraten sowie zu rund einem Drittel aus Calciumhydroxid besteht. Beim Kontakt mit Luft oder mässig kohlensäurehaltigem Wasser reagiert Calciumhydroxid zu Calciumcarbonat (Carbonatisierung), das durch Säuren, stark kohlensäurehaltiges oder weiches Wasser wieder aufgelöst werden kann. Zurück bleibt eine gelartige, in feuchtem Zustand zusammenhängende Schicht aus säureunlöslichen Silikaten, die den weiteren Säureangriff verzögert. Beim Austrocknen oder beim Reinigen der Betonoberfläche wird sie jedoch zerstört [1, 2]. Durch Wiederholung dieser Vorgänge kommt es zu einem allmählichen Abtrag des Betons, der ein waschbetonähnliches Aussehen erhält.
Besonders schädlich sind saure Abwässer (pH $< 4{,}5$), da die darin enthaltenen Säuren mit den Zementsteinkomponenten meistens gut wasserlösliche Salze bilden, der Zementstein also abgebaut wird. Organische Säuren (Ameisensäure, Essigsäure usw.) entstehen oft erst im Verlauf der mikrobiellen Gärung organischer Abfallstoffe oder durch die Verseifung von Estern, Fetten und Ölen. Sie greifen den

Beton in der Regel weniger stark an als anorganische. Einige bilden sogar Schutzschichten (Beispiel: Oxalsäure) [6].
Gefährdet sind vor allem die Wasserwechselzonen. In diesen Bereichen kann es selbst bei relativ schwach sauren Abwässern zur Zerstörung des Betons kommen, wenn sie nicht durch einen Schutzanstrich (beispielsweise auf Teer-Epoxidbasis) zusätzlich geschützt sind. Andernfalls dringen kleine Wassermengen in das Kapillarsystem des Zementsteins ein. Sinkt der Abwasserspiegel, verdunstet das Wasser, und zurück bleiben die sauren Bestandteile, die den Beton langsam zerstören. Oft werden diese Schwachstellen durch Frost zusätzlich gefährdet.
Zu einem Abbau des Zementsteins führen auch die in *Tabelle 2* aufgeführten Ammonium- und Magnesiumionen. Sie reagieren wie die Säuren mit Calciumhydroxid, das unter Festigkeitsverlust nachgeliefert wird [2].

Biogene Schwefelsäurekorrosion

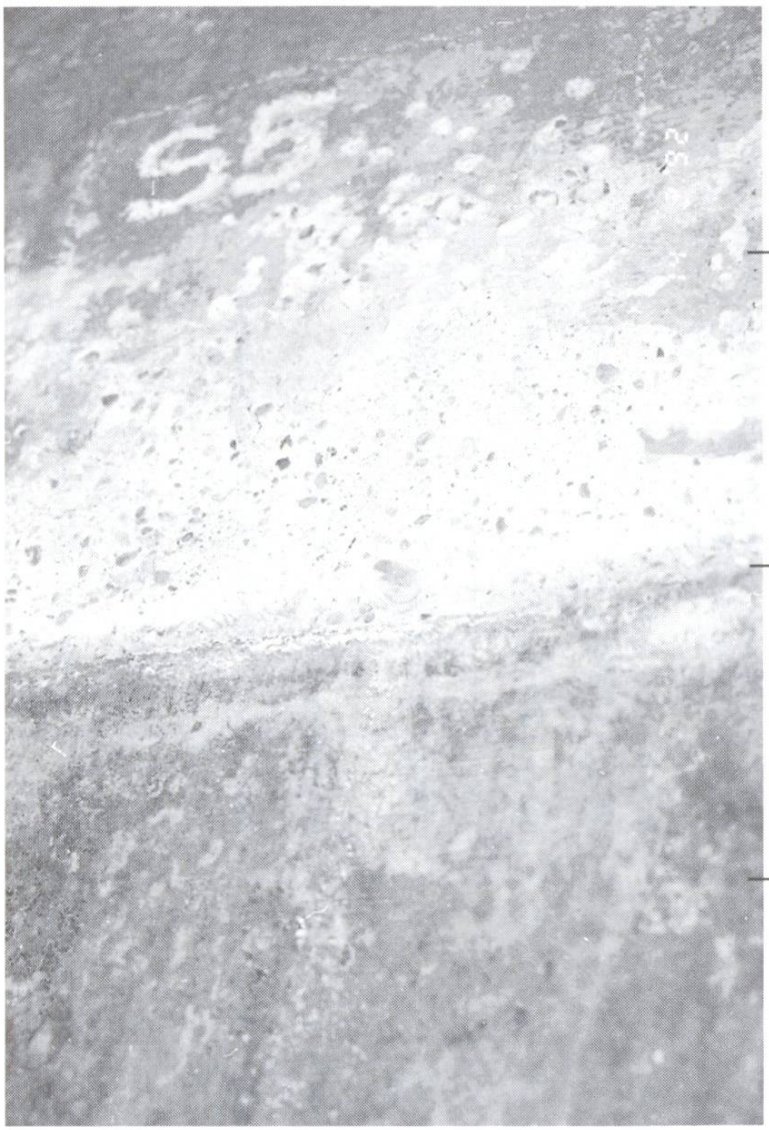
In überdeckten Bauwerken von Kläranlagen traten vor einigen Jahren Korrosionsschäden auf, die in der Schweiz noch nicht bekannt waren [10]. Sie wurden beispielsweise in den Gaszonen von Nachklärbecken und den dazugehörenden Ablaufkanälen gefunden: Im Verlauf von zehn Jahren wurden an exponierten Stellen bis zu 5 mm dicke Betonschichten abgetragen.



Aussenansicht eines überdeckten Nachklärbeckens.
(Foto: Gruner AG Ingenieurunternehmung, Reinach BL)

Anlagenteil	*Funktion*	*Materialien*
Aussenwerke		
Kanalisation	Sammeln des Abwassers in Kanälen	Beton, Steinzeug, Faserbeton, Kunststoffe (PE/PVC/GFK), Guss, Stahl
Regenklärbecken	Retention/Rückhaltung bzw. Abscheidung der Schmutzstoffe bei Regen, Entlastung des verdünnten Abwassers	Becken in Ortsbeton oder Elementbauweise, Installationen in Metallen mit Kunststoffen
Pumpwerke	Heben des Abwassers	Bauwerk in Ortsbeton oder Elementbauweise, Installationen in Metallen mit Kunststoffen
Mechanische Stufe		
Rechen	Entfernen von sperrigen Stoffen, Papier und Textilien	Metalle, Kunststoffe
Sand-Fettfang	Entfernen von Sand und Fett, Absetzung von mineralischen Stoffen, in Schwebe halten organischer Stoffe	Beton, Installationen in Metallen, Kunststoffen
Vorklärbecken	Entfernen schwimm- und sinkfähiger Stoffe in Sedimentationsbecken	Beton, Installationen in Metallen, Kunststoffen
Biologisch-chemische Stufe		
Belüftungsbecken/Scheibentropfkörper/Tropfkörper	Umwandlung der gelösten organischen Stoffe in Biomasse und CO_2 durch Schaffung von idealen Lebensbedingungen für Mikroorganismen	Beton, Metalle, Kunststoffe, Steine, Keramik
Nachklärung	Trennung Mikroorganismen / gereinigtes Abwasser durch Absetzbecken oder Trommelfilter	Beton, Metalle, Kunststoffe, Textilien
weitergehende Reinigung	Erreichung erhöhter Auslaufqualitätsziele (Phosphorfällung, Nitrifikation und Denitrifikation, Flockungsfiltration usw.)	Beton, Metalle, Kunststoffe, Sand, Aktivkohle usw.
Schlammbehandlung		
Pasteurisierung/Hygienisierung	Teilkeimfreimachung des Frischschlamms durch thermische Behandlung (aerob oder anaerob)	Metalle, Kunststoffe
Faulung oder Schlammbelüftung	Schlammstabilisierung durch Teilabbau der organischen fäulnisfähigen Stoffe (aerob oder anaerob), Schlammeindickung	Beton, Installationen in Metallen, Kunststoffen
Gasbehälter	Speicherung des Biogases (Methan, CO_2 und H_2S) in Trocken- oder Nassgasbehälter bzw. Druckbehälter	Beton, Metalle, Kunststoffe
Heizungs- bzw. Wärmekraftkopplungsanlage	Aufheizen des Schlamms, Beheizen des Betriebsgebäudes, Erzeugung von elektrischer Energie	Metalle
weitergehende Schlammbehandlung	Schlammentwässerung, -trocknung, -verbrennung	Metalle, Kunststoffe

Tab. 1. Aufbau einer typischen Abwasserreinigungsanlage [2].



Biogene Schwefelsäurekorrosion in der Gaszone eines Nachklärbeckens (1: Gaszone, 2: Übergangszone, 3: Wasserzone mit intaktem Konstruktionsbeton).
(Foto: Gruner AG Ingenieurunternehmung, Reinach BL)

Schuld an den Schäden sind Bakterien, sogenannte Thiobazillen, die auf der feuchten Bauteiloberfläche in der Gaszone Schwefelwasserstoff (H_2S) in Schwefelsäure (H_2SO_4) umwandeln. Schwefelwasserstoff gelangt entweder direkt durch Einleitung aus industriellen und gewerblichen Betrieben oder durch den mikrobiellen Abbau von schwefelhaltigen organischen Verbindungen ins Abwasser. Die Schwefelsäure, die bei der mikrobiellen Oxidation des Schwefelwasserstoffs durch die Bakterien entsteht, reagiert hauptsächlich mit dem Calciumhydroxid des Zementsteins zu Gips ($CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$), der durch herabrinnendes Kondenswasser abgespült wird.

Die hier beschriebenen Vorgänge und deren Folgen sind schon lange bekannt, allerdings im Bereich von Kanalisationen. Beobachtet werden sie vor allem in wärmeren Ländern, denn die beschriebenen mikrobiellen Reaktionen laufen unter 20 °C nur langsam ab; die optimale Temperatur liegt bei 30 °C [3].

Treibende Angriffe

Sulfathaltiges Wasser kann Beton ebenfalls schädigen. Dabei reagieren Sulfationen mit Aluminathydraten des Zementsteins zu Ettringit. Diese Reaktion ist mit einer achtfachen Volumenzunahme verbunden, die schliesslich zur Sprengung des Betongefüges führt [11]. Wie die Untersuchungen im Kanton Graubünden zeigen, scheint diese Schadensursache allerdings nicht sehr verbreitet zu sein: Hier wurden weder hohe Sulfat- noch hohe Chloridgehalte im Beton gefunden [1].

Wenn mit Sulfatkonzentrationen über 400 mg/l zu rechnen ist, sollte bei Neubauten oder Sanierungsarbeiten mit Spritzbeton ein Portlandzement mit hoher Sulfatbeständigkeit (PCHS) [11] verwendet werden. In Deutschland werden im Kläranlagenbau anscheinend fast ausschliesslich Hochofenzemente eingesetzt, die einen hohen Widerstand gegen Sulfatangriffe aufweisen [12, 13].

Beton für Kläranlagen

Beton bewährt sich in Kläranlagen als Werkstoff mit einer sehr grossen Beständigkeit. Die Nutzungsdauer von 40 bis 50 Jahren [2] ist beträchtlich höher als diejenige der übrigen Bestandteile aus anderen Werkstoffen (Metalle, Kunststoffe, Holz). Voraussetzung ist allerdings, dass die Konstruktionen materialgerecht sind, das Material und die Bauausführung von hoher Qualität sowie entsprechend der zukünftigen Beanspruchung ausgewählt wurden und die Anlagen gut unterhalten werden.

Korrodierter Zementstein mit Gipskristallen; Vergrösserung etwa 1000mal.
(Foto: REM-Labor, Universität Basel)

9 Im 7. Entwurf zu den «Richtlinien zum Korrosionsschutz in Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisationswerken» [2] wird festgehalten: «Sachgemäss zusammengesetzter und verarbeiteter Beton kann den Einwirkungen von Witterung, Atmosphäre und den meisten Wässern während der gesamten Nutzungsdauer ungeschützt ohne Schaden widerstehen.» Angaben darüber, wie ein sachgemäss zusammengesetzter Beton auszusehen hat und wie er verarbeitet werden soll, sind in den Richtlinien enthalten. Empfohlen wird auch der Einsatz von Microsilica für die Herstellung von möglichst dichtem, chemisch resistentem Beton in der Abwassertechnik [14].

Im Gasbereich von Schlammbehältern, in Schlammeindickern sowie in Behältern mit aggressivem Industrieabwasser sollte der Beton gemäss [2] durch geeignete Beschichtungen geschützt werden. Vorgeschlagen wurden beispielsweise [1]:

- Spritzbeton
- Zementüberzüge mit hohem Zementgehalt unter Beigabe von Quarzsand (mit oder ohne Haftemulsion)
- Zementgebundene, kunststoffvergütete Mörtel
- Beschichtungen auf Teer-/Epoxidbasis

Kurt Hermann

Literatur

[1] *Brändli, W.*, «Betonschäden in Kläranlagen – Ursachen und Massnahmen», Verbandsbericht Nr. 379 des Verbands Schweizerischer Abwasserfachleute (1988).

[2] «Richtlinien zum Korrosionsschutz in Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisationswerken, c6 d, 7». Entwurf vom 25. September 1990. Herausgeber: Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz. (Publikation der definitiven Fassung noch 1993 geplant.)

[3] *Bayer, E., Deichsel, T., Kampen, R., Klose, N.*, und *Moritz, H.*, «Betonbauwerke in Abwasseranlagen», herausgegeben Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Köln, Beton-Verlag, Düsseldorf (1984).

[4] «Die Einwirkung verschiedener Stoffe auf den Beton», Cementbulletin **50** [2] (1982).

[5] «Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase», DIN 4030, Teil 1 (Grundlagen und Grenzwerte) und Teil 2 (Entnahme und Analysen von Wasser- und Bodenproben), herausgegeben im Juni 1991.

[6] *Hermann, K.*, «Flüssigkeitsdichter Beton», Cementbulletin **61** [17] (1993).

[7] *Hermann, K.*, «Elektrochemische Realkalisierung und Entsalzung», Cementbulletin **61** [21] (1993).

[8] *Hermann, K.*, «Kathodischer Korrosionsschutz», Cementbulletin **61** [20] (1993).

[9] *Hermann, K.*, «Epoxidharzbeschichtete Bewehrung», Cementbulletin **60** [3] (1993).

[10] *Jentzsch, K.*, «Biogene Schwefelsäurekorrosion – ein Angriff auf Abwasserreinigungsanlagen», Gruner-Info **1993** [2], 11–14.

[11] *Hermann, K.*, «Betonschäden durch den Angriff von Sulfationen», Cementbulletin **61** [21] (1993).

[12] *Radcke, H. D.,* und *Vinkeloe, R.,* «Wirkung von Taumitteln auf Beton von Räumerlaufbahnen in Kläranlagen», Beton-Informationen **29** [2], 15–21 (1989).
[13] *Radcke, H. D.,* und *Vinkeloe, R.,* «Bewährung von Betonbauteilen in Kläranlagen», Beton-Informationen **24** [6], 63–66 (1984).
[14] *Schümperli, E.,* «Chemisch resistenter Beton in der Abwassertechnik», Schweizer Baublatt **1992** [54], 33–36.
[15] «Widerstand von Beton gegen Ammonium», Beton-Informationen **33** [2], 22–23 (1993).

Redaktion
Dr. Kurt Hermann
TFB, Lindenstrasse 10
5103 Wildegg
Telefon 064 57 72 72
Telefax 064 53 16 27

Das «Cementbulletin»
erscheint einmal monatlich
Jahresabonnement:
Schweiz: Fr. 25.–
Übriges Europa: Fr. 50.–
Restliches Ausland: Fr. 80.–

Vertrieb/Abonnemente
Frau M. Winter
Zürichsee Medien AG
Seestrasse 86, 8712 Stäfa
Telefon 01 928 52 23
Telefax 01 928 52 00

Herausgeber
TFB, Lindenstrasse 10
5103 Wildegg
Telefon 064 57 72 72

Druck
Zürichsee Druckereien AG
Seestrasse 86
8712 Stäfa

Copyright
TFB
Lindenstrasse 10
5103 Wildegg