

Korrosionsprobleme in Abwasserreinigungsanlagen

Ingo Wulff, SCE Hombrechtikon
Sonderdruck Nr. 1149, gwa 1987 / 12

Zusammenfassung

Die im Zusammenhang mit der Korrosion wichtigsten Eigenschaften der hauptsächlichsten Werkstoffe wie Beton, Stahl, Nichteisenmetalle und Kunststoffe werden beschrieben. Zwei weitere Kapitel behandeln Angriffsmechanismen sowie die allfälligen Schutzschichtbildung bei den verschiedenen Werkstoffen. Den Abschluss bilden die Auflistung der speziellen Korrosionsursachen in Kläranlagen sowie die Massnahmen zur Erfassung und Behebung von Schäden. Der gezielte vorbeugende Korrosionsschutz wird in dieser Publikation nur gestreift.

Bezüglich der an Abwasserreinigungsanlagen (ARA) angeschlossenen Haushaltungen nimmt die Schweiz mit 81% weltweit den fünften Rang ein. Hinter ihr liegen die Niederlande mit 72%, USA mit 70%, Frankreich mit 64%. Schweden führt diese Rangliste an (100%), gefolgt von Dänemark (90%), BR-Deutschland (84%) und Grossbritannien (83%).

Damit geht in der Schweiz der Bau neuer ARA's langsam zu Ende.

In grösseren Städten existieren Kläranlagen seit über 60 Jahren. Diese gilt es zu erweitern und auf den neuesten Stand der Technik zu bringen.

Kritische Beobachtungen zeigen jedoch, dass eine ganze Reihe von Anlageteilen oder Komponenten durch Korrosion betriebsunfähig werden. Die verwendeten Werkstoffe halten den immer aggressiver werdenden Medien viel weniger Stand als vor 20-30 Jahren. Zudem bereiten Projektierungs- und Ausführungsmängel den Betreibern grosse Sorgen.

2. Werkstoffe in Abwasserreinigungsanlagen

Es existieren wohl wenige Bauwerke und Anlagen, in welchen eine solche Fülle von unterschiedlichen Werkstoffen eingesetzt wird wie in ARA's. Ein Grund dafür ist, dass verschiedene Techniken, wie z. B. Hochbau, Tiefbau, Verfahrenstechnik, Elektrotechnik, Energietechnik, Akustik, Umweltschutz, Ästhetik angewandt werden. Zudem sind die Werkstoffe vielfältigen Medien ausgesetzt und können sich auch gegenseitig beeinflussen. Falls solche Beeinflussungen für Werkstoffe negativ sind, müssen Massnahmen getroffen werden, um untragbare Korrosionsschaden zu vermeiden. Dabei stellt die Kosten-Nutzen Optimierung wesentliche Randbedingungen.

Da die Technik im Sektor Abwasserreinigung einem starken Wandel unterzogen ist, müssen manche Anlageteile oder

Anlagesysteme ausgewechselt werden, lange bevor dies aufgrund des Zusammenbruches des Werkstoffes wegen Korrosion notwendig wäre. Dieser Umstand bestimmt ebenfalls die Auswahl der Korrosionsschutzmassnahmen.

2.1 Beton

Der augenfälligste Werkstoff in einer ARA ist der Beton, fast ausschliesslich als armierter Beton eingesetzt. Als Armierung dienen sowohl Schlaffarmierung als auch Spannkabel. Die Vorteile des Betons liegen auf der Hand:

- seit Jahrzehnten bekannt
 - in Fachkreisen vertrauter Werkstoff
 - in weiten Grenzen beständiger Werkstoff
 - fast unbegrenzt verformbar
 - technologisch beherrschbarer Werkstoff, wenn die einschlägigen Bauregeln strikte eingehalten werden
- Die Zusammensetzung des Betons wird, abhängig von seiner Beanspruchung, schon im Voraus bestimmt.

2.2 Metallische Werkstoffe

Unter den metallischen Werkstoffen nehmen die Eisenwerkstoffe den grössten Platz ein.

2.2.1 Nichtlegierter Kohlenstoff(C-)Stahl

Wenn vom Baustahl schlechthin die Rede ist, ist damit der normale, nichtlegierte Kohlenstoff-Stahl (C-Stahl) gemeint. Er ist, ebenso wie der Beton, fast universell einsetzbar, wie z. B. in Form von Stangen, Blechen, Profilen, Rohren usw.

Entsprechend dem hohen Energieaufwand bei seiner Gewinnung aus dem Erz, befindet sich dieser Werkstoff, thermodynamisch gesehen, in einem instabilen Zustand:

Seine Umgebung kann in der Lage sein, ihn wieder in den stabilen Zustand des Oxides zurückzuführen. Die Korrosion ist z. B. eine thermodynamische Reaktion. Organische Beschichtungen (z. B. Farben), metallische (z. B. Feuerverzinkung) und nichtmetallische anorganische Überzüge (z. B. Zementüberzüge) können diesen Korrosionsprozess verzögern bzw. verhindern. C-Stahl ist ein wesentlicher Bestandteil von armiertem Beton.

2.2.2 Legierte Stähle

Werden dem C-Stahl hauptsächlich Chrom und Nickel, in geringen Mengen auch Molybdän, Titan, Mangan, Niob, zulegiert, dann sinkt seine Empfindlichkeit gegenüber aggressiven Medien. Es darf allerdings nicht behauptet werden, dass ein hochlegierter Stahl absolut korrosionsfest gegenüber allen aggressiven Medien sei. *Die Korrosionsfestigkeit des hochlegierten Stahls wird von den Medien bestimmt und nicht vom Bauingenieur!*

2.2.3 Nichteisenmetalle

Im Kläranlagenbau werden noch andere, technisch interessante metallische Werkstoffe eingesetzt, so z. B.

- Aluminium (Fassadenelemente, Schaltschränke, Oberlaufkanten) - Zink (Feuerverzinkung)
- Kupfer (Rohrleitungen)
- Bronze (Lagerschalen)
- Messing (Armaturen)
- Titan (Wärmetauscher)

2. 3 Kunststoffe

In den letzten 2 bis 3 Jahrzehnten fand auch der Kunststoff als Werkstoff Anwendung in der Bautechnik von Kläranlagen. Waren am Anfang die Einsatzgebiete des Kunststoffes noch recht bescheiden (Dichtungen, Schlauchverbindungen, Kabel), so ist die Anwendungspalette heute recht beträchtlich, z. B.

- Rohrleitungen
- Armaturen
- Pumpen
- Filter, Filterkerzen
- Folienauskleidungen
- Lagerschalen usw.

Die Entwicklung der Kunststoffe ist bei weitem noch nicht abgeschlossen. Es ist daher in Zukunft mit ihrer raschen Verbreitung (Substitutionswerkstoff) zu rechnen.

3. Verhalten der Werkstoffe in den Medien von Kläranlagen

Die Werkstoffe befinden sich in Kläranlagen im intensiven Kontakt mit den dort vorhandenen Medien.

Das Abwasser weist eine zeitlich und mengenmassig unterschiedliche Zusammensetzung auf.

Die Abwassertemperaturen - ein wesentlicher Faktor, der die Korrosionsgeschwindigkeit bestimmt - ändern sich täglich und/oder jahreszeitlich. Andererseits sind Temperaturänderungen prozessbedingt.

In Kläranlagen herrschen im wesentlichen folgende Einflüsse auf die Werkstoffe vor:

- Abwasser-Aggressivität
- hohe relative Luftfeuchtigkeit
- Gase
- Bewitterung (Sonne, Regen, Schnee, Eis, Hagel)
- UV -Einstrahlung
- mechanischer Abrieb
- Kavitation, Erosion
- Reinigung der Anlagenteile

3. 1 Gefährdung des Betons

Beton wird hauptsächlich durch die chemisch aggressiven wässrigen Medien, Gase sowie mechanischen Abrieb (evtl. verursacht durch den Prozess oder die Reinigung) beansprucht.

Durch den intensiven Siedlungsbau bedingt und wegen des ständig höher werdenden Verbrauchs von Chemikalien in Haushalt und Industrie steigt die Aggressivität im Abwasser schneller an, als die qualitative Verbesserung des Betons möglich ist. Zudem schafft das Vorhandensein von Schwefelwasserstoff (H₂S) Probleme. Sauren greifen das Bindemittel des Betons an. Dadurch werden die Zuschlagstoffe freigelegt. Zudem korrodiert die Armierung.

Ursprünglich glatte Betonflächen werden rau und ergeben strömungstechnische Verluste. Korrodierte Armierung setzt die Festigkeit des Bauwerkes herab.

3.2 Gefährdung der metallischen Werkstoffe 3.

2. 1 Nicht legierter C-Stahl

In Anwesenheit von Wasser (flüssig oder dampfförmig) und Sauerstoff bildet der ungeschützte C-Stahl zunächst Eisenhydroxid. Dieses wird noch weiter umgewandelt zum komplexen Korrosionsprodukt «Rost», was zunächst jedoch ohne Bedeutung ist. Allein die Bildung von Eisenhydroxid ist mit der Korrosion des Stahls gleichzusetzen.

In stark sauren Medien (pH ~ 4) bilden sich mehr oder weniger gut lösliche Eisensalze unter Wasserstoffabspaltung, was wiederum mit einer Korrosion gleichzusetzen ist.

In chlorid- und sulfatfreien Wässern mit pH-Werten zwischen 8,3 und 13 ist der C-Stahl weitgehend korrosionsbeständig, da er Passivschichten bildet. Alkalischer Beton bildet auf C-Stahl ebenfalls Passivschichten.

C-Stahl unterliegt ausserordentlich stark der Korrosion durch Makroelementbildung. Darunter versteht man z. B. die unterschiedliche Belüftung der Stahlflächen in Medien. Aerobe Bereiche (belüftete Stellen) sind die Kathoden, anaerobe Bereiche sind die Anoden, wo die Korrosion abläuft.

C-Stahl, der einerseits mit der Betonarmierung elektrisch leitend verbunden ist und andererseits sich im Erdboden oder Wasser befindet, ist ebenfalls der Makroelementbildung unterworfen. Die einbetonierten Flächen, gemeinsam mit der Betonarmierung, stellen den kathodischen Bereich dar, die übrigen sind die anodischen Flächen, an denen die Korrosion stattfindet.

Der Temperatureinfluss muss so verstanden werden, dass eine Erhöhung der Temperatur von zirka 10 °C die Geschwindigkeit der chemischen Reaktion etwa verdoppelt.

3. 2. 2 Hochlegierte Stähle

Hochlegierte Stähle sind nur deshalb korrosionsresistenter, weil der Chromanteil mit dem Luftsauerstoff eine ausserordentlich widerstandsfähige Deckschicht bildet. Sie ist jedoch enorm dünn und beträgt nur etwa 0,3 µm. Sie wird als Passivschicht bezeichnet. Ihr elektrisches Potential in wässrigen Medien beträgt etwa -100 mV (Cu/CuSO₄). C-Stahl hat unter gleichen Bedingungen ein solches von etwa -500 mV.

Chloride sind jedoch in der Lage, die Passivschicht des hochlegierten Stahles lokal, auf extrem kleiner Fläche, zu zerstören. Diese Störstellen sind Anoden. Dabei entstehen Kathoden-/ Anodenflächenverhältnisse von einigen Zehnerpotenzen. Um diese Werte ist die anodische Stromdichte grösser als die kathodische. Das Resultat ist Lochkorrosion, und dies ohne namhafte Signalwirkung! Auch ausreichende Sauerstoffzufuhr im chloridhaltigen Medium flickt die durchlöchernde Passivschicht nicht mehr! Dadurch wird die mechanische Festigkeit reduziert. Noch schneller läuft der Korrosionsvorgang bei höherer Temperatur und unter Einwirkung mechanischer Zugspannungen ab (Spannungsrissskorrosion).

Da die Bildung der Passivschicht nur durch den ungehinderten Zutritt von Sauerstoff möglich ist, versteht sich, dass bei partieller Abdeckung der benetzten Oberfläche, z. B. durch Krusten, Schlamm, Ablagerungen, Folien, die Passivschicht nicht überall ausgebildet wird. Während sich Bereiche mit guter Passivschicht kathodisch verhalten, zeigen Stellen ohne diese Schicht anodisches Verhalten und korrodieren, wobei die farbliche Signalwirkung ebenfalls ausbleibt.

3. 2. 3 Nichteisenmetalle

Aluminium

Aluminium ist ein ausgesprochener Deckschichtenbildner. Es ist im allgemeinen wegen seiner Oxidschicht korrosionsresistent. Wird die Oxidschicht lokal gestört, liegt ein ähnliches Korrosionsverhalten wie beim hochlegierten Stahl vor.

Zink

Zink ist ein recht unbeständiger, leicht korrodierender Werkstoff, jedoch mit der ausgezeichneten Eigenschaft, unter Einhaltung bestimmter Bedingungen ein Deckschichtenbildner zu sein. So kann ein feuerverzinkter Stahl in ländlicher oder städtischer Atmosphäre sehr gut korrosionsgeschützt sein, ohne dass sich die Zinkschicht rasch abbaut. Die Deckschicht besteht aus basischem Zinkkarbonat. Werden bestimmte Bedingungen über Lagerung nicht eingehalten (z. B. mangelnde Belüftung), entsteht an Stelle des basischen Zinkkarbonates Weissrost. Dabei wird die Zinkschicht rasch abgebaut.

Kupfer

Kupfer ist als edler, korrosionsbeständiger Werkstoff bekannt. Obwohl es sehr edel ist, entsteht unter Luftsauerstoff eine extrem dünne Kupferoxidschicht (Patina). Über allfällige Korrosionsvorgänge bestehen heute allerdings nur ungenaue Vorstellungen. Ähnlich verhält es sich mit Bronze und Messing. Beim letzteren führen chloridhaltige Wasser zur «Entzinkung» des Messings, d. h., aus der Kupfer-Zink-Legierung wird die Zinkkomponente chemisch herausgelöst.

3. 3 Kunststoffe

Auch Kunststoffe unterliegen einem Abbau. Bekannt ist heute, dass sie besser anorganischen wässrigen Medien widerstehen als organischen Lösemitteln.

UV-Einstrahlung kann solche Werkstoffe zerstören.

Der Temperatureinfluss ist bedeutend: hohe Temperaturen beeinträchtigen die mechanischen Eigenschaften, tiefe Temperaturen führen zum Verspröden. Dabei liegt der angeführte Temperaturbereich etwa zwischen -30°C und $+100^{\circ}\text{C}$.

4. Gegenseitige korrosive Beeinflussung der Werkstoffe

Als bekannt kann vorausgesetzt werden, dass verschiedene edle Metalle, die sich im gleichen Elektrolyten befinden und elektrisch leitend miteinander verbunden sind, ein Korrosionselement bilden können. Dies ist bei der Materialauswahl zu berücksichtigen.

Umgekehrt kann ein und derselbe C-Stahl, in einem inho-

mogenen Elektrolyten (etwa Beton-Erdboden) eingebettet, ebenfalls zum Korrosionselement führen, wobei der Armierungsstahl im Beton die Kathode, die Stahlstruktur, die sich im Erdboden befindet und mit der Armierung verbunden ist, die Anode bildet.

Anscheinend kann auch ein Kunststoff, etwa eine Dichtung, zum Korrosionsverursacher werden, wenn sie und das Metall einen engen Spalt bilden, der von einem wässrigen Medium umgeben ist. Man spricht dann von Spaltkorrosion.

Allen diesen Korrosionsmechanismen ist eines gemeinsam: es muss ein wässriges Medium vorhanden sein, das als Elektrolyt (= wässriger Stoff, der Strom in Form von Ionen transportiert) bezeichnet wird.

5. Ursache der Korrosionsschäden in Kläranlagen

Korrosionsschäden haben im allgemeinen einen oder mehrere „Verursachen“. Aus der Reihe:

- Planer
 - Korrosionsschutzberater
 - Werkstoffhersteller (Beton, Metall, Kunststoff)
 - Verarbeiter
 - Montagefirma
 - Betreiber
 - Aussenstehender
 - Höhere Gewalt
- ist er (sind sie) zu eruieren. Mängel lassen sich in 3 Klassen einteilen, nämlich:
- konstruktive Mängel
 - Verarbeitungsmangel
 - Betreiber-mängel

Je nach Zuordnung eines Mangels ist auch die Verantwortung zu delegieren: Um diese Zuordnung abzuklären, sind vom Korrosions- und Oberflächenschutzspezialisten am Schadensort Untersuchungen durchzuführen. Nach Abklärung der Ursachen für einen Mangel ist es wichtig, diese Erkenntnisse in die Planung neuer Anlagen einfließen zu lassen, um weitere Schaden zu verhindern.

6. Massnahmen

Korrosionsschäden stören den Betriebsablauf und ziehen daher Kosten nach sich. Um diese zu minimalisieren, sind die Korrosionsursachen und -schäden sofort zu untersuchen und allfällige Sanierungsmassnahmen zu planen und durchzuführen.

Während die Sanierungsmassnahmen renommierten Unternehmen vorbehalten sind, ist es ratsam, die Untersuchung von Schäden einerseits sowie die Überwachung der Sanierungsarbeiten andererseits einem unabhängigen Unternehmen zu übertragen.

Adresse des Verfassers:

I. Wulff, Dipl. Ing. ETH/SIA/ ASIC

Mitglied des CEOCOR

SCE Surface-Protection Consult Engineering,

Speerstr. 24

8634 Hombrechtikon