

WASSER



ABFALL

REGELWERK

■ **ARBEITSBEHELFE**

des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)

ÖWAV-Arbeitsbehelf 39

Korrosion im Wasser- und Abwasserfach

Wien 2010

Dieser Arbeitsbehelf ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher
Gemeinschaftsarbeit.

Dieser Arbeitsbehelf ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für eine fachgerechte Lösung. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall. Eine etwaige Haftung der Urheber ist ausgeschlossen.

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Hersteller: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien

Es wird darauf hingewiesen, dass sämtliche Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Autoren oder des Verlages ausgeschlossen ist.

Dieses Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung, und Übersetzung werden ausdrücklich vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Redaktion, Satz und Layout: Mag. Fritz Randl (ÖWAV)

© 2010 by Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

Vorwort

Korrosionsfragen nehmen im Wasser- und Abwasserfach einen bedeutenden Platz ein. Kenntnisse bezüglich Ursachen, Auswirkungen und Abhilfe sind sowohl für die Planung als auch für den Betrieb und die Langlebigkeit aller Anlagen und Netze von wesentlicher Bedeutung. Der ÖWAV hat sich deshalb entschlossen, sich diesem umfangreichen Fragenkomplex in Form der Herausgabe eines Arbeitsbehelfs zu widmen.

Hauptzweck dieses Arbeitsbehelfs soll es sein, praxisgerechte Unterlagen bereitzustellen, in denen Fragen der Korrosion aus allen vorgesehenen Bereichen behandelt werden.

Grundsätzlich ist dazu festzustellen, dass jeder Werkstoff Korrosion und damit einem Schädigungsprozess unterliegen kann. Allein die chemisch-physikalischen Rahmenbedingungen des im Einsatz befindlichen Werkstoffs bestimmen die Beständigkeit für die jeweilige Anwendung. Die Auswahl des Werkstoffs hat daher so zu erfolgen, dass für die vorgesehene Lebensdauer keine Beeinträchtigung der Funktion zu erwarten ist.

Als Zielgruppen dieses Arbeitsbehelfs sind nicht nur Planer und Projektanten anzusprechen, auch die Betreiber sollen berücksichtigt werden. Sowohl kommunale Betreiber als auch Betreiber im privaten Bereich sollen aus diesen Arbeitsunterlagen Nutzen ziehen können.

Im Rahmen dieses Arbeitsbehelfs werden einerseits die verschiedenen Wasserarten (Grund-, Quell- und Oberflächenwässer, Abwässer) als auch die entsprechenden Wasserverwendungen (z. B. Badewasser, Trinkwasser u. dgl.) angesprochen. Dabei soll nicht nur auf die Korrosion metallischer Werkstoffe, sondern auch auf die entsprechenden Probleme bei zementgebundenen und keramischen Werkstoffen sowie auf Kunststoffe eingegangen werden. Weiters sollen die umfangreichen Probleme von Anstrichen, Schutzüberzügen, Dichtungsmaterialien u. dgl. diskutiert werden – speziell bei Abwasserreinigungs-, Wasseraufbereitungs- und Badewasseraufbereitungsanlagen werden oftmals stark korrosive Chemikalien verwendet, die Bedeutung für Korrosionsvorgänge haben und auf die deshalb ebenfalls Rücksicht genommen werden muss.

Nicht thematisiert werden in diesem Arbeitsbehelf die Behandlung von Prozesswässern in Industrie und Gewerbe wie auch Kühlwasserkreisläufe und Korrosionsprobleme bei Wässern im Kesselbetrieb.

Der Inhalt dieses Arbeitsbehelfs schränkt jedoch keinesfalls die in den jeweiligen Produktnormen festgelegten Anwendungsbedingungen ein.

ÖSTERREICHISCHER
WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND

Wien, im November 2010

An der Erstellung des ÖWAV-Arbeitsbehelfs 39 haben mitgewirkt:

Als Leiter:

wHR Prof. Dr. Ferdinand SCHÖLLER, Wien

Ausschussmitglieder:

DI Dr. Bernhard BRANTNER, Zivilingenieurbüro für Technische Chemie DI Dr. Bernhard Brantner, Wien

Ing. Christian BRUCKNER, PIPELIFE Austria Gmb. & Co KG, Wiener Neudorf

BR h.c. DI Dr. Werner FLÖGL, ZT Büro Dr. Flögl , Linz

Ing. Christian HOLLENSTEINER, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, St. Pölten

RR Ing. Karl KALTNER, Puch/Salzburg

Univ.-Prof. DI Dr. Paul LINHARDT, Technische Universität Wien

DI Dr. Dietmar MOSER, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, St. Pölten

Mag. Elisabeth NOVAK, Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und und Technik, Wien

OR Dr. Franz OLLRAM, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, St. Pölten

Dr. Gerd REICHEL, Linz Service GmbH für Infrastruktur und Kommunale Dienste, Linz-Asten

DI Karl ROHRHOFER, Rohrhofer ZT-GmbH, Wien

Ing. Peter SATTLER, Austrian Research Centers GmbH - ARC, Seibersdorf

DI Horst SENEKOWITSCH, Zivilingenieurbüro für Bauwesen DI Horst Senekowitsch, Graz

wHR DI Gerhard SPATZIERER, Amt der Burgenländischen Landesregierung, Eisenstadt

wHR Dir. Dr. Milenko STOJAKOVIC, Bundesministerium für soziale Sicherheit und Generationen, Linz

DI Dr. Johannes STRIEDNER, Lebensmitteluntersuchungsanstalt LUA Kärnten, Klagenfurt

Ing. Gerhard VLCEK, Pörner Ingenieurgesellschaft mbH, Wien

Erich WEISSENSTEINER, LINDE Gas GmbH, Graz

Univ.-Prof. DI Dr. Werner WRUSS, ESW Consulting WRUSS ZT GmbH, Wien

Dr. Franziska ZIBUSCHKA, Universität für Bodenkultur Wien

für den ÖWAV:

Andreas GAUL, Referent für den Fachbereich Wasserwirtschaft im ÖWAV, Wien

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	7
1.1	Definition des Begriffes Korrosion	7
1.2	Darstellung der Gliederung.....	7
1.3	Allgemeine Begriffe.....	8
1.4	Gefährdungsbereiche hinsichtlich Korrosion	8
1.4.1	Erdboden und Grundwasser.....	8
1.4.2	Abwasser	10
1.4.3	Aggressive Atmosphären.....	10
2	Metallische Werkstoffe	11
2.1	Werkstoffe.....	11
2.1.1	Stahl	11
2.1.2	Gusseisen.....	11
2.1.3	Duktiles Gusseisen.....	11
2.1.4	Weitere metallische Werkstoffe	11
2.2	Metallische Werkstoffe im Wasserfach – Liste relevanter Normen	11
2.3	Grundlagen und Mechanismen der Korrosion metallischer Werkstoffe	12
2.4	Korrosionsverhalten metallischer Werkstoffe.....	13
2.4.1	Unlegierte und niedrig legierte Eisenwerkstoffe, Gusseisen	14
2.4.2	Verzinkte Eisenwerkstoffe.....	15
2.4.3	Nichtrostende Stähle	16
2.4.4	Kupfer- und Kupferlegierungen.....	17
2.4.5	Bleiwerkstoffe	19
2.4.6	Aluminium.....	19
2.5	Korrosionsschutz	20
2.5.1	Werkstoffauswahl, Konstruktion und Verarbeitung.....	20
2.5.2	Betriebsweise	21
2.5.3	Chemische Beeinflussung des Mediums.....	22
2.5.4	Überzüge, Beschichtungen, Auskleidungen, Umhüllungen.....	23
2.5.5	Elektrochemischer Korrosionsschutz.....	25
2.5.6	Zusammenstellung ausgewählter Regelwerke zum Korrosionsschutz.....	26
2.6	Wasseranalytische Parameter	27
2.7	Begriffe und Definitionen	31
2.7.1	Begriffe der elektrochemischen Korrosion.....	31
2.7.2	Korrosionsarten	34
2.7.3	Korrosionserscheinungen	36
2.7.4	Korrosionsprodukte.....	36
2.7.5	Reaktionsschichten	37
2.7.6	Oberflächenbehandlung – Korrosionsschutz.....	37

3	Organische Werkstoffe	39
3.1	Allgemeines zu Kunststoffen	39
3.1.1	Thermoplaste.....	39
3.1.2	Elastomere	40
3.1.3	Duromere.....	41
3.1.4	Kunststoff im Wasserfach – Liste relevanter Normen	41
3.1.5	Kurzzeichen für Kunststoffe	43
3.2	Korrosion von Kunststoffen.....	44
3.2.1	Allgemeines	44
3.2.2	Spannungsrisskorrosion	48
3.2.3	Korrosion und Zeitstandfestigkeit von Kunststoffen	48
3.2.4	Korrosionsbeständigkeit einzelner Kunststoffe in wässrigen Medien	49
4	Mineralische Werkstoffe	52
4.1	Zementgebundene Werkstoffe.....	52
4.1.1	Einleitung.....	52
4.1.2	Zement	52
4.1.3	Beton	54
4.1.4	Chemische Beanspruchung	56
4.1.5	Hinweis zur Vermeidung von Bewehrungskorrosion.....	61
4.1.6	Mörtel	61
4.1.7	Zementmörtelauskleidungen	61
4.1.8	Faserzement.....	62
5	Spezielle Anwendungsbereiche	63
5.1	Abwasser.....	63
5.1.1	Werkstoffe.....	63
5.1.2	Möglichkeiten des Korrosionsschutzes von gefährdeten Bauteilen.....	71
5.1.3	Hinweise für Planung und Betrieb	76
5.2	Bäder	80
5.2.1	Einleitung.....	80
5.2.2	Gesetzliche und normative Vorgaben:.....	81
5.2.3	Korrosionsrelevante Stoffe.....	81
5.2.4	Werkstoffe.....	84
5.2.5	Zementgebundene Werkstoffe.....	88
5.2.6	Kunststoffe	88
5.2.7	Keramische Werkstoffe	89
5.3	Hygienische Auswirkungen von Korrosion in der Wasserversorgung.....	89
6	Literatur	92
6.1	Regelwerk.....	92
6.2	Normen.....	93
6.3	Sonstige Literatur	102
	ÖWAV-Regelwerk	103

1 Allgemeines

1.1 Definition des Begriffes Korrosion

Obwohl „Korrosion“ praktisch jedermann bekannt ist, erscheint eine exakte Definition dieses Begriffes durchaus sinnvoll. Gerade im Falle vermuteter oder tatsächlicher Schäden ist die klare Abgrenzung gegenüber anderen Schädigungsursachen wesentlich und kann bis in den juristischen Bereich von Bedeutung sein.

Das Regelwerk definiert Korrosion derzeit vornehmlich im Hinblick auf metallische Werkstoffe:

ÖNORM EN ISO 8044

Physikochemische Wechselwirkung zwischen einem Metall und seiner Umgebung, die zu einer Veränderung der Eigenschaften des Metalls führt und die zu erheblichen Beeinträchtigungen der Funktion des Metalls, der Umgebung oder des technischen Systems, von dem diese einen Teil bilden, führen kann.

Anmerkung: Die Wechselwirkung ist oft elektrochemischer Natur.

Ganz ähnlich ist es in der Vorgängernorm, der mittlerweile zurückgezogenen DIN 50900, Teil 1 formuliert, in der aber auch auf die Anwendbarkeit der Definition auf nichtmetallische Werkstoffe hingewiesen wird.

Eine überaus klare Definition, die aber von der Natur des Werkstoffes unabhängig ist, wurde von Schwenk gegeben:

W. Schwenk (in: D. Kuron, Wasserstoff und Korrosion, Verlag Irene Kuron, Bonn, 2000):

Korrosion sind alle Vorgänge zwischen chemischen Komponenten des Werkstoffs und des Mediums, die mit einem Stofftransport durch die Phasengrenzfläche zwischen den genannten Partnern verbunden sind und zu Werkstoffschäden führen können.

Bei diesen Vorgängen kann es sich um physikalische Vorgänge, chemische oder elektrochemische Reaktionen oder aber um metallphysikalische Vorgänge handeln. Die Reaktionen führen zu einer messbaren Veränderung im System, welche als Korrosionserscheinung bezeichnet wird.

Die Korrosionserscheinung kann einen Schaden darstellen. Dies ist vom Ausmaß der Korrosionserscheinung und von den praktischen Anforderungen abhängig. Ort der Korrosionserscheinung sind häufig die Werkstoffoberfläche oder Stellen im Medium (äußere Korrosion); er kann aber auch im Werkstoffinneren liegen (innere Korrosion).

Wesentlich in diesem Zusammenhang ist, dass Korrosion in allen Definitionen nicht unmittelbar als Schädigung angesehen wird. Die Korrosionserscheinungen müssen in der bestimmten Anwendung ein nicht mehr tolerierbares Ausmaß erreichen, damit von einem Schaden gesprochen werden kann.

So ist das bloße, korrosionsbedingte Anlaufen dekorativer Oberflächen, d. h. die Beeinträchtigung des gewünschten dekorativen Erscheinungsbildes, bereits ein Korrosionsschaden. Andererseits sind deutliche Korrosionsvorgänge im Inneren eines Trinkwasserrohres oft völlig normal und tolerierbar, solange sie die Lebensdauer des Rohres nicht beeinträchtigen.

1.2 Darstellung der Gliederung

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff der Korrosion zumeist nur auf metallische Werkstoffe angewandt.

Zunehmend setzt sich jedoch die Ansicht durch, dass dieser Begriff im Sinne der oben gegebenen Definition auch auf nichtmetallische Werkstoffe, also auf Kunststoffe und auf mineralische Werkstoffe angewandt werden kann. Von Bedeutung ist die Wechselwirkung mit dem

umgebenden Medium, die zu spezifischen Auswirkungen führt. Dieser Punkt unterscheidet Korrosion von dem Begriff der Alterung. Alterung beschränkt sich somit auf jene Werkstoffveränderungen, die ohne Stofftransport über die Phasengrenzfläche ablaufen. Alterungsprozesse werden demgemäß zumeist durch Temperatur oder Strahlung bestimmt.

Der vorliegende Arbeitsbehelf folgt dieser neueren Entwicklung. Wegen der großen Unterschiede der zugrunde liegenden physikalisch-chemischen Mechanismen werden die Werkstoffgruppen getrennt dargestellt.

1.3 Allgemeine Begriffe

siehe dazu auch: ÖNORM EN ISO 8044

Korrodiere

Reagieren von Werkstoff und Korrosionsmedium.

Korrosion

siehe Kapitel 1.1

Korrosionsgrößen

Kenndaten, die das Ausmaß einer Korrosion oder deren Zeitabhängigkeit beschreiben.

Korrosionskunde

Lehre von der Korrosion und vom Korrosionsschutz.

Korrosionsmedium

Umgebung, die Inhaltsstoffe enthält, die bei der Korrosion mit dem Werkstoff reagieren.

Korrosionsschaden

Beeinträchtigung der Funktion eines Bauteils oder eines ganzen Systems durch Korrosion.

Korrosionsschutz

Maßnahmen mit dem Ziel, Korrosionsschäden zu vermeiden:

- a) durch Beeinflussung der Eigenschaften des korrosiven Mediums und/oder durch Änderung der Reaktionsbedingungen
- b) durch Trennung des Werkstoffs vom korrosiven Mittel durch aufgebraute Schutzschichten.

Korrosionssystem

System, bestehend aus metallischem Werkstoff, Korrosionsmedium und allen zugehörigen Phasen, deren chemische und physikalische Eigenschaften die Korrosion beeinflussen.

Korrosiv (aggressiv)

Eigenschaft eines Korrosionsmediums oder einzelner Bestandteile desselben, bei bestimmten Werkstoffen Korrosion auszulösen oder zu begünstigen.

1.4 Gefährdungsbereiche hinsichtlich Korrosion

1.4.1 Erdboden und Grundwasser

Die Zusammensetzung und damit die möglichen korrosiven Eigenschaften eines Grundwassers stehen in direkter Beziehung zu den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens, mit dem das Grundwasser bzw. das in den Untergrund versickernde Niederschlagswasser in Berührung kommt.

Neben der chemischen Zusammensetzung des Bodens, die im Wesentlichen vom Chemismus der Mineralien abhängt, stellen auch die Korngröße und die Löslichkeit wichtige Einflussfaktoren dar.

Nähere Angaben sind auch in ÖNORM B 5013, Teil 1–3 enthalten.

1.4.1.1 Natürliche Böden

Bei den natürlichen Böden ist die Bindigkeit nicht nur im Zusammenhang mit dem Wassergehalt von Bedeutung, sondern auch im Hinblick auf den Sauerstoffgehalt. So weisen poröse und lockere Böden mit zunehmender Tiefe zumeist einen höheren Sauerstoffgehalt auf als bindige.

Von großer Bedeutung ist Sauerstoff bei Angriffen auf metallische Werkstoffe.

Bei zementgebundenen Werkstoffen spielt er nur insofern eine Rolle, als bestimmte chemische und mikrobiologische Vorgänge sauerstoffabhängig sind und so zur Bildung von korrosiven Stoffen führen können (Sulfatkorrosion).

Als korrosive Grundwasserinhaltsstoffe kommen bei natürlichen Böden nur wenige anorganische Stoffe, in erster Linie Sulfate, Chloride und überschüssige freie Kohlensäure infrage. Daneben spielen auch manche organischen Stoffe (z. B. Huminsäuren) eine Rolle.

Höhere Sulfatkonzentrationen finden sich im Grundwasser von Böden, die stark mit Gips oder Anhydrit durchsetzt sind. Chloride treten vermehrt im Bereich von Salzstöcken oder mit Salzen gestreuten Straßen sowie in Gebieten mit Erdölförderung auf. Die in Grundwässern vorhandene überschüssige freie Kohlensäure, die ungeschützte metallische und zementgebundene Werkstoffe angreift, ist in erster Linie auf die biologischen Umsetzungen der in den oberen Bodenschichten vorhandenen organischen Substanz zurückzuführen. Auch in postvulkanischen Gebieten (z. B. Thermenlinie) liegt meist eine erhöhte Konzentration an Kohlensäure im Untergrund vor. Gelangt die Kohlensäure mit versickerndem Niederschlagswasser in den Untergrund, und ist unter diesen Voraussetzungen kein geeigneter Reaktionspartner vorhanden, so erniedrigt die gelöste, aggressive Kohlensäure den pH-Wert des Bodenwassers. Dabei können pH-Werte bis etwa 4,5 in Tiefen von 1,5 bis 2 m auftreten. Es ist daher notwendig, vor Planungsbeginn entsprechende Aufschlüsse und Bauwasseranalysen durchzuführen.

1.4.1.2 Künstliche Böden

Bei künstlichen Böden, zu denen beispielsweise Aufschüttungen mit Müll, Bauschutt, Industrieschlacken und der beim Bergbau anfallende Abraum gehören, können im Grundwasser Inhaltstoffe vorkommen, die stark Werkstoff angreifend sind (z. B. hohe Sulfatgehalte, tiefe pH-Werte).

Weiters können in solchen Böden auch Stoffe enthalten sein, die zu Korrosionen an metallischen Werkstoffen führen (z. B. Kohlestücke, Recyclingmaterial).

Die Verwendung derartiger Materialien für das Verfüllen von Leitungsräumen, was nur in Ausnahmefällen geschehen sollte, setzt die Einholung eines Fachgutachtens bezüglich der Eignung des Materials voraus. Dieses hat nicht nur die korrosionsmäßigen Aspekte zu beurteilen, sondern muss auch Angaben über eine mögliche Gefährdung des Grundwassers enthalten. Dies ist besonders bei einigen heute angebotenen klassifizierten Recycling-Materialien zu beachten. Im Allgemeinen sollten solche Materialien im Grundwasserbereich nicht eingesetzt werden.

1.4.1.3 Sonstige mögliche Korrosionsursachen an erdverlegten Leitungen

Ein weiteres Gefährdungspotenzial für Außenkorrosion an metallischen Werkstoffen können elektrische Ströme durch das Erdreich darstellen. Solche Ströme können beispielsweise durch gleichstrombetriebene Schienenfahrzeuge (Straßenbahnen) oder als Streuströme kathodisch geschützter Fremdleitungen entstehen. Aber auch durch Wechselströme, aus Bahnbetrieb bzw. durch Induktion aus Hochspannungsleitungen eingebracht, kann Korrosion verursacht werden.

Eine erhöhte Korrosionsbelastung für metallische Bauteile im Erdreich kann auch aus einer metallischen Kopplung mit Bewehrungsstahl resultieren, wenn eine elektrolytische Verbindung zwischen der metallischen Oberfläche und dem Beton besteht.

1.4.2 Abwasser

Die Gehalte der Abwässer an anorganischen Stoffen ergeben sich im Allgemeinen aus der Zusammensetzung des eingeleiteten Trink- oder Brauchwassers. Je nach Nutzung des Wassers – vor allem im gewerblichen und industriellen Bereich – können Abwässer auch verschiedene andere, anorganische Werkstoffe angreifende Stoffe enthalten.

Nach den geltenden Abwasseremissionsverordnungen dürfen mit den Abwässern keine Stoffe abgeleitet werden, die den Bestand der Abwasseranlagen beeinträchtigen können. Die diesbezüglichen Grenzwerte sind den einzelnen Abwasseremissionsverordnungen zu entnehmen. Aber auch bei Einhaltung der Grenzwerte der Abwasseremissionsverordnungen kann es durch die im Kanal und auf der Kläranlage stattfindenden Prozesse zur Ausbildung aggressiver Atmosphären kommen.

Bei Regenwässern ist darauf zu achten, ob mögliche aggressive Inhaltstoffe enthalten sind, die zu einem korrosiven Verhalten führen können. Dabei ist besonders auf die Pufferkapazität Rücksicht zu nehmen. Dieses Problem tritt zumeist nur bei Regenwasserkanalisationen auf.

Im Zusammenhang mit der geltenden IEV (Indirekteinleitungsverordnung) ist der Betreiber der Abwasseranlagen für Folgeschäden verantwortlich, die aus nicht vertragsgemäßer Einleitung von Abwasser aus gewerblichen oder industriellen Betrieben stammen und zu Korrosionsschäden führen.

Sollte die Gefahr der Einleitung von solchen Abwässern nicht ausgeschlossen werden können, ist darauf zu achten, dass auf die Inhaltstoffe abgestimmtes korrosionsbeständiges Material verwendet wird.

1.4.3 Aggressive Atmosphären

In der Atmosphäre geschlossener Abwasseranlagen (z. B. in Kanälen) tritt hohe Feuchtigkeit auf, dies führt in Abhängigkeit von der Temperatur zu starker Kondenswasserbildung.

Dadurch kann es bei ungeschützten metallischen, aber auch zementgebundenen Werkstoffen zu Korrosionen kommen. Speziell die mögliche Bildung von Schwefelsäure oberhalb des Wasserspiegels führt zu einem sehr starken Angriffsgrad bei diesen Werkstoffen. Die dabei auftretende biogene Schwefelsäure-Korrosion (BSK) wird vorwiegend durch die biologische Umsetzung von Sulfatschwefel zu Sulfiden unter anaeroben Bedingungen induziert. Auch Sulfide (H_2S , HS^- und S^{2-}), die – soweit es die IEV zulässt – von Gewerbe- und Industriebetrieben eingeleitet werden, können dafür eine Ursache sein.

2 Metallische Werkstoffe

2.1 Werkstoffe

2.1.1 Stahl

- Eisen - Kohlenstofflegierungen mit weniger als 0,5 % C,
- ohne und mit Legierungszusätzen (nichtrostende Stähle),
- Produkte werden geschmiedet bzw. geschweißt,
- hohe mechanische Festigkeiten und Dehnung.

2.1.2 Gusseisen

- Eisen-Kohlenstofflegierung mit 3,5–4,5 % C, 2,0–3,0 % Si, 0,1–0,8 % P,
- 0,1 % Schwefel,
- lamellare Graphitbildung,
- geringere Festigkeitseigenschaften als Stahl oder duktiler Gusseisen bei geringer Dehnung und sprödem Bruchverhalten,
- Produkte werden in Sandformen gegossen.

2.1.3 Duktiler Gusseisen

- Meistverwendeter Gusswerkstoff für Produkte der Wasserver- und Abwasserentsorgung,
- Eisen-Kohlenstofflegierung mit etwa 3,5–4,0 % Kohlenstoff, 2,0–2,6 % Silizium, unter 0,1 % Phosphor, unter 0,1% Schwefel, Spuren von Magnesium,
- gekennzeichnet durch eine globulare Graphitbildung, welche dem Werkstoff stahlähnliche mechanische Eigenschaften hinsichtlich Festigkeit und Dehnung verleiht,
- Rohre werden in Stahlformen geschleudert, Formstücke etc. in Sandformen gegossen.

2.1.4 Weitere metallische Werkstoffe

- Kupfer, Bronze, Messing, Blei, Aluminium und Legierungen.

2.2 Metallische Werkstoffe im Wasserfach – Liste relevanter Normen

Produktnormen für bestimmte Anwendungen berücksichtigen das Anforderungsprofil und damit auch das Korrosionsverhalten in der Praxis, wie es in den folgenden Kapiteln beschrieben ist.

Durch geeignete, im Gesamtprodukt enthaltene Schutzmaßnahmen wie beispielsweise Auskleidungen und Beschichtungen wird eine bestimmungsgemäße Funktion der Bauteile unter Langzeitaspekten sichergestellt.

Produktnormen unterliegen Veränderungen nach dem Stand der Technik bzw. des Wissens. Die angeführten Normen im gesamten Arbeitspapier sind auf den Stand der Drucklegung geprüft.

Alle aktuell und künftig gültigen Normen sind z. B. unter www.gris.at, www.as-institute.at, www.ovgw.at oder www.gwt.at abrufbar.

Stahl

- ÖNORM EN 10224 – Rohre und Fittings aus unlegiertem Stahl für den Transport von Wasser und anderen wässrigen Flüssigkeiten – Technische Lieferbedingungen (konsolidierte Fassung).
- ÖNORM EN 10298 – Stahlrohre und Formstücke für erd- und wassererlegte Rohrleitungen – Zementmörtel-Auskleidung.

- ÖNORM EN 10311 – Verbindungen für Stahlrohre und Fittings für den Transport von Wasser und anderen wässrigen Flüssigkeiten.

Gusseisen

- ÖNORM EN 877 – Rohre und Formstücke aus Gusseisen, deren Verbindungen und Zubehör zur Entwässerung von Gebäuden – Anforderungen, Prüfverfahren und Qualitätssicherung (konsolidierte Fassung).

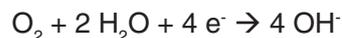
Duktiles Gusseisen

- ÖNORM EN 545 – Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Wasserleitungen – Anforderungen und Prüfverfahren.
- ÖNORM EN 598 – Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für die Abwasser-Entsorgung – Anforderungen und Prüfverfahren.

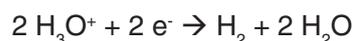
2.3 Grundlagen und Mechanismen der Korrosion metallischer Werkstoffe

Die im Rahmen dieses Arbeitsbehelfs betrachteten Korrosionsvorgänge an metallischen Werkstoffen beziehen sich ausschließlich auf wässrige Medien und sind elektrochemischer Natur. Im Folgenden wird daher dieser grundlegende Mechanismus in aller Kürze beschrieben. Eine sehr umfassende Darstellung der Korrosion metallischer Werkstoffe ist zu finden in: Kunze, E.: Korrosion und Korrosionsschutz, 2001.

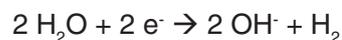
Der elektrochemische Korrosionsmechanismus an einer Metalloberfläche erfolgt immer in zwei mit einander gekoppelten Teilprozessen. Der eine Teilprozess wird als kathodische Reaktion bezeichnet und besteht in der Reaktion eines Oxidationsmittels an der Metalloberfläche. Dabei wird das Oxidationsmittel unter Aufnahme von Elektronen aus dem Metall reduziert. In der überwiegenden Anzahl der Korrosionsvorgänge ist der Sauerstoff der Luft, gelöst im Medium, das Oxidationsmittel. Er reagiert nach folgendem Schema:



In Säuren können die Protonen bzw. Hydronium-Ionen das Oxidationsmittel darstellen, sie werden zu Wasserstoff reduziert:



Aber auch Wasser kann als Oxidationsmittel wirken gemäß:



Der gebildete Wasserstoff kann unter bestimmten Umständen in den Werkstoff eindiffundieren und zu Versprödung führen.

Die bei diesen kathodischen Reaktionen benötigten Elektronen werden bei Korrosion vom Werkstoff durch die sog. anodische Teilreaktion geliefert, bei der Metallatome an der Werkstoffoberfläche zu positiv geladenen Ionen reagieren und in das Medium übergehen:



Der korrosionsbedingte Werkstoffverlust ist also die Folge der anodischen Reaktion.

Die anodische und die kathodische Teilreaktion sind über die Anzahl der Elektronen streng gekoppelt. Die Stellen, wo diese Reaktionen ablaufen, werden demgemäß Anoden bzw. Kathoden genannt. Der Elektronenfluss von der Anode zur Kathode durch das Metall stellt elek-

trischen Strom dar, den sog. Korrosionsstrom. Aber auch im umgebenden Medium erfolgt ein Stromfluss, allerdings bewegen sich dort die Ionen als Ladungsträger. Aus diesem Grund kann Korrosion nur in Ionen leitenden Medien (= Elektrolyten) stattfinden. Wasser mit seinen gelösten Inhaltsstoffen stellt einen Elektrolyten dar. Allerdings kann die für Korrosion notwendige Wasserschicht extrem dünn sein, weshalb atmosphärische Korrosion (Bewitterung) auch ohne sichtbare Feuchtigkeit möglich ist.

Für diese Vorgänge sind die chemischen Eigenschaften der Oxidationsmittel („Oxidationskraft“) und die des metallischen Werkstoffes („edel“/„unedel“) von Bedeutung, sie bestimmen die Reaktionsfreudigkeit der Reaktionspartner, d. h. die Triebkraft der Reaktionen.

Praktisch alle Gebrauchsmetalle sind zumindest gegenüber Luftsauerstoff sehr reaktionsfreudig, Korrosionsreaktionen sind somit unvermeidbar. Für die praktische Verwendbarkeit eines metallischen Werkstoffes ist daher ein anderer, nachgelagerter Vorgang von entscheidender Bedeutung:

Die freigesetzten Metallionen können im wässrigen Medium weiteren Reaktionen unterliegen. Je nach Metall und Wasserinhaltsstoffen können dabei feste Korrosionsprodukte entstehen. Durch Ablagerung an der Werkstoffoberfläche können so im günstigen Fall die sog. Deckschichten oder Passivschichten gebildet werden, welche die korrosionsaktive Metalloberfläche abdecken. Sie verhindern weitere Loslösung von Metallionen und/oder die Reaktion des Oxidationsmittels und führen an unseren Gebrauchsmetallen so letztlich zu technisch akzeptablen Korrosionsraten.

Finden die oben beschriebenen Reaktionen in ständig wechselnden, mikroskopisch kleinen Bereichen der Metalloberfläche statt, so führt dies zu gleichmäßiger Flächenkorrosion – einem relativ seltenen Grund für Schäden. Erst die räumliche Trennung in die zwei genannten Teilprozesse, die nur über die leitfähigen Pfade im Metall und im Elektrolyten verbunden sein müssen, ermöglicht lokalisierte Korrosionsvorgänge, die häufig mit Schäden in Zusammenhang stehen: Muldenkorrosion, Lochkorrosion, selektive Korrosionsarten, bis hin zu Spannungs- und Schwingungsrisskorrosion.

Alle Formen der Lokalkorrosion sind darauf zurückzuführen, dass Anoden und Kathoden räumlich voneinander getrennt sind. Diese Trennung kann sehr weiträumig und sogar bauteilübergreifend sein wie bei der Kontaktkorrosion, wo die unterschiedlichen Reaktivitäten verschiedener Metalle den Grund für die Trennung bilden. In anderen Fällen können Inhomogenitäten im Werkstoff selbst (Gefüge) dafür verantwortlich sein oder chemische Inhomogenitäten im umgebenden Medium (z. B. pH-Gradienten an der Werkstoffoberfläche). Für Lochkorrosion sind besondere Stoffe im Medium verantwortlich, die an Schwachstellen der Deck- bzw. Passivschichten angreifen, diese auflösen und so dort örtliche Anoden schaffen. Bei vielen Metallen führen Nebenreaktionen an Anoden und Kathoden zu einer Stabilisierung der örtlichen Trennung. Diese Nebenreaktionen führen einerseits zur Absenkung des pH-Wertes (Versauerung) in Anodenbereichen, was die Passivschichtbildung dort unmöglich macht, und andererseits gleichzeitig zur Alkalisierung der Kathoden, was dort den passiven Zustand weiter begünstigt.

Die elektrochemischen Begriffe und kurze Erläuterungen sind in *Kapitel 2.5.1* bzw. in der ÖNORM EN ISO 8044 und der DIN 50900, Teil 2 zu finden.

2.4 Korrosionsverhalten metallischer Werkstoffe

Im Folgenden wird das Korrosionsverhalten der wichtigsten Gebrauchsmetalle mit besonderer Berücksichtigung von Wässern als Korrosionsmedien kurz zusammengefasst. Grundlage bilden im Wesentlichen die Angaben aus Regelwerken, deren Gültigkeitsbereich sich vornehmlich auf Trinkwasser und Wässer, die in ihrer chemischen Zusammensetzung Trinkwasser ähnlich sind, beziehen:

Die ÖNORM EN 12502 (Teil 1–5) stellt die Nachfolgenorm der mittlerweile zurückgezogenen Teile 1–5 der DIN 50930 dar.

Die Teile 1 dieser Dokumente enthalten allgemeine Begriffsdefinitionen und generelle Angaben zu korrosionsbestimmenden Einflussgrößen Wasser führender Systeme.

Der derzeit gültige Teil 6 der DIN 50930 hat in der ÖNORM EN 12502 keine Entsprechung, er behandelt die Beeinflussung der Trinkwasserqualität durch Korrosionsvorgänge. Eine konkrete Prüfnorm zu dieser Problematik stellt die DIN 50931 dar.

Die Teile 2–5 beschreiben für verschiedene Werkstoffklassen die Rahmenbedingungen, unter denen erfahrungsgemäß die verschiedenen Arten von Korrosion auftreten können. Behandelt werden un- und niedrig legierter Stahl, feuerverzinkter Stahl, nichtrostender Stahl sowie Kupferwerkstoffe. Neben den Werkstoffeigenschaften und der chemischen Zusammensetzung des Wassers werden Einflussgrößen wie Planung, Verarbeitungstechnik und Betriebsbedingungen berücksichtigt. Sie stellen eine wertvolle Hilfe für die Abschätzung von Korrosionswahrscheinlichkeiten und bei der Beurteilung von Schadensfällen dar.

2.4.1 Unlegierte und niedrig legierte Eisenwerkstoffe, Gusseisen

Regelwerke: ÖNORM EN 12502, Teil 5

Diese Werkstoffe werden heute in wässrigen Systemen ohne weitere Korrosionsschutzmaßnahmen (Sauerstoff- und pH-Regulierung, Beschichtung, kathodischer Korrosionsschutz) meist nicht eingesetzt, im Besonderen gilt dies für Trinkwasserinstallationen, wo derartige Materialien keine Anwendung finden. Diese Werkstoffe unterliegen bei Kontakt mit wässrigen Medien immer Korrosion, für die praktische Anwendung sind die zu erwartende Angriffsart und die Geschwindigkeit von Bedeutung. Wesentlich für die praktische Anwendung ist die vollflächige Ausbildung von schützenden Deckschichten aus Korrosionsprodukten. Bei nur sehr geringem Sauerstoffangebot ist die Korrosionsgeschwindigkeit allgemein sehr gering.

Gleichmäßiger Flächenabtrag

Diese Korrosionsart ist nur bei zu hoher Korrosionsrate kritisch, wenn die Bedingungen für eine dichte Deckschichtbildung nicht gegeben sind.

Mulden- und Lochkorrosion

Diese lokalisierten Korrosionsarten stehen mit einer nicht vollflächigen Deckschichtbildung in Zusammenhang und werden durch inhomogene chemische Zustände an der Werkstoffoberfläche gefördert. Neben ungünstiger chemischer Wasserbeschaffenheit können stagnierende Bedingungen, Ablagerungen, Gasblasen bzw. 3-Phasengrenzen zu Luft, Spaltgeometrien oder mikrobielle Vorgänge Lokalkorrosion begünstigen.

Kontaktkorrosion (Bimetallkorrosion)

Diese Korrosionsart wird durch den metallischen Kontakt mit Bauteilen aus elektrochemisch edleren Werkstoffen (z. B. Kupferwerkstoffe oder nichtrostende Stähle) verursacht. Eine Sonderform stellt die kupferinduzierte Korrosion dar. Sie wird durch Kupferionen im Wasser verursacht, die ihrerseits durch Korrosion von Kupferwerkstoffen gebildet werden. Sie führt zu ausgeprägter Lokalkorrosion.

Selektive Korrosion

An Schweißnähten kann in salzreichen Wässern selektive Auflösung von Schweißgut oder Bereichen der Wärmeeinflusszone auftreten.

Spongiose

Diese Art der selektiven Korrosion ist spezifisch für Gusseisen mit lamellarem Grafit (Grauguss).

Schwingungsrisskorrosion

Zeitlich wechselnde, mechanische Belastung führt zu Werkstoffermüdung, die unter Einwirkung eines korrosiven Mediums beschleunigt werden kann, wobei es keinen Grenzwert der Belastungshöhe, d. h. keine Dauerfestigkeit gibt. Es entstehen transkristalline Risse, die meist auskorrodiert sind. Eine Sonderform sind dehnungsinduzierte Risse. Sie entstehen bei Dehnraten in einem kritischen Bereich durch Aufbrechen der schützenden Deckschicht.

Spannungsrisskorrosion

In Wässern beschränkt sich diese Versagensform auf hochfeste Stähle mit über 1.100 N/mm² Zugfestigkeit und/oder Aufhärtungen über 400 HV. Neben Zugspannungen muss auch eine spezifische spannungsrisskorrosionsauslösende chemische Komponente im Medium vorliegen.

2.4.2 Verzinkte Eisenwerkstoffe

Regelwerke: ÖNORM EN 12502, Teil 3

An diesem Werkstoffsystem findet immer merkliche Korrosion statt. Sie führt im günstigen Fall zur Bildung von Deckschichten aus den Korrosionsprodukten des Zinks und Wasserinhaltsstoffen. Die Fertigungsqualität der Verzinkung hat Einfluss auf das Korrosionsverhalten. Dementsprechend gibt es normative Anforderungen an Zinküberzüge (ÖNORM EN 10240).

Gleichmäßige Flächenkorrosion

Bei langer Lebensdauer bzw. erhöhten Korrosionsraten werden durch Angriff auf die Fe/Zn-Legierungsphasen bzw. den Stahl auch Korrosionsprodukte des Eisens in diese Deckschichten eingebaut. Unter ungünstigen Bedingungen kann in der Folge unter Rostschichten lokalisierte Korrosion ausgebildet werden. Die Korrosionsgeschwindigkeit nimmt mit abnehmendem pH-Wert des Wassers zu, der pH-Wert kann durch Zudosieren alkalisierender Stoffe oder durch alkalisierende Filter angehoben werden. Weitere Wasserinhaltsstoffe, natürlich vorkommend oder zudosiert, können die Schutzschichtbildung begünstigen. Unter stagnierenden Bedingungen ist die Geschwindigkeit gleichmäßiger Flächenkorrosion verringert, jedoch steigt die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung lokalisierter Korrosion.

In geschlossenen Kreisläufen ohne Luftzutritt sinkt der Sauerstoffgehalt infolge Korrosion und der pH steigt, die Korrosionswahrscheinlichkeit ist dann sehr gering.

Mulden- und Lochkorrosion

Diese lokalisierten Korrosionsarten sind die häufigste Ursache für Schäden an feuerverzinkten Bauteilen. Die chemische Zusammensetzung des Wassers und die Temperatur spielen hier eine wesentliche Rolle. Weiters sind die Qualität der Zinkoberfläche, die Beschaffenheit der inneren Schweißnaht und mögliche Ablagerungen bzw. Gasblasen Faktoren, die die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Mulden- und Lochkorrosion beeinflussen.

Selektive Korrosion (Zinkgriesel)

Vorzugsweise in Kaltwasser kann es zu selektivem Korngrenzenangriff auf das Zink und in der Folge zum Austrag von Partikeln aus metallischem Zink bzw. seinen Korrosionsprodukten kommen. Das Verhältnis der Anionen Chlorid, Sulfat und Nitrat bestimmt wesentlich die Wahrscheinlichkeit dieser Korrosionsart.

Blasenbildung im Zinküberzug

Bevorzugt im Warmwasser kann es zur Blasenbildung im Zinküberzug kommen. Ursache dafür ist eindiffundierender Wasserstoff aus der Korrosionsreaktion des Zinks. Steigende Temperatur und zunehmender Gehalt an Kohlenstoffdioxid fördern diese Schädigungsart. Im Bereich aufgeplatzter Blasen kann es zu Lokalkorrosion des Grundwerkstoffes kommen.

Kontaktkorrosion

Generell besteht bei Mischinstallationen mit Werkstoffen, die ein höheres freies Korrosionspotenzial als feuerverzinkte Eisenwerkstoffe haben, die Gefahr der Kontaktkorrosion. Die Auswirkungen werden auch durch die Anordnung und Flächenverhältnisse der Bauteile und die Leitfähigkeit des Wassers bestimmt.

Eine Sonderform stellt die kupferinduzierte Korrosion dar. Sie wird durch Kupferionen im Wasser verursacht, die ihrerseits durch Korrosion von Kupferwerkstoffen gebildet werden. Sie führt zu ausgeprägter Lokalkorrosion.

2.4.3 Nichtrostende Stähle

Regelwerke: ÖNORM EN 12502, Teil 4

Chromlegierte Stähle ab etwa 12 % Cr zeichnen sich durch eine deutlich verbesserte Korrosionsbeständigkeit in Wässern aus und werden zu den sog. nichtrostenden Stählen gezählt. Ursache für diese Eigenschaft ist die Fähigkeit zur raschen Ausbildung einer unsichtbaren, auf Chrom(III)oxid basierenden Passivschicht. Nichtrostende Stähle werden daher ausschließlich unter Bedingungen eingesetzt, unter denen eine Passivschichtbildung erfolgen kann. Dazu ist, in Abhängigkeit vom pH-Wert, ein Mindestmaß an Oxidationsmittel im Medium erforderlich. Schädigende Korrosionsvorgänge können entstehen, wenn dies nicht erfüllt ist, wenn extrem stark oxidierende Bedingungen vorherrschen, oder wenn Substanzen anwesend sind, welche die Passivschicht örtlich zerstören können. In solchen Fällen können die sogenannten „nichtrostenden“ Stähle sehr wohl rosten.

Für die Anwendungen im Wasserbereich kommen typischerweise austenitische Chrom-Nickel-Stähle (z. B. 1.4301 mit 18 % Cr, 10 % Ni) oder Chrom-Nickel-Molybdän legierte Stähle (z. B. 1.4571 mit 17 % Cr, 12 % Ni, 2 % Mo) zum Einsatz. Die Korrosionsbeständigkeit wird in erster Linie durch den Chromgehalt bestimmt, Molybdän bewirkt eine weitere deutliche Verbesserung. Andere Legierungselemente dienen der Stabilisierung der metallischen Phasen und beeinflussen auch die Schweißbarkeit.

Bei der Konstruktion, Verarbeitung und beim Betrieb sind besonders bei nichtrostenden Stählen aus korrosionschemischer Sicht einige Gesichtspunkte zu beachten: spaltfreie Konstruktion, Entfernung von Bohr- und Drehspänen, Verwendung geeigneter Strahlmittel. Mechanische Beschädigung der Oberfläche, grobes Schleifen und Verschmutzungen erhöhen das Korrosionsrisiko. Bei Schweißverbindungen sind neben der Auswahl des Schweißzusatzwerkstoffes auch das richtige Formieren und die Nachbehandlung der Schweißnähte für die Korrosionsbeständigkeit von entscheidender Bedeutung. Eine Nachbehandlung durch Beizen und Passivieren ist eines der wirksamsten Verfahren zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit. Anlauffarben erhöhen das Korrosionsrisiko.

Gleichmäßige Flächenkorrosion

Diese Korrosionsart hat wegen des passiven Einsatzzustandes des Werkstoffes keine Bedeutung.

Lochkorrosion

Tritt in chloridhaltigen Wässern auf. Molybdänlegierte Stähle weisen eine erhöhte Beständigkeit auf. Mit steigender Temperatur steigt die Anfälligkeit für diese Korrosionsart.

Spaltkorrosion

wird in konstruktiven Spalten oder unter Ablagerungen (z. B. Inkrustationen von Wasserinhaltsstoffen) beobachtet. Diese Korrosionsart kann bereits bei geringeren Chloridgehalten als bei Lochkorrosion auftreten.

Messerschnittkorrosion

kann bei Lötverbindungen auftreten. Aus diesem Grund wird dieses Fügeverfahren selten verwendet.

Kontaktkorrosion

Da nichtrostende Stähle aufgrund der Passivschicht üblicherweise den edleren Partner darstellen, sind sie selbst nicht gefährdet.

Interkristalline Korrosion

ist die Folge einer unsachgemäßen Wärmebehandlung und der damit einhergehenden Gefügeveränderung (Sensibilisierung). Die Empfindlichkeit wird generell erhöht, besonders gegenüber Loch- und Spaltkorrosion.

Spannungsrissskorrosion

Bei gleichzeitigem Vorliegen von Zugspannungen und einem spezifischen korrosiven Medium können an austenitischen nichtrostenden Stählen transkristalline Risse entstehen. Insbesondere sind hohe Chloridgehalte geeignet, diese Korrosionsart auszulösen, daher werden solche Risse oft ausgehend von Loch-, Spalt, Messerschnitt- oder interkristalliner Korrosion beobachtet, wo Chloridionen angereichert werden.

Schwingungsrissskorrosion (Korrosionsermüdung)

Diese Korrosionsart führt zu transkristallinen Rissen aufgrund einer Dauerschwingbelastung und Korrosionseinwirkung. Wesentlich sind die Zähigkeitseigenschaften des Werkstoffs, der Einfluss der Wasserzusammensetzung ist dagegen vernachlässigbar.

Mikrobiell beeinflusste Korrosion

Durch bestimmte Mikroorganismen kann es zu einer Verschiebung des Korrosionspotenzials zu höheren Werten kommen, was zu einer erhöhten Empfindlichkeit gegenüber chloridinduzierten Korrosionsarten (Spalt-, Lochkorrosion) führt. Besonders empfindlich reagieren Schweißnähte. Auch Sulfat reduzierende Bakterien können zum örtlichen Abbau der Passivschicht und so zu Lokalkorrosion führen. Desinfektionsmaßnahmen durch stark oxidierend wirkende Stoffe können, insbesondere bei gleichzeitiger Anwesenheit von Chlorid, zu Korrosion führen.

2.4.4 Kupfer- und Kupferlegierungen

Regelwerke: ÖNORM EN 12502, Teil 2

Kupfer gilt als elektrochemisch edles Metall, trotzdem reagiert es in sauerstoffhaltigen Wässern unter Ausbildung von Deckschichten. Schädigende Korrosionsvorgänge können entstehen, wenn diese Deckschichtbildung örtlich gestört ist oder übermäßige mechanische Belastungen auftreten. Indirekt können freigesetzte Kupferionen nachteilig wirken, indem sie Kor-

rosion an anderen Bauteilen verursachen oder die Verwendbarkeit des Mediums nachteilig beeinflussen. So gibt es beispielsweise für Trinkwasser einen Grenzwert für die zulässige Konzentration an Kupferionen.

Gleichmäßige Flächenkorrosion

ist zwar selten unmittelbarer Grund für Schäden, kann aber bei zu starker Ausprägung zu hohen Konzentrationen an Kupferionen im Medium führen. Neben den Betriebsbedingungen ist in Wasser vor allem der Gehalt an gelöstem Kohlenstoffdioxid eine bestimmende Größe.

Kontaktkorrosion

Kupferwerkstoffe stellen zumeist den edleren Partner dar und werden daher in dieser Art i. A. nicht angegriffen. Von bestimmten kupfergelöteten Plattenwärmetauschern sind allerdings Schäden durch anodische Auflösung des Kupfers bekannt.

Lochkorrosion

tritt in charakteristischer Erscheinungsform in Kaltwasser (Typ 1) und Warmwasser (Typ 2) auf. Die Wahrscheinlichkeit für diese Korrosionsart wird von der chemischen Zusammensetzung des Wassers, den Betriebsbedingungen und der Verarbeitungstechnik bestimmt. Generell sind jene Faktoren entscheidend, die eine gleichmäßige Deckschichtbildung nachteilig beeinflussen. In diesem Sinn können auch Beläge wirken, die durch mikrobielle Aktivität gebildet werden (Biofilme).

Selektive Korrosion

betrifft Kupferlegierungen und tritt vor allem als Entzinkung bei Messing (Cu-Zn-Legierungen) in Erscheinung. Charakteristisch ist die Verfärbung des Werkstoffs zu Kupferrot, was mit einem Verlust der mechanischen Stabilität einhergeht. Neben der wasserchemischen Zusammensetzung beeinflussen die örtlichen Strömungsbedingungen (Stagnation, Ablagerungen), die Temperatur und ein eventueller Kontakt mit Bauteilen aus edleren Werkstoffen diese Korrosionsart.

Erosionskorrosion

kann an Stellen entstehen, wo infolge zu hoher Strömungsgeschwindigkeiten Turbulenzen auftreten. Typischerweise sind Planungs- oder Ausführungsfehler Ursache für Schäden durch diesen Mechanismus.

Spannungsrisskorrosion

Bei den für diese Korrosionsart notwendigen mechanischen Spannungen kann es sich um Betriebsspannungen oder um fertigungsbedingte Eigenspannungen im Bauteil handeln. Als spezifische Auslöser für Spannungsrisskorrosion an Kupferwerkstoffen gelten Nitrit und Ammonium Ionen bzw. Ammoniak. Besonders ausgeprägt ist die Empfindlichkeit gegenüber dieser Korrosionsart bei Messing mit höherem Zinkgehalt.

Oft werden Schäden durch Spannungsrisskorrosion beobachtet, die an der Bauteilaußenseite ihren Ausgang nehmen. Demgemäß stellen auch die chemischen Bedingungen in der unmittelbaren Umgebung einen wichtigen Faktor für die Dauerhaftigkeit von Bauteilen dar.

Korrosionsermüdung

Die hier notwendigen zyklischen Wechselbeanspruchungen werden häufig in warm gehenden Systemen durch Temperaturwechsel verursacht. Dies ist zumeist durch geeignete Planung und Installation vermeidbar.

2.4.5 Bleiwerkstoffe

Blei wurde, vor allem wegen seiner guten Korrosionsbeständigkeit und leichten Verarbeitung, lange Zeit in der Trinkwasserversorgung verwendet. Aufgrund der strengen Parameterwerte für Blei in der Trinkwasserverordnung wird es heute in der Trinkwasserversorgung aber nicht mehr eingesetzt.

In sauerstofffreien, nicht übermäßig sauren Wässern wird Blei praktisch nicht angegriffen. Die Beständigkeit von Blei in natürlichem, sauerstoffhaltigem Wasser wird vor allem durch den Gehalt an Kohlenstoffdioxid, Hydrogenkarbonat und Sulfat bestimmt. Deckschichten aus Sulfat oder Carbonat führen zu sehr geringen Korrosionsraten. Erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten oder weiche Wässer, Wässer, die Kohlenstoffdioxid enthalten und Kalk-Schutzschichten auflösen, sowie Wässer, die keine Deckschichten bilden können, führen dagegen zu erhöhten Korrosionsraten und somit auch zu vermehrter Konzentration von Bleiionen im Medium. Auch stark alkalische pH-Werte führen zu Angriff. Abwässer, die heutzutage durch Wasch- und Spülmittel belastet werden, bilden an Blei keine Schutzschichten, weshalb auch hier ein Einsatz nicht infrage kommt.

2.4.6 Aluminium

Rein- und Reinstaluminium werden im Allgemeinen wegen der niedrigen Festigkeitseigenschaften nicht verwendet. Zur Erhöhung der Festigkeit werden Legierungselemente zugefügt, meist sind dies Magnesium, Silizium, Zink, Mangan und Kupfer. Die Verbesserung der Festigkeitseigenschaften durch diese Elemente kann die Korrosionsbeständigkeit beeinflussen, wobei die AlMg-Legierungen (AlMg₃, AlMg₅ oder AlMg_{4,5}Mn) als besonders widerstandsfähig gelten. AlCu-Legierungen neigen dagegen zu einer höheren Korrosionsanfälligkeit.

Aluminium nimmt in der Reihe der Standardpotenziale einen unteren Rang ein, und ist somit relativ unedel bzw. reagiert mit Wasser unter Wasserstoffentwicklung. Dies lässt erwarten, dass sich Aluminiumwerkstoffe in wässrigen Medien unter Wasserstoffentwicklung auflösen sollten. Die in vielen Anwendungsbereichen gute Korrosionsresistenz verdankt Aluminium jedoch seiner Fähigkeit, sich an der Atmosphäre und in Wässern mit einer dichten oxidischen Schutzschicht zu bedecken. Diese kann sich bei mechanischer Beschädigung spontan wieder neu bilden, es tritt eine Repassivierung der Oberfläche ein. Die Korrosionsresistenz der Aluminiumwerkstoffe in Wässern hängt weitgehend von den Eigenschaften dieser Oxidschichten und ihrer Passivierungsfähigkeiten unter den vorgegeben elektrochemischen Bedingungen ab. Bei pH-Werten unter 4,5 und über 8,5 sind die Aluminiumoxidschichten löslich.

Der **flächige Korrosionsabtrag** hat an Aluminiumwerkstoffen nur außerhalb der oben angeführten pH-Grenzen Bedeutung.

Für **Lochkorrosion** gilt Chlorid als der wichtigste Auslöser, dessen Wirksamkeit durch Anwesenheit von Oxidationsmitteln oder durch Kontakt mit edleren Werkstoffen erhöht werden kann. Auch Kupferionen im Wasser können starke Lokalkorrosion verursachen.

Bei Bauteilen werden Aluminiumwerkstoffe auch mit anderen Metallen zusammengefügt (durch Nieten, Schrauben, Heften etc.). In solchen Verbindungen ist der Aluminiumwerkstoff in der Regel unedel und wird in dem so gebildeten **Kontaktelement** verstärkt angegriffen.

Der Gefügestand wird stark durch das Herstellungsverfahren bzw. die Wärmebehandlung beeinflusst, je nach Legierungszusammensetzung können selektive Korrosionsarten wie **interkristalline Korrosion** oder **Schichtkorrosion** auftreten.

Spannungsrissskorrosion kann bei entsprechendem Spannungsniveau durch Wasser oder Wasserdampf ausgelöst werden, oft in Verbindung mit gleichzeitig anwesenden Halogeniden.

An anodisiertem oder organisch beschichtetem Aluminium kann es unter atmosphärischer Belastung zum Auftreten von **Filiformkorrosion** kommen, die sich in oberflächlichen, wurmfraßartigen Spuren äußert.

2.5 Korrosionsschutz

Praktisch alle Gebrauchsmetalle unterliegen unter den üblichen Einsatzbedingungen Korrosion. Aber nach zumeist kurzer Zeit werden aus Korrosionsprodukten schützende Deck- und Passivschichten gebildet und so Korrosionsraten erreicht, die eine technische Nutzung möglich machen. Dieser Idealfall kann aber durch eine Vielzahl von Einflussgrößen nachteilig beeinflusst werden, sodass Maßnahmen gegen ein untolerierbares Ausmaß von Korrosion getroffen werden müssen.

Gemäß der Definition fallen alle Maßnahmen, die zur Vermeidung von Korrosionsschäden geeignet sind, unter den Begriff Korrosionsschutz. Dementsprechend weit gefasst ist auch der Rahmen der Möglichkeiten, in Korrosionssysteme einzugreifen:

- **Werkstoffauswahl**
auf Grundlage der zu erwartenden Chemie des Mediums, der physikalischen Betriebsbedingungen und der konstruktiven Eignung
- **Konstruktion**
ist eng verbunden mit der Art des gewählten Werkstoffes. Werkstoffpaarungen, Wahl der Fügetechnik, mechanische Belastungsniveaus und Formgebung sind korrosionsrelevante Festlegungen. Dabei können weitergehende Maßnahmen Berücksichtigung finden wie:
- **Abtrennung des Mediums vom Werkstoff**
durch
 - metallische Überzüge
 - anorganische Beschichtungen bzw. Auskleidungen
 - organische Beschichtungen
 - Umhüllungen
- **chemische Beeinflussung des Mediums**
 - Entfernen korrosiver Bestandteile
 - Zugabe inhibierender Stoffe
- **elektrochemische Beeinflussung**
 - kathodischer Schutz: passiv (Opferanoden) oder aktiv (Fremdstromspeisung)
 - anodischer Schutz

Bereits bei der **Planung** werden jene Entscheidungen getroffen, die in der Folge die Robustheit eines Systems gegenüber schädigenden Auswirkungen korrosiver Prozesse bestimmen. Aus der Bandbreite der genannten Möglichkeiten ist jene Variante auszuwählen, die den Anforderungen an **Lebensdauer** (des Bauteils/Systems), **Sicherheit** (Personen-, Umwelt-, Ausfallsicherheit) und **Kosten** (Material, Arbeit, Zeit, Stillstand, Instandhaltung, Schadensfolgen etc.) in optimaler Weise gerecht wird. Naturgemäß sind dabei zahlreiche Kompromisse einzugehen, die eine gewisse Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Schäden zulassen.

Auch die **Betriebsweise** eines Systems hat entscheidenden Einfluss auf mögliche Korrosionsvorgänge. Sie wird im Rahmen der Planung direkt oder indirekt diktiert.

2.5.1 Werkstoffauswahl, Konstruktion und Verarbeitung

Ein besonderer Aspekt der Werkstoffbahrung ist fallweise durch den Kontakt metallischer Bauteile mit dem Bewehrungsstahl von Betonkonstruktionen gegeben. Stahl im Beton liegt im passiven Zustand vor und verhält sich daher vergleichsweise edel gegenüber vielen Metallen mit Berührung zum Abwasser. Besteht nun eine elektrisch leitende Verbindung beispielsweise durch Befestigungsschrauben oder den Schutzerder der elektrischen Anlage so kann dies zu einem Makroelement führen und am abwasserberührten Bauteil ungewöhnlich hohe Korrosi-

onsbelastung verursachen. Auch ein eventuell angebrachter Oberflächenschutz (Beschichtung) kann unter Umständen dieser hohen Korrosionsbelastung nicht widerstehen.

Die Werkstoffauswahl ist naturgemäß untrennbar mit der konstruktiven Verwendung verknüpft. Die chemische Beeinflussung durch das Medium bestimmt die möglichen korrosiven Vorgänge, die für ein bestimmtes Material zu erwarten sind und damit die potenziellen Schadensszenarien (z. B. gleichmäßige Flächenkorrosion mit langsamem Werkstoffverlust oder plötzliche Spannungsrisskorrosion). Grundsätzlich gibt es keinen generell korrosionsfreien Werkstoff!

Für viele Anwendungen sind infrage kommende Werkstoffe in Regelwerken beschrieben, ihr Einsatzverhalten ist durch Erfahrungswerte weitgehend abgesichert. Bei neuartigen Materialien muss auf Herstellerangaben zurückgegriffen werden bzw. besteht ein höheres Risiko für unerwartete Korrosionsvorgänge. Hier kommen oft firmeneigene Erfahrungswerte zum Tragen. Bei großer Unsicherheit hinsichtlich des Korrosionsverhaltens eines Werkstoffs in einer bestimmten Anwendung können Korrosionsversuche die notwendigen Daten liefern. Diese sind in speziellen Regelwerken beschrieben oder müssen selbst entwickelt werden. Problematisch an dieser Vorgehensweise ist oft, dass die gewünschte Versuchsdauer zumeist wesentlich kürzer als der angestrebte Einsatzzeitraum ist. Eine Beschleunigung von Korrosionsvorgängen kann aber leicht auch zu grundlegenden Änderungen in den Mechanismen und so zu Resultaten führen, die im Hinblick auf die Zielanwendung falsch sind.

Zu beachten ist ferner, dass nicht nur die chemische Zusammensetzung eines Werkstoffs, d. h. die Legierung, die Korrosionseigenschaften bestimmt. Gefüge- und Oberflächenzustand bestimmen oft ganz wesentlich die Korrosionseigenschaften.

Naturgemäß wird zumeist das Hauptaugenmerk auf die durch das Betriebsmedium belasteten Oberflächen eines Bauteils gelegt. Die gleiche Aufmerksamkeit erfordert aber auch die Bauteilaußenseite. Hier liegen zumeist völlig andere, in ihrer Bandbreite oft nur schwer einzuschätzende Bedingungen vor. In der Praxis stellen Schäden durch Außenkorrosion einen beträchtlichen Anteil aller Schadensfälle. Die DIN 50929 gibt Hinweise für Korrosionswahrscheinlichkeiten metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung, Teil 1 macht allgemeine Angaben, Teil 2 für den Bereich im Inneren von Gebäuden und Teil 3 für Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern. Es werden wertvolle Hinweise für Schädigungsmöglichkeiten beschrieben. Die ÖNORM EN 12501 bezieht sich auf die Korrosionsbelastung in Böden, Teil 1 allgemein und Teil 2 speziell für un- und niedrig legierte Stähle.

Auch für die konstruktive Ausführung existieren in vielen Anwendungsbereichen Regelwerke. Wesentliche korrosionsrelevante Punkte sind die Wahl der Fügetechnik, möglichst spaltfreie Konstruktion, Vermeidung von Toträumen, Beachtung maximaler Strömungsgeschwindigkeiten und möglicher Werkstoffpaarungen.

Auch die beste Planung ist nur so gut wie die tatsächliche Ausführung. Mangelhafte Verarbeitung ist in vielen Fällen Ursache für unerwartete Korrosionsschäden. Allerdings wird bereits bei Konstruktion und Werkstoffauswahl die Robustheit eines Systems auch gegen diese Einflussgröße mit bestimmt.

2.5.2 Betriebsweise

Erfahrungsgemäß oft unbeachtet bleiben dabei **Inbetriebnahme bzw. An- und Abfahrzustände sowie Stillstandsperioden**. Diese Zeiträume sind deshalb besonders kritisch, da Systeme i. A. ja für den Betriebszustand ausgelegt werden. Auf Veränderung des Systemzustandes reagieren auch Korrosionssysteme und passen sich an. Gerade die Inbetriebnahme ist ein sehr empfindlicher Zustand, bilden viele Werkstoffe doch erst in dieser Phase ihre Deck- und Passivschichten aus. Störungen im Deckschichtaufbau führen oft zu Lokalkorrosion.

2.5.3 Chemische Beeinflussung des Mediums

Für Trinkwasser kommen in Österreich nur die im Kapitel B1 des Lebensmittelkodex aufgezählten Verfahren zur Wasseraufbereitung in Betracht. Es sind dies die Enthärtung/Entsalzung, Anhebung des pH-Wertes (Entsäuerung) und die Dosierung bestimmter Korrosionsinhibitoren. Desinfektionsmittel können in bestimmten Fällen korrosionsrelevant sein.

In technischen Systemen kommen Verfahren zur Sauerstoffentfernung, Stoffe zur Beeinflussung des pH-Wertes und Korrosionsinhibitoren in Anwendung. Andere Zusätze wie Frostschutzmittel, Härtestabilisatoren, Dispergatoren, Biozide u. Ä. dienen zwar nicht unmittelbar dem Korrosionsschutz, können aber korrosionsrelevante Auswirkungen haben.

Entsäuerung

Im Trinkwasserbereich wird u. a. für die Entsäuerung die Filtration über Kalkstein (Marmor), Dolomit oder halbgebrannten Dolomit angewendet. Daneben kommt auch die Entgasung (entfernen von CO₂) und die Dosierung von alkalisierenden Stoffen (z. B. Natriumhydroxid, Natriumsilikat, Trinatriumsilikat etc.) zum Einsatz.

In Heizwasserkreisläufen sollte der pH-Wert zwischen 8,2 und 9,5 eingestellt werden. Dabei ist jedoch die Alkalität des Wassers zu begrenzen, falls alkaliempfindliche Metalle (Aluminium) im System vorhanden sind.

Enthärtung, Entsalzung

Sehr harte Wässer können zu Störungen durch Kalkausfällungen führen. Im Wasserwerk selbst kann eine zentrale Enthärtung durch Fällung oder Ionenaustauscher erfolgen. Ionenaustauscheranlagen müssen den Anforderungen der ÖNORM M 6254 entsprechen. Heute kommen vermehrt auch Membranverfahren (Umkehrosmose, Elektrodialyse) zum Einsatz. Zu beachten ist, dass viele Werkstoffe in sauerstoffhaltigen Wässern eine gewisse Mindesthärte zur Ausbildung von korrosionsschützenden Deckschichten benötigen.

Von der Enthärtung des Wassers, das dem menschlichen Genuss dient, wird abgeraten. Jedenfalls darf aber eine festgelegte Mindesthärte von 8° dH / 60 mg/l Ca²⁺ nicht unterschritten werden.

Speziell in größeren Heizanlagen wird weitgehend entsalztes Wasser als Heizmedium herangezogen, siehe dazu ÖNORM H 5195-1.

Die folgende Tabelle zeigt jene Bereiche, wo Enthärtung sinnvoll ist.

Tabelle 1

Bereich (Carbonathärte / mg/l Ca ²⁺)	Enthärtung
unter 12 °dH / 86 mg/l	nicht sinnvoll
12 °dH bis 16 °dH / 86 mg/l bis 115 mg/l	sinnvoll, wenn die Temperatur im Warmwasserbereiter 60 °C überschreiten muss
über 16 °dH / 115 mg/l	empfehlenswert

Korrosionsinhibitoren

Durch die Zugabe von Inhibitoren wird entweder die anodische Teilreaktion der Metallauflösung (anodische Inhibitoren) oder die kathodische Teilreaktion der Reduktion eines Oxidationsmittels (kathodische Inhibitoren) beeinflusst.

Viele verwendete Inhibitoren wirken anodisch unter Bildung von Deckschichten. Unterdosierung dieser Stoffe kann jedoch zu stark ausgeprägter örtlicher Korrosion führen.

Für Trinkwässer (auch erwärmte) dürfen nur solche Korrosionsinhibitoren verwendet werden, die im Kapitel B1 (Anlage 5) des Lebensmittelkodex angeführt sind (z. B. Orthophosphat, Silikat).

In technischen Kreisläufen werden auch andere, teilweise organische Inhibitoren verwendet. Zumeist wird hier auf kommerzielle Produkte zurückgegriffen, die eine Vielzahl von zusätzlichen Hilfsstoffen enthalten. Generell sind solche Produkte gemäß den Herstellerangaben zu dosieren und müssen regelmäßig hinsichtlich ihrer Konzentration im System überwacht werden. Übermäßig rascher Verbrauch ist oft ein Anzeichen für Probleme im System und muss daher fachgerecht beurteilt werden.

Zur Korrosionsinhibierung kann auch der elektrochemische Korrosionsschutz mit Anoden aus Aluminium gezählt werden. Dieses spezielle Verfahren beruht auf der elektrolytischen Bildung von kolloidalem Aluminiumhydroxid, das in das Medium abgegeben wird und korrosionsschützende Deckschichten zu bilden vermag.

Sauerstoffentfernung

Die Entfernung von Sauerstoff wird nur bei bestimmten Systemen wie Heizungsanlagen oder in der Kesselspeisewasseraufbereitung angewandt.

Die Entfernung von Sauerstoff erfolgt zumeist chemisch durch Reduktionsmittel, die dem Wasser zudosiert werden. Als Reduktionsmittel werden u. a. Natriumsulfit, Ascorbate und andere organische Stoffe herangezogen, früher wurde auch Hydrazin verwendet.

Frostschutzmittel

Frostschutzmittel sind i. A. auf der Basis von Glykolen aufgebaut, die durch Sauerstoff zu organischen Säuren oxidiert werden können. Daher sollen diese Stoffe in technischen Systemen nur in Verbindung mit pH-stabilisierenden und inhibierenden Zusätzen eingesetzt werden, wie sie in entsprechenden kommerziellen Produkten enthalten sind.

2.5.4 Überzüge, Beschichtungen, Auskleidungen, Umhüllungen

Durch diese Maßnahmen soll das Medium von dem Grundwerkstoff durch eine Zwischenschicht abgetrennt werden. Generell ist die korrosionsschützende Wirksamkeit dieser Maßnahmen von der Güte dieser Barriere abhängig. Oft erfüllen diese Schichten noch weitere Aufgaben und dienen dekorativen Zwecken, als Verschleißschutz oder als thermische Isolierung.

Überzüge

Überzüge sind metallischer Natur und weisen Schichtdicken von wenigen μm bis zu etlichen mm auf. Neben dem bekannten galvanischen Abscheiden existiert eine Vielzahl anderer Methoden bis hin zum Aufschweißen oder Plattieren. Aus Gründen der Haftung werden oft Zwischenschichten aus anderen Metallen benötigt. Grundsätzlich entsteht so eine neue Grenzfläche aus Medium und Überzug mit entsprechendem Korrosionsverhalten. Viele Überzüge sind in Regelwerken hinsichtlich ihrer Qualitätsanforderungen festgelegt.

Aus korrosionschemischer Sicht ist zu unterscheiden zwischen Überzügen, die elektrochemisch edler sind als der Grundwerkstoff und jenen, die unedler sind. Dies kann insbesondere bei geringen Schichtdicken im Fall von Poren oder Verletzungen eine Rolle spielen, da dann an dieser Stelle ein Kontaktelement gebildet wird.

Unedlere Überzüge (z. B. Zink auf Stahl) wirken als Opferanode (*siehe Kapitel 3.3.5*). Sie schützen bei Verletzung den freigelegten Grundwerkstoff, werden selbst aber dadurch rascher abgezehrt. I. A. haben diese Überzüge auch eine gewisse Eigenkorrosionsrate und somit eine endliche Lebensdauer. Sind sie großflächig abgezehrt, korrodiert der Grundwerkstoff.

Edlere Überzüge wirken im Verletzungsfall als großflächige Sauerstoffelektrode und treiben so die Korrosion des freigelegten Grundwerkstoffes an, was zu Lochkorrosion führen kann.

Beschichtungen

- **Anorganische Beschichtungen** (z. B. keramische Schichten, Email) sind zumeist relativ spröde und daher empfindlich gegenüber mechanischer Beschädigung. Sie finden Anwendung bei extremer Korrosionsbelastung (Email) oder dienen primär anderen Zwecken als dem Korrosionsschutz (Verschleißschutz).
- **Organische Beschichtungen** (Anstriche) sind wahrscheinlich die am weitesten verbreitete Korrosionsschutzmethode. Zusätzlich zur Barrierewirkung der organischen Schicht dienen Pigmente und andere Zuschlagstoffe der Korrosionsschutzwirkung. Meist werden sie als Beschichtungssysteme mehrschichtig aufgebaut. Porenfreiheit und vollflächige Haftung dieser Schichten sowie die sachgerechte Vorbereitung des Untergrundes sind von ausschlaggebender Bedeutung. Es existieren zahlreiche Regelwerke zu Qualitätsanforderungen, Ausführung und für verschiedene Anwendungsgebiete. Über korrosionsbedingte Schädigungen in wässrigen Medien informiert die DIN 50928.

Auskleidungen

Darunter versteht man zumeist recht dicke Schichten im Inneren von Behältern oder Rohrleitungen. Im Wasser- und Abwasserbereich ist hier vor allem die Zementmörtelauskleidung zu nennen. Auch diese ist im Regelwerk verankert.

Umhüllungen

Betreffen die Außenseite von Bauteilen und haben i. A. keinen vollflächigen Verbund zur Bauteiloberfläche. Zum Korrosionsschutz muss die Umhüllung dicht gegenüber Feuchtigkeit sein, im Falle kondensierender Verhältnisse aber auch gegenüber Wasserdampf.

Zumeist dienen Umhüllungen aber primär der thermischen Isolierung. Hier ist zu beachten, dass das Isoliermaterial im Falle eingedrungener Feuchtigkeit keine aggressiven Stoffe abgeben darf. Bei hohen Bauteiloberflächentemperaturen ist auch die thermische Stabilität des Isoliermaterials, evtl. in Kombination mit Feuchtigkeit von Bedeutung.

Spezialfall: Duplexbeschichtungen für erdverlegte Anwendungen

Als Duplexbeschichtungen wird die Kombination von verzinktem Stahl mit einer Deckbeschichtung bezeichnet. Solche Systeme finden speziell als Außenkorrosionsschutz erdverlegter duktiler Gussrohre Anwendung und sind in ÖNORM B 2555 geregelt. Der Einsatzbereich dieser Systeme hinsichtlich der jeweiligen Bodenaggressivität ist in EN 545 bzw. EN 598 festgelegt.

Bei diesen Systemen wirkt das Zink als Oberanode und wird bei Verletzung der Oberfläche stetig verbraucht, wodurch das Grundmetall (Gusseisen) geschützt wird. Eine ausgewogene Kombination von Zink-Depotmenge und Porenvolumen bzw. Porendichte der Deckbeschichtung bestimmt die Schutzdauer. Diese Art des Korrosionsschutzes stellt derzeit das Standardkorrosionsschutzsystem für erdverlegte duktile Gussrohre dar.

2.5.5 Elektrochemischer Korrosionsschutz

Wie in *Kapitel 2.1* skizziert, verursachen die anodischen und kathodischen Teilreaktionen eines elektrochemischen Korrosionsvorganges eine Verschiebung von Elektronen von der Anode zur Kathode durch den metallischen Werkstoff, das ist der Korrosionsstrom. Durch den Elektrolyten verläuft dabei ein gleich großer Strom, allerdings durch Ionen getragen. Durch gezielten Eingriff in den Stromhaushalt eines Korrosionsprozesses kann dieser nun beeinflusst und so minimale Korrosionsraten erzielt werden (Literaturhinweis: Baeckmann/Schwenk, Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes, 4. Auflage, VCH-Verlag, 1999).

Anodischer Korrosionsschutz

Dieser ist auf Spezialanwendungen in der chemischen Industrie beschränkt. Das Wesen liegt in einer durch Strom erzielten Erhöhung (!) der Metallauflösung zur Unterstützung einer Passivschichtbildung in solchen Medien, die dafür zu wenig Oxidationskraft haben.

Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)

ist dagegen weit verbreitet in der Schiffs- und Meerestechnik, als Außenschutz für erdverlegte Leitungen und Behälter, aber auch als Behälterinnenschutz. Durch den eingebrachten Strom wird das aus dem Medium angreifende Oxidationsmittel (i. A. Sauerstoff) verbraucht, sodass der Werkstoff des zu schützenden Bauteils unbehellig bleibt.

In den meisten Fällen sind die zu schützenden Oberflächen beschichtet. Damit kann der notwendige Schutzstrom (bzw. Opferanodenverbrauch) auf ein Minimum reduziert werden, es müssen nur Fehlstellen in der Beschichtung geschützt werden.

- **Passiver KKS**

Als Quelle für den Strom dient hier ein sehr unedles Metall, das mit dem Bauteil elektrisch verbunden wird und auch in das Medium eintauchen muss (sog. Opferanode, zumeist aus Magnesium, Zink oder Aluminium). Diese Opferanode korrodiert somit stellvertretend für das Bauteil, wird mit der Zeit verbraucht und muss daher hin und wieder ersetzt werden.

- **Aktiver (fremdstromgespeister) KKS**

Hier wird Strom aus einer Stromquelle (Netzgerät) über das Bauteil einerseits und eine spezielle Elektrode andererseits durch das Medium (Elektrolyt) geleitet. Die Stromrichtung wird so gewählt, dass das zu schützende Bauteil die Kathode darstellt. Die Elektrode wird somit anodisch belastet und muss daher äußerst korrosionsresistent sein, weshalb Materialien wie Grafit, Ferrosilizium und andere Spezialmaterialien dafür verwendet werden.

Welcher Art auch immer das elektrochemische Schutzsystem ist, es erfordert sorgfältige Planung, Auslegung und Ausführung gemäß dem einschlägigen Regelwerk (*siehe dazu Kapitel 2.3.6*), das für verschiedene Anwendungen detaillierte Angaben macht. Nach der Inbetriebnahme muss die Einstellung der erforderlichen Schutzströme überprüft werden und es sind regelmäßige Überwachungsmessungen erforderlich.

Ein Sonderverfahren stellt der elektrochemische Schutz durch fremdstromgespeiste Aluminiumanoden dar. Durch die stromgestützte Auflösung der Anoden in Behältern wird auf diese Art dem Wasser kolloidales Aluminiumhydroxid zugesetzt, das beim Durchströmen von Rohrleitungen korrosionsschützende Deckschichten bilden kann.

Streustrom

Ströme aus elektrischen Anlagen, die, zumeist unbeabsichtigt, elektrolytische Leiter (z. B. Böden) durchqueren, werden als Streuströme, manchmal auch als „vagabundierende“ oder „Fehl-

ströme“ bezeichnet. Metallische Bauteile in diesem Leiter können wegen der i. A. wesentlich besseren Leitfähigkeit von Metallen für solche Ströme bevorzugte Leitungspfade darstellen.

Im Falle von Streuströmen aus Gleichstromanlagen besteht an einem so beeinflussten metallischen Bauteil eine deutlich erhöhte Korrosionsbelastung an den Austrittsstellen des Stromes, da diese zu Anoden werden.

Streuströme aus Wechselspannungssystemen gelten normalerweise als korrosionstechnisch unwirksam.

Wechselstromkorrosion

Die Korrosionswirkung von Wechselstrom nimmt mit steigender Frequenz ab. Bei den üblichen technischen Frequenzen von $16\frac{2}{3}$ Hz bzw. 50 Hz beträgt die Wirksamkeit nur in der Größenordnung von 0,1 % der von Gleichstrom. Es gibt aber Systeme, wo sehr hohe Wechselstromdichten an metallischen Bauteilen auftreten können, sodass eine nicht mehr tolerierbare Korrosionsbelastung auftreten kann. Diese Korrosionsart spielt besonders bei langen erdverlegten Rohrleitungen eine Rolle, die wichtigsten Quellen für Wechselstrom stellen einerseits Streuströme der Eisenbahn und andererseits elektromagnetisch eingekoppelte Ströme aus parallel verlaufenden Hochspannungsleitungen dar.

2.5.6 Zusammenstellung ausgewählter Regelwerke zum Korrosionsschutz

Tabelle 2

DIN 50934, Teil 1–4	Korrosion der Metalle – Verfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von Wasserbehandlungsanlagen zum Korrosionsschutz Teil 1: Allgemeines Teil 2: Anlagen zur Verminderung der Abgabe von Korrosionsprodukten an das Trinkwasser Teil 3: Feldversuche zum Abbau von Korrosionsprodukten aus inkrustierten Rohrleitungen Teil 4: Technikumsversuche zum Abbau von Korrosionsprodukten aus inkrustierten Rohrleitungen
DIN 50927	Planung und Anwendung des elektrochemischen Korrosionsschutzes für die Innenflächen von Apparaten, Behältern und Rohren (Innenschutz)
DIN 50928	Korrosion der Metalle; Prüfung und Beurteilung des Korrosionsschutzes beschichteter metallischer Werkstoffe bei Korrosionsbelastung durch wässrige Korrosionsmedien
DIN 30675, Teil 1–2	Äußerer Korrosionsschutz von erdverlegten Rohrleitungen Teil 1: Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus Stahl Teil 2: Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus duktilem Gusseisen
DIN 50929, Teil 1–3	Korrosion der Metalle; Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung Teil 1: Allgemeines Teil 2: Installationsteile innerhalb von Gebäuden Teil 3: Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern
ÖNORM EN 12501, Teil 1–2	Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Korrosionswahrscheinlichkeit in Böden Teil 1: Allgemeines Teil 2: Niedrig und unlegierte Eisenwerkstoffe
ÖVE/ÖNORM EN 50162	Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen
ÖNORM EN 12068	Kathodischer Korrosionsschutz– Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Stahlrohrleitungen im Zusammenwirken mit kathodischem Korrosionsschutz – Bänder und schrumpfende Materialien
ÖNORM EN 12502, Teil 1–5	Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen

ÖNORM EN 12954	Kathodischer Korrosionsschutz von metallenen Anlagen in Böden oder Wässern – Grundlagen und Anwendung für Rohrleitungen
ÖNORM EN 13509	Messverfahren für den kathodischen Korrosionsschutz
ÖNORM EN 13636	Kathodischer Korrosionsschutz von unterirdischen metallenen Tankanlagen und zugehörigen Rohrleitungen
ÖNORM EN 14505	Kathodischer Korrosionsschutz komplexer Anlagen

Siehe auch Dokumente der ÖVGW, der DVGW und der AfK.

2.6 Wasseranalytische Parameter

Regelwerke: ÖNORM EN 12502, Teil 1 für trinkwasserähnliche Wässer, ÖNORM H 5195-1 für Heizungswässer. Weitere Regelwerke existieren für spezielle Anwendungsgebiete wie z. B. Kesselspeisewasser.

Eine Wasseranalyse zur Beurteilung korrosionschemischer Vorgänge sollte zumindest folgende Parameter enthalten:

- Wassertemperatur
- pH-Wert
- elektrische Leitfähigkeit
- Säurekapazität bis pH 4,3
- Basenkapazität bis pH 8,2
- Calciumionen
- Magnesiumionen
- Chloridionen
- Nitrationen
- Sulfationen
- Phosphorverbindungen
- Siliziumverbindungen
- Kaliumpermanganatverbrauch
- Kupferionen
- Manganionen
- org. Kohlenstoff (TOC)
- Sauerstoffgehalt

Gegebenenfalls

- Aluminium
- Inhibitorenkonzentration
- Redoxpotenzial
- Konzentration an Desinfektionsmittel (z. B. Cl₂)
- Kohlenstoffdioxid
- Hydrogensulfid
- Zink
- Blei
- Eisen

Zu beachten ist, dass Konzentrationsangaben in unterschiedlichsten Einheiten angegeben werden, z. B. mg/l, mmol/l, mol·m⁻³. Für die Härteparameter werden oft auch andere Größen (Gesamt- und Carbonathärte, Konzentration an Hydrogencarbonationen, Konzentration an freiem Kohlenstoffdioxid) angegeben, die aber mit pH, Säure- und Basenkapazität sowie den Konzentrationen an Ca und Mg in Zusammenhang stehen, siehe dazu auch ÖNORM M 6612. Bei Mischung von Wässern ist das ÖVGW-Regelblatt W 73 anzuwenden.

Ein ordnungsgemäßer Analysenbericht muss die Bezeichnung der Probe, den Ort und das Datum der Probenentnahme anführen. Als Analysenverfahren sind die ÖNORMEN heranzuziehen. Wo keine solchen Normen existieren, kann auf die DIN- oder ISO-Verfahren zurückgegriffen werden.

Wassertemperatur

Mit steigender Temperatur erhöht sich meist die Geschwindigkeit der Korrosionsvorgänge. Als Faustregel gilt: Eine Temperaturerhöhung um 10°C verdoppelt die Korrosionsgeschwindigkeit. Es können aber auch andere Mechanismen zum Tragen kommen, die das Korrosionsverhalten grundsätzlich ändern.

pH-Wert

Der pH-Wert spielt bei vielen Korrosionsvorgängen an metallischen Werkstoffen eine große Rolle. In sauren Medien sind oxidische Korrosionsprodukte i. A. weniger beständig und bieten daher keine Schutzwirkung, Säurekorrosion unter Wasserstoffbildung kann ablaufen. Unter alkalischen Bedingungen bilden die meisten Gebrauchsmetalle leicht oxidische Deckschichten, bestimmte Metalle können in zu konzentrierten Alkalien jedoch ebenfalls angegriffen werden. Extrem alkalische Verhältnisse sind allgemein kritisch.

Elektrische Leitfähigkeit

Je höher die Leitfähigkeit, desto größer auch meist die Korrosionsgeschwindigkeit, da der durch den Elektrolyten fließende Korrosionsstrom entsprechend weniger Widerstand hat.

Säurekapazität bis pH = 4,3 und Basenkapazität bis pH = 8,2

Diese beiden Kapazitäten spielen eine wesentliche Rolle bei der Abscheidung von Calcium und Carbonat. Nähere Angaben sind aus dem Tillmanns-Diagramm bzw. der ÖNORM 6612 zu entnehmen. Die Säurekapazität steht in Zusammenhang mit der Konzentration an Hydrogencarbonationen, die auch als Carbonathärte in deutschen Härtegraden ausgewiesen werden kann.

Darüber hinaus hat die Säurekapazität Einfluss auf den Verlauf jener Lokalkorrosionsvorgänge, die mit einer Versauerung der Anodenbereiche verbunden sind (z. B. Spaltkorrosion, Lochkorrosion an nichtrostendem Stahl). Ein höherer Wert ist in diesem Zusammenhang günstig.

Calcium- und Magnesium-Ionen

Calcium und Magnesium zählen zu den sogenannten Erdalkalimetallen und sind die „Härtebildner“ des Wassers. Sie kommen in der Natur im Wesentlichen in Form von Carbonaten (Kalkstein, Dolomit u. a.) und Sulfaten (Gips = Calciumsulfat) vor. Calcium und Magnesium sind u. a. in den ausgeschiedenen Produkten des Wassers, wie z. B. in Deckschichten, Wasserstein und Kesselstein anzutreffen.

Bei vielen Werkstoffen ist ein Minimum an Calciumionenkonzentration zur Deckschichtausbildung notwendig. Dies steht zumeist auch in unmittelbarem Zusammenhang mit den Konzentrationen der durch Kohlenstoffdioxid gebildeten Ionen (sog. Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht).

Ebenso ist für die optimale Wirksamkeit bestimmter Inhibitoren (z. B. Phosphat) die Anwesenheit ausreichender Mengen an Calciumionen notwendig.

Neben den Konzentrationsangaben ist es auch derzeit noch üblich, die Summenkonzentration an Ca und Mg als Gesamthärte oder getrennt als Calciumhärte und Magnesiumhärte in „deutschen Härtegraden“ (°dH) auszuweisen.

Chlorid-Ionen

Der Chloridgehalt eines Wassers ist mitverantwortlich für die korrosiven Eigenschaften eines Wassers.

Nitrat-Ionen

Nitrat-Ionen können sich ungünstig auf die korrosiven Eigenschaften des Wassers, insbesondere im Kontakt mit verzinktem Stahl, auswirken.

Sulfat-Ionen

In höheren Konzentrationen können Sulfat-Ionen die Korrosivität des Wassers ungünstig beeinflussen.

Sulfate, Chloride und Nitrate fasst man unter dem Sammelbegriff „Neutralsalze“ zusammen.

Phosphate

Ortho-Phosphate (o-Phosphate) eignen sich gut als Korrosionsinhibitoren. Eine gewisse Mindestkonzentration an Calciumionen begünstigt die inhibierende Wirkung.

Polyphosphate werden in der Warmwasserbereitung häufig als sog. Härtestabilisatoren dem Wasser zugesetzt, um die Wasserstein- und Kesselsteinbildung zu verzögern.

Siliziumverbindungen (Silikate)

Unter geeigneten Bedingungen sind auch Siliziumverbindungen Inhibitoren, die die Ausbildung von Korrosionselementen hemmen können.

Im Kesselspeisewasser von Kraftwerken mit Dampfturbinen sind Siliziumverbindungen aber äußerst unerwünscht und müssen weitgehend eliminiert werden.

Organischer Kohlenstoff

Man hat erkannt, dass natürliche organische Stoffe auch in geringer Konzentration sowohl bei der Deck- und Schutzschichtbildung wie auch bei der Hemmung korrosiver Vorgänge eine maßgebliche Rolle spielen.

Der Summenparameter „Organischer Kohlenstoff“ kann sowohl als TOC (Total Organic Carbon), als auch indirekt als „Oxidierbarkeit“ mit dem Kaliumpermanganatverbrauch oder Sauerstoffverbrauch aufscheinen. Eine Umrechnung von TOC in die anderen Parameter ist nicht zulässig. Der Kaliumpermanganatverbrauch kann aber von mg/l KMnO_4 in mg/l O_2 wie folgt umgerechnet werden:

Kaliumpermanganatverbrauch: 1 mg/l KMnO_4 entspricht 0,253 mg/l O_2

Aluminium

Aluminium-Ionen hydrolysieren im pH-Bereich um pH = 7,2 zu Aluminiumhydroxid, das seinerseits als Inhibitor wirken kann.

Sauerstoff

Mit Ausnahme des Wassers in Heizungsanlagen enthalten alle Trink- und Nutzwässer Sauerstoff. Die Aufnahmefähigkeit für Sauerstoff steht in Relation zur Wassertemperatur.

Sauerstoff ist zwar generell das wichtigste Oxidationsmittel bei Korrosionsreaktionen, trotzdem ist zur Ausbildung von Deck- und Schutzschichten für viele Werkstoffe die Anwesenheit einer Mindestkonzentration von Sauerstoff notwendig. Bei geringerer Konzentration können daher sogar erhöhte Korrosionsraten auftreten. Bei praktischer Sauerstofffreiheit sind die Korrosionsraten allgemein sehr gering.

Inhibitorenkonzentration

Sofern es sich nicht um Substanzen handelt, die durch routineanalytische Parameter abgedeckt werden, stellen Anbieter von Inhibitoren zumeist auch die entsprechenden analytischen Verfahren zur Verfügung, mit denen die Konzentration des Präparats regelmäßig überprüft werden kann.

Redoxpotenzial und Konzentration an Desinfektionsmittel

Stark oxidierend wirkende Desinfektionsmittel (z. B. jene auf Chlorbasis, Wasserstoffperoxid, Ozon u. a.) können einen unmittelbaren Einfluss auf die Korrosionswahrscheinlichkeit in einem System haben. Das Redoxpotenzial kann als Summenparameter diese Einflussgröße beschreiben, alternativ kann die unmittelbare Konzentration der Substanz bestimmt werden.

Für eine korrosionschemische Beurteilung einer Wasseranalyse werden oft weitere Berechnungen durchgeführt und Kennwerte ermittelt, die z. T. werkstoffspezifisch sind, siehe dazu auch Angaben in den entsprechenden Teilen der ÖNORM EN 12502. Zu beachten ist ferner, dass es wasserseitige Einflüsse auf die Korrosivität gibt, die durch die üblichen wasseranalytischen Parameter nicht erfasst werden (z. B. inhibierende Wirkung natürlicher organischer Inhaltsstoffe).

Für die Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit in einem konkreten System ist neben der chemischen Zusammensetzung des Mediums die Einbeziehung der werkstoffseitigen und betriebstechnischen Einflussgrößen unerlässlich.

Umrechnungstabelle von °dH und mg/l auf mmol/l

1 °dH	Gesamthärte	entspricht	0,179	mmol/l	Summe Erdalkalien
1 °dH	Calciumhärte	entspricht	0,179	mmol/l	Calcium
1 °dH	Magnesiumhärte	entspricht	0,179	mmol/l	Magnesium
1 mg/l	Calcium (Ca)	entspricht	0,025	mmol/l	Calcium
1 mg/l	Magnesium (Mg)	entspricht	0,0411	mmol/l	Magnesium
1 mg/l	Natrium (Na)	entspricht	0,0435	mmol/l	Natrium
1 mg/l	Kalium (K)	entspricht	0,0256	mmol/l	Kalium
1 mg/l	Nitrat (NO ₃)	entspricht	0,0161	mmol/l	Nitrat
1 mg/l	Chlorid (Cl)	entspricht	0,0282	mmol/l	Chlorid
1 mg/l	Sulfat (SO ₄)	entspricht	0,0104	mmol/l	Sulfat
1 mg/l	Hydrogencarbonat (HCO ₃)	entspricht	0,0164	mmol/l	Hydrogencarbonat
1 mg/l	Eisen (Fe)	entspricht	0,0178	mmol/l	Eisen
1 mg/l	Kupfer (Cu)	entspricht	0,0157	mmol/l	Kupfer
1 mg/l	Siliziumdioxid (SiO ₂)	entspricht	0,0167	mmol/l	Siliziumdioxid
1 mg/l	Aluminium (Al)	entspricht	0,0370	mmol/l	Aluminium
1 mg/l	Phosphat (PO ₄)	entspricht	0,0105	mmol/l	Phosphat

Umrechnung von mmol/l auf mg/l

1 mmol/l	Calcium	entspricht	40,08	mg/l	Calcium
1 mmol/l	Magnesium	entspricht	24,3	mg/l	Magnesium
1 mmol/l	Hydrogencarbonat	entspricht	61,0	mg/l	Hydrogencarbonat

2.7 Begriffe und Definitionen

Begriffe und Definitionen sind im Regelwerk in der ÖNORM EN ISO 8044 gegeben.

In den folgenden Abschnitten ist eine Auswahl an Begriffen und Definitionen angeführt.

2.7.1 Begriffe der elektrochemischen Korrosion

Anode

Elektrode, an der ein Gleichstrom in die wässrige Phase austritt (technische Stromrichtung). Demgemäß werden durch die damit verbundene(n) Reaktion(en) Elektronen in das Metall geliefert.

In Korrosionssystemen sind die Stellen der Metallauflösung Anoden, Metallionen treten in den Elektrolyten über. In kathodischen Schutzsystemen laufen an den Anoden aus inertem Material andersartige Reaktionen ab, z. B. die Sauerstoffbildung durch Wasseroxidation.

In wässrigen Lösungen wird der pH-Wert an der Anode im Allgemeinen vermindert.

anodischer Teilstrom, Korrosionsstrom

Bei elektrochemischen Korrosionssystemen jener Stromteil, der zu Metallabtrag führt. Das Produkt aus Strom und Zeitdauer ist proportional zur umgesetzten Metallmenge.

Belüftungselement

Konzentrationselement, dessen anodische und kathodische Bereiche durch örtlich unterschiedlichen Sauerstoffzutritt zur Metalloberfläche entstehen (z. B. Korrosion durch Ablagerungen).

Bezugselektrode

Kombination eines Elektronen leitenden Stoffes mit einer Ionen leitenden Phase in der Form einer Halbzelle. Durch Wahl der Komponenten und die Konstruktion wird ein definiertes elektrochemisches Potenzial erzeugt. Mit Bezugselektroden können elektrochemische Potenziale anderer Halbzellen, wie z. B. von Korrosionssystemen, gemessen werden.

Potenzialmessungen mit anderen Bezugselektroden als der Standardwasserstoffelektrode liefern Werte, die um das Bezugspotenzial (*siehe dort*) verschoben sind. Potenzialwerte ohne Angabe des verwendeten Bezugssystems sind nicht interpretierbar.

Typische Bezugselektrodensysteme sind Kupfer/Kupfersulfat, Silber/Silberchlorid, Kalomel oder Quecksilber/Quecksilbersulfat.

Bezugspotenzial

Potenzial einer Bezugselektrode bezogen auf die Standardwasserstoffelektrode.

elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit einer Phase ist der Kehrwert des spezifischen elektrischen Widerstandes dieser Phase und wird durch eine Widerstandsmessung an Testkörpern gegebener Abmessung ermittelt.

elektrische Trennung

Aufheben einer metallenen Verbindung zwischen zwei Bauteilen oder innerhalb eines ausgedehnten Leiters mithilfe eines Isolierstückes.

elektrische Verbindung

Elektrisch leitende Verbindung zwischen zwei Bauteilen.

elektrochemische Korrosion

Korrosion, bei der elektrochemische Vorgänge stattfinden. Sie laufen ausschließlich in Gegenwart einer Ionen leitenden Phase ab. Hierbei muss die Korrosion nicht unmittelbar durch einen elektrolytischen Metallabtrag bewirkt werden, sie kann auch durch Reaktion mit einem elektrolytisch erzeugten Zwischenprodukt (z. B. atomarer Wasserstoff) erfolgen.

Elektrode

Elektronen leitender Werkstoff in einer Ionen leitenden Phase, z. B. Metall/Wasser. Das System Elektrode/Ionen leitende Phase ist eine sog. Halbzelle.

Elektrodenpotenzial

Elektrochemisches Potenzial eines Metalles oder eines Elektronen leitenden Festkörpers in einer Ionen leitenden Phase.

Anmerkung: Das Elektrodenpotenzial kann nur als eine elektrische Spannung gegen eine Bezugs- elektrode gemessen werden. Im Schrifttum werden zuweilen Potenziale auch als Bezugsspannungen bezeichnet.

Elektrodenreaktion

Elektrochemische Reaktion an der Phasengrenze Elektrode/Ionen leitende Phase unter Durchtritt von Elektronen durch die Phasengrenze.

Elektrolyt

Ionen leitende Phase. Im Allgemeinen handelt es sich hierbei um das Korrosionsmedium (wässrige Salzlösung oder Salzschnmelze), es kann sich aber auch um Ionen leitende Korrosionsprodukte handeln.

elektrolytische Leitfähigkeit

Elektrische Leitfähigkeit eines Ionen leitenden Korrosionsmediums.

elektrochemische Oxidations- und Reduktionsreaktionen

Elektrodenreaktionen (*siehe dort*).

Die kathodischen Teilschritte der Korrosion stellen Reduktionsreaktionen dar.

Die anodischen Teilreaktionen der Korrosion stellen Oxidationsreaktionen dar.

elektrolytische Verbindung

Elektrische Verbindung durch ein Ionen leitendes Korrosionsmedium.

Elektrolytwiderstand

Kehrwert der elektrolytischen Leitfähigkeit.

Fremdkathode

Fremdes Bauteil in einem gemeinsamen Elektrolyten (Wasser, Erdboden, Beton), das ein positiveres Potenzial als das betrachtete metallische Bauteil hat und mit diesem metallleitend verbunden ist. Durch diese Verbindung kann ein Korrosionselement gebildet werden, bei dem das betrachtete Bauteil die Anode darstellt und Werkstoffabtrag erleiden kann.

Fremdkontakt

Unbeabsichtigte metallene Verbindung mit einer fremden Elektrode (Bauteil). Durch den Fremdkontakt wird ein Kontaktelement ermöglicht bzw. kann eine Fremdkathode gebildet werden.

galvanisches Element (Galvanische Zelle)

Anode und Kathode, die sowohl metallisch als auch elektrolytisch leitend verbunden sind.

Inhibitor

Eine Substanz im Medium, die geeignet ist, die Korrosionsgeschwindigkeit zu verringern.

Ionen leitende Phase

siehe Elektrolyt

Kathode

Elektrode, an der ein Gleichstrom aus der Ionen leitenden Phase in das Metall eintritt (technische Strom- richtung). Demgemäß werden durch die damit verbundene(n) Reaktion(en) Elektronen vom Metall in den Elektrolyten geliefert.

In Korrosionssystemen sind die Kathoden jene Stellen, wo das im Medium vorhandene Oxidationsmittel reagiert. Bei diesen Reaktionen handelt es sich zumeist um die Reduktion von Sauerstoff oder um Wasserstoffbildung.

In wässrigen Lösungen wird der pH-Wert an der Kathode im Allgemeinen erhöht.

kathodischer Teilstrom

Bei Korrosionssystemen der durch Reaktion des Oxidationsmittels erzeugte Strom.

Kontaktelement

Korrosionselement, dessen Anoden und Kathoden aus unterschiedlichen Metallen und/oder Elektronen leitenden Festkörpern bestehen.

Konzentrationselement

Korrosionselement, dessen anodische und kathodische Bereiche durch örtlich unterschiedliche Konzentration von bestimmten Stoffen an der Metalloberfläche hervorgerufen werden.

Korrosionspotenzial

Elektrodenpotenzial eines Metalls unter den jeweiligen Korrosionsbedingungen, sowohl ohne („freies Korrosionspotenzial“) als auch mit von außen eingebrachten elektrischen Strömen.

Lokalelement

Kleinräumiges Korrosionselement aus Anoden- und Kathodenflächen.

Makroelement

Ein großräumig ausgedehntes Korrosionselement.

metallene Leitfähigkeit

Elektrische Leitfähigkeit eines Elektronenleiters (Metall).

Mischelektrode oder Mehrfachelektrode

Elektrode, an der mehr als eine Elektrodenreaktion abläuft. Korrodierende Metalloberflächen, an denen neben der anodischen (Metallauflösung) gleichzeitig auch die kathodische Teilreaktion (z. B. Sauerstoffreduktion) abläuft, sind Mischelektroden.

Mischpotenzial

Korrosionspotenzial einer Mischelektrode. Mischelektroden haben auf ihrer Oberfläche örtlich unterschiedliche Mischpotenziale, da das Verhältnis von anodischem und kathodischem Anteil an der Gesamtreaktion örtlich unterschiedlich sein kann. Besonders ausgeprägt ist dies bei Lokalkorrosion. Bei sehr kleinen Anoden- und/oder Kathodenflächen und in Ionen leitenden Phasen mit hoher elektrischer Leitfähigkeit ist nur ein Mittelwert der Mischpotenziale messbar.

Normalpotenzial

Gleichgewichtspotenzial für eine Elektrodenreaktion unter Standardbedingungen (25 °C, Partialdrucke von Gasen 1 bar, Aktivitäten gelöster Stoffe gleich 1). Das Normalpotenzial der Wasserstoffelektrode wird hierbei willkürlich gleich 0 gesetzt.

Normalpotenzialwerte stellen rein thermodynamische Daten dar und sind als solche zur Beurteilung von praktischen Korrosionssystemen völlig ungeeignet. Für die Praxis existieren technische Spannungsreihen, in denen gemessene freie Korrosionspotenziale realer Werkstoffe in realen Medien aufgelistet sind.

Spannungsreihe

Eine Reihung von Elektrodenreaktionen entsprechend ihren Normalpotenzialen oder von metallischen Werkstoffen entsprechend ihrer freien Korrosionspotenziale in einem bestimmten Medium (Elektrolyten).

Streustrom

Streustrom ist der in dem Ionen leitenden Korrosionsmedium fließende Strom, der von nicht-isolierten, Strom führenden Leitern in diesem Medium stammt und von elektrischen Anlagen geliefert wird. Bei Streustrom kann es sich sowohl um Gleichstrom als auch um Wechselstrom handeln.

Stromdichte

Auf die geometrische Flächeneinheit bezogener Strom. Die geometrische Fläche unterscheidet sich von der wahren Elektrodenoberfläche durch die Rauheit.

Ströme

Die Richtung des Gleichstroms kennzeichnet den Wanderungssinn positiver Ladungsträger und den entgegengesetzten Sinn negativer Ladungsträger (technische Stromrichtung). Demgemäß ist die Fließrichtung von Elektronen umgekehrt zur technischen Stromrichtung.

2.7.2 Korrosionsarten

atmosphärische Korrosion

Korrosion, hervorgerufen durch die Bestandteile der Atmosphäre. Das Angriffsmittel Atmosphäre ist infolge des variablen Witterungseinflusses, der unterschiedlichen Verunreinigungen, der Schwankungen der Feuchte und der Temperatur wenig einheitlich.

Belüftungselemente

Durch örtlich unterschiedliche Sauerstoff-Konzentration entstehendes Korrosionselement, bei dem die weniger belüfteten Stellen verstärkten Abtrag erleiden.

Berührungskorrosion

Örtlich beschleunigte Korrosion bei Berührung mit einem Fremdkörper. Die Korrosionsart kann hierbei entweder eine Spaltkorrosion (Berührung mit einem elektrisch nicht leitenden Festkörper) oder eine Kontaktkorrosion (Berührung mit Elektronen leitendem Festkörper) sein.

Bodenkorrosion

Korrosion in Erdböden.

Bodenaggressivität

Klassifizierungssystem zur Einteilung der Korrosivität von Böden

Erosionskorrosion

Zusammenwirken von Erosion und Korrosion. Die Kombination führt zu höheren Abtragsraten als die Einzelanteile.

Filiformkorrosion, Filigrankorrosion (auch: Wurmfraßkorrosion und Schneckenspurkorrosion)

Fadenförmige Angriffsform unter atmosphärischer Korrosionsbelastung. Charakteristisch ist, dass die Tiefe des Angriffs nur mehrere Mikrometer beträgt, d. h. praktisch auf die Oberfläche beschränkt ist. Tritt auf an organisch beschichteten und an anodisierten Bauteilen aus Aluminiumwerkstoffen, seltener an Eisenwerkstoffen.

Fremdströme (Irrströme)

siehe Streuströme

gleichmäßiger Flächenabtrag

Korrosionsform, bei der der metallische Werkstoff von der Oberfläche her annähernd gleichförmig abgetragen wird.

interkristalline Korrosion

Korrosion, die entlang der Korngrenzen des Metallgefüges auftritt.

Kavitationskorrosion

Zusammenwirken von Korrosion und Kavitation, wobei die Korrosion durch örtliche Verformungen und Zerstörungen der Schutzschicht ausgelöst wird.

Kondenswasserkorrosion (Schwitzwasserkorrosion)

Korrosion durch kondensierenden Wasserdampf, der sich bei Taupunktunterschreitung auf Metalloberflächen niederschlägt.

Kontaktkorrosion

Bildung galvanischer Elemente infolge elektrochemisch ungünstiger Werkstoffpaarungen.

Laugenkorrosion

Metallauflösung durch Laugen, d. h. konzentrierte alkalische Lösungen.

Laugensprödigkeit

Spannungsrissskorrosion durch konzentrierte Laugen.

Lokalkorrosion

Korrosion, bei der der Werkstoffabtrag nur örtlich begrenzt auftritt.

Lochfraß

Lokalkorrosion, die zu kraterförmigen nadelstichartigen Vertiefungen und am Ende zur Durchlöcherung führt.

mikrobiell beeinflusste Korrosion

Korrosionsart, die durch mikrobiologische Aktivität hervorgerufen wird und meist zu örtlichen Korrosionserscheinungen führt.

Muldenkorrosion

Örtlich unterschiedlicher Werkstoffabtrag unter Bildung muldenförmiger Vertiefungen.

Sauerstoffkorrosion

Korrosion durch Sauerstoff als Oxidationsmittel.

Säurekorrosion

Korrosion durch Säuren unter Wasserstoffentwicklung

Schichtkorrosion

Selektiver Angriff im Bereich der Seigerungszone von gepressten und gewalzten Metallen, der zum Aufblättern und/oder Aufwölben des Werkstoffs führt. Die „echte“ Schichtkorrosion betrifft hauptsächlich Bleche aus Aluminiumlegierungen, wird aber gelegentlich auch bei Stahl gefunden.

Schmutzteilchenkorrosion

Korrosion durch Schmutzteilchen, die sich in Wasser führenden Leitungen festsetzen. Solche Schmutzteilchen können metallischer oder nichtmetallischer Natur sein, z. B. Späne vom Gewindeschneiden oder Sand.

Schwingungsrissskorrosion

Verformungsarme, meist transkristalline Rissbildung in Metallen bei Zusammenwirkung von mechanischer Wechselbeanspruchung und Korrosion. Tritt die Rissbildung nach niedrigen Lastspielzahlen (hohe Belastung) auf, spricht man von Kurzzeit-Korrosionsermüdung.

Anmerkung: Im Gegensatz zur Spannungsrissskorrosion gibt es für die Schwingungsrissskorrosion keine kritischen Grenzbedingungen hinsichtlich des Korrosionssystems und der Belastungshöhe.

Selektive Korrosion

Bevorzugte Korrosion bestimmter Gefügebestandteile (Phasen eines metallischen Werkstoffes), beispielsweise Entzinkung von Messing.

Spaltkorrosion

Örtliche Korrosion in Spalten (Breite kleiner 0,5 mm) und Vertiefungen, oft durch ungünstige Konstruktion und/oder Montage verursacht.

Spannungsrissskorrosion

Rissbildung mit inter- oder transkristallinem Verlauf in Metallen unter Einwirkung bestimmter Korrosionsmedien bei rein statischen oder mit überlagerten niederfrequenten schwellenden Zugbeanspruchungen.

Kennzeichnend ist eine verformungsarme Trennung, oft ohne Bildung sichtbarer Korrosionsprodukte. Zugspannungen können auch als Eigenspannungen im Werkstück vorliegen.

Anmerkung: Spannungsrisskorrosion in Elektrolytlösungen ist dadurch gekennzeichnet, dass kritische Grenzbedingungen hinsichtlich des Korrosionssystems (Korrosionsmedium und Werkstoff), des Potentials und der Höhe und Art der mechanischen Beanspruchungen vorliegen.

Stillstandskorrosion

Korrosion, die während betrieblicher Stillstandszeiten auftritt.

2.7.3 Korrosionserscheinungen

Entzinkung

Korrosionsform bei Kupfer-Zinklegierungen (Messing) durch Auflösen des Zinks unter Bildung von porösem Kupfer.

fadenförmige Angriffsform

Korrosionsform eines örtlichen Angriffs mit fadenförmiger Ausbildung vorzugsweise unter dünnen Beschichtungen (*siehe auch Filiformkorrosion*).

gleichmäßiger Flächenabtrag

Korrosionsform, bei der der metallische Werkstoff von der Oberfläche her annähernd gleichförmig abgetragen wird.

Korrosionsrisse

Korrosionsform, bei der Risse auftreten. Die Risse gehen vielfach von der Oberfläche des Werkstoffs aus, können aber auch im Inneren entstehen.

Lochkorrosion

Folge des Lochfraßes.

schichtförmiger Korrosionsangriff

Folge der Schichtkorrosion.

Spongiose

Selektiver Angriff am Gusseisen bei mangelhafter Schutzschichtbildung unter Auflösung des metallischen Werkstoffs. Dabei bleibt häufig die ursprüngliche Gestalt des Werkstücks erhalten.

2.7.4 Korrosionsprodukte

Feste, flüssige oder gasförmige Reaktionsprodukte, die als Folge der Korrosion eines metallischen Werkstoffs entstehen.

Flugrost

Die beginnende Rostbildung auf Eisen und Stahl an der Atmosphäre.

Fremdrost

Ablagerungen von Rost auf fremden Metalloberflächen.

Grünspan

Kupferacetat, d. h. das Korrosionsprodukt von Kupfer in Essigsäure.

Patina

Korrosionsprodukte von Kupfer und Kupferwerkstoffen unter atmosphärischer Korrosionsbelastung. Je nach Bildungsbedingungen schwarz bis grün.

Rost

Bei der Korrosion von Eisen und Stahl entstandene, vorwiegend oxidische und hydroxidische Korrosionsprodukte (ausgenommen Zunder).

Weißrost

Korrosionsprodukt von Zink.

Zunder

Oxidische Korrosionsprodukte des Eisens, entstanden bei hohen Temperaturen.

2.7.5 Reaktionsschichten**Deckschicht**

Durch Korrosion gebildete Schicht aus festen Reaktionsprodukten, die die Oberfläche mehr oder weniger gleichmäßig und dicht bedeckt. Hierdurch kann die Korrosion verlangsamt werden.

Passivschicht

Lichtmikroskopisch häufig nicht nachweisbare Schutzschicht aus Korrosionsprodukten.

2.7.6 Oberflächenbehandlung – Korrosionsschutz**Anstriche und Beschichtungen**

Herstellen einer oder mehrerer Schichten durch Aufbringen von in der Regel organischen Beschichtungen zur Abtrennung des Mediums vom zu schützenden Werkstoff.

anodischer Korrosionsschutz

Elektrochemische Maßnahme zur Anhebung des Potentials eines Werkstoffs in einem elektrolytisch leitfähigen Medium (Potentialverschiebung in anodische Richtung) mit dem Ziel der Passivierung.

Beizen

Entfernen von Oxiden, z. B. Walz- oder Schmiedezunder, Rost und anderen Metallverbindungen von der Oberfläche durch chemische oder elektrolytische Behandlung.

Passivieren

Chemische Behandlung zum Aufbau einer möglichst gut ausgebildeten Passivschicht. Der Vorgang selbst führt i. A. nicht zu merklichem Werkstoffabtrag.

elektrolytisches Metallabscheiden

Herstellen einer Metallschicht durch kathodische Metallabscheidung aus einem Elektrolyten (syn.: Galvanisieren).

Emaillieren

Herstellen einer oder mehrerer Schichten auf einer Oberfläche durch Aufschmelzen einer vorzugsweise glasig erstarrenden Masse oxidischer Zusammensetzung. Höchste Korrosionsbeständigkeit wird durch Mehrschicht-Emaillierung erreicht.

Fremdstromanode

Anode einer kathodischen Korrosionsschutzanlage.

galvanische Überzüge

Durch elektrolytisches Metallabscheiden hergestellte Überzüge oder Überzugskombinationen.

kathodischer Korrosionsschutz

Elektrochemische Maßnahme zur Absenkung des Potentials eines Werkstoffs in einem elektrolytisch leitfähigen Medium (Verschiebung des Potentials in kathodische Richtung). Dies kann durch Fremdanoden mit Fremdstromgeräten, mittels Opferanoden oder auch durch metallische Überzüge (z. B. Zink) erfolgen.

Opferanode (galvanische Anode)

Elektrode aus einem unedlen Metall mit einem negativeren Potenzial als das zu schützende Objekt, findet Anwendung beim kathodischen Korrosionsschutz.

Phosphatieren

Herstellen einer Schicht, die im Wesentlichen aus Phosphaten besteht, durch Behandeln von Metallen mit phosphathaltigen Lösungen, wobei die Behandlung im Tauch- oder Spritzverfahren erfolgen kann. Die so hergestellten Schichten bieten ohne nachfolgende Behandlungsverfahren einen zeitlich begrenzten Korrosionsschutz.

Strahlen

Entfernen unerwünschter Stoffe (z. B. Rost, Zunder, alte Anstriche) von der Oberfläche durch Bestrahlen mit abrasiven Strahlmitteln (z. B. Sand, Korundpartikel) oder auch durch kurzzeitiges Erwärmen durch einen Flammstrahlwärmer.

Hochdruckwasserstrahlen.

Durch Kugelstrahlen kann die Werkstoffoberfläche gezielt mit Druckeigenspannungen versehen werden, was eine Maßnahme gegen Spannungsrisskorrosion darstellt.

3 Organische Werkstoffe

3.1 Allgemeines zu Kunststoffen

Die Werkstoffkunde definiert Kunststoffe als makromolekulare organische Stoffe bzw. organische Polymere. Kunststoffe basieren auf der besonderen Fähigkeit des Kohlenstoffatoms, durch Bindung zu weiteren Kohlenstoffatomen kettenförmige oder eben bzw. dreidimensional vernetzte Makromoleküle ($M > 10.000$) aufzubauen, die bei Raumtemperatur äußerst stabil sind.

IUPAC (International Union for Pure and Applied Chemistry) definiert Polymere als „Substanzen mit Molekülen, die aus sich wiederholenden konstitutiven Einheiten (Monomere) bestehen – so groß, dass sich die Eigenschaften nicht ändern würden, wenn man einige wenige dieser Einheiten hinzufügt oder entfernt“.

Die Herstellung von Kunststoffen erfolgt durch z. B. Polymerisation, ein chemisches Syntheseverfahren, das aus niedermolekularen organischen Verbindungen Polymere aufbaut. Das Polymer an sich stellt noch keinen verarbeitbaren und für den praktischen Einsatz geeigneten Werkstoff dar. Dies erfordert die Zugabe von Additiven, die in ihrer Art und Funktion auf die Grundeigenschaften des jeweiligen Polymers und den beabsichtigten Einsatzbereich abgestimmt werden.

Aus der Vielzahl der Möglichkeiten, aus geeigneten chemischen Grundstoffen Polymere aufzubauen, resultiert die Vielfalt der Kunststoffe mit ihren zum Teil recht unterschiedlichen Eigenschaften. Trotz beträchtlicher individueller Unterschiede, vor allem was das mechanische Verhalten betrifft, zeigen Kunststoffe doch einige grundlegende und für alle typische Merkmale. Es sind dies:

- geringe Dichte
- hohe Chemikalienbeständigkeit
- hohes elektrisches Isolationsvermögen
- eingeschränkte Temperaturbeständigkeit
- Empfindlichkeit gegenüber energiereicher Strahlung (Licht, UV-Strahlung)
- Brennbarkeit.

Der chemische Aufbau, die Größe (Molekulargewicht), Gestalt und die räumliche Anordnung der Makromoleküle haben großen Einfluss auf die Eigenschaften des jeweiligen Kunststoffes und sind maßgeblich für deren individuelles mechanisches, chemisches und thermisches Verhalten verantwortlich.

Diese Unterschiede auf der molekularen Ebene dienen als Basis für eine grundlegende Einteilung der Kunststoffe, die folgende Gruppen unterscheidet:

- Thermoplaste
- Elastomere
- Duromere.

3.1.1 Thermoplaste

Kunststoffe, die aus kettenförmigen nicht vernetzten Makromolekülen aufgebaut sind, erweichen beim Erwärmen bis zum Fließen und sind in diesem Zustand nahezu beliebig formbar. Beim Abkühlen werden sie wieder fest und diese Vorgänge sind theoretisch beliebig oft wiederholbar. Diese Art von Kunststoffen wird als Thermoplaste bezeichnet. Auf molekularer Ebene sind sie dadurch gekennzeichnet, dass die kettenförmigen Makromoleküle untereinander nicht chemisch verknüpft sind. Im festen Zustand werden die Molekülketten durch physikalische Wechselwirkungen (intermolekulare Kräfte) in einer fixen Lage zu einander gehalten.

Die mit einer Erwärmung einhergehende Zunahme der Molekülbewegung schwächt die zwischenmolekularen Kräfte, der Kunststoff verhält sich zunehmend plastisch. Sobald die zwischenmolekularen Kräfte völlig überwunden und die Moleküle frei beweglich sind, beginnt der Kunststoff zu fließen. Die Temperatur, bei der sich längere Abschnitte der Molekülketten frei bewegen können, wird als Glasübergangstemperatur bezeichnet und ist für den jeweiligen Kunststoff charakteristisch.

Thermoplaste, deren Molekülketten im festen Zustand räumlich völlig ungeordnet und ineinander verschlungen vorliegen, zeigen ein glasartiges Gefüge und Verhalten. Sie befinden sich bei Gebrauchstemperatur im Glaszustand, sind klar, fest und hart, aber auch sehr spröde. Es handelt sich um amorphe thermoplastische Kunststoffe.

Zu den amorphen Thermoplasten zählen: PVC, Polystyrol und PMMA („Plexiglas“).

Kommt es unter dem Einfluss zwischenmolekularer Kräfte dazu, dass sich die Molekülketten über Teilstrecken parallel anordnen oder falten und zwischen den Faltungen parallel lagern, entstehen geordnete Strukturen (einem Kristallgitter vergleichbar), die als **Kristallite** bezeichnet werden. Man spricht von teilkristallinen Kunststoffen. Teilkristallin deshalb, da sich eine parallele Ausrichtung bzw. Faltung nie über die gesamte Länge eines Makromoleküls erstreckt. Zwischen den Kristalliten befinden sich stets amorphe Bereiche und Kunststoffe erreichen max. einen **Kristallinitätsgrad** von ca. 80 %. In den Kristalliten sind die zwischenmolekularen Abstände geringer, die zwischenmolekularen Kräfte stärker und die Dichte ist deutlich höher als in amorphen Bereichen. Das Vorhandensein von Kristalliten beeinflusst das thermische, mechanische und chemische Verhalten von Kunststoffen. Beim Überschreiten der Glasübergangstemperatur beginnen zunächst die amorphen Bereiche zu erweichen, die kristallinen Bereiche bleiben aufgrund der höheren zwischenmolekularen Kräfte noch fixiert. Da alle Moleküle sowohl amorphe als auch kristalline Abschnitte aufweisen, bleibt der Kunststoff fest, auch wenn die amorphen Bereiche bereits fließen. Erst wenn die Temperatur ausreicht, um die Kristallstruktur der Kristallite aufzulösen und diese schmelzen, beginnt der Kunststoff zu fließen. Bei teilkristallinen Thermoplasten ist neben der Glasübergangstemperatur auch der Kristallschmelzpunkt ein charakteristisches Merkmal.

In teilkristallinen Kunststoffen erweichen die amorphen Teilbereiche oft schon bei sehr tiefen Temperaturen – bei Polyethylen z. B. bereits bei $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Das erklärt die Tatsache, dass teilkristalline Kunststoffe bei Raum- bzw. Gebrauchstemperatur fest und hart, aber nicht spröde, sondern zäh sind. Diese Zähigkeit ist auf die Beweglichkeit der Molekülsegmente in den bereits erweichten amorphen Bereichen zurückzuführen.

Zu den teilkristallinen Kunststoffen zählen: Polyethylen, Polypropylen, Polyamide und manche Polyester.

3.1.2 Elastomere

Das wesentliche Merkmal von Elastomeren ist, dass sie sich unter dem Einfluss von Zug oder Druck sehr leicht verformen, nach dem Wegfall äußerer Krafteinwirkung jedoch in ihren Ausgangszustand zurückkehren (Gummielastizität). Dieses Verhalten resultiert aus ihrem molekularen Aufbau aus kettenförmigen Makromolekülen, die an einigen Stellen über chemische Bindungen miteinander verbunden sind und ein loses weitmaschiges Netz bilden. Die zwischen den Vernetzungspunkten verschlungen vorliegenden Kettenteile gleiten unter dem Einfluss von Zug oder Druck aneinander ab und werden gestreckt. Nach dem Wegfall der äußeren Kraft „federn“ sie infolge der Verknüpfung wieder in die Ausgangslage zurück.

Beim Erwärmen nimmt die Verformbarkeit zu, Elastomere erweichen nicht und beginnen weder zu fließen noch zu schmelzen, da die Moleküle auch bei Überwindung zwischenmolekularer Kräfte durch die Wärmebewegung nicht frei beweglich werden. Reicht die zugeführte Wärmeenergie aus, um die chemischen Verknüpfungen zwischen den Ketten zu trennen, beginnt bereits die Zersetzung des Kunststoffs. Durch das Aufbrechen der Vernetzungen kommt

es zu einer Zerstörung des Molekülgerüsts, die durch Abkühlen nicht wieder rückgängig zu machen ist.

Elastomere sind bei Gebrauchstemperatur weich- oder gummielastisch, bei tiefen Temperaturen hartelastisch. Zu den Elastomeren zählen sämtliche „Gummiwerkstoffe“ (SBR, NBR, Naturkautschuk etc.).

3.1.3 Duromere

In Duromeren liegen die Makromoleküle in Form eines dichten räumlichen Netzwerkes vor. Infolge der engmaschigen Vernetzung sind die Moleküle wenig flexibel und Duromere sind bei Gebrauchstemperatur sehr hart und meist spröde. Sie sind nicht schmelzbar aber thermisch, chemisch und mechanisch sehr widerstandsfähig. Die auf chemischen Bindungen beruhenden starken Vernetzungen werden erst bei relativ hohen Temperaturen aufgebrochen und bis dahin behalten Duromere ihre Festigkeit. Duromere sind demzufolge nur zu dem Zeitpunkt, an dem die Makromoleküle vernetzen, formbar, d. h., dass sie bei der Herstellung in die gewünschte Form gebracht werden müssen.

Zu den duroplastischen Kunststoffen zählen: ungesättigte Polyesterharze (werden für die Herstellung von glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) eingesetzt), Epoxidharze, Polyurethane, Phenol-Formaldehyd-Harze und Melamin Formaldehyd-Harze.

3.1.4 Kunststoff im Wasserfach – Liste relevanter Normen

Produktnormen für bestimmte Anwendungen berücksichtigen das Anforderungsprofil und damit auch das Korrosionsverhalten in der Praxis, wie es in den folgenden Kapiteln beschrieben ist.

Durch geeignete, im Gesamtprodukt enthaltene Schutzmaßnahmen wie beispielsweise Auskleidungen und Beschichtungen wird eine bestimmungsgemäße Funktion der Bauteile unter Langzeitaspekten sichergestellt.

Produktnormen unterliegen Veränderungen nach dem Stand der Technik bzw. des Wissens. Die angeführten Normen im gesamten Arbeitspapier sind auf den Stand der Drucklegung geprüft.

Alle aktuell und künftig gültigen Normen sind z. B. unter www.gris.at, www.as-institute.at, www.ovgw.at oder www.gwt.at abrufbar.

3.1.4.1 Polyethylen

Wasserversorgung

- ÖNORM B 5159 – Kunststoff-Rohrsysteme aus Polyethylen mit erhöhter Temperaturbeständigkeit (PE-RT) für Heiß- und Kaltwasserinstallationen – Abmessungen, Anforderungen, Prüfungen, Nachweis der Normkonformität.
- ÖNORM EN 12201 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Polyethylen (PE), Teil 1–5.
- ÖNORM EN ISO 15875 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Vernetztes Polyethylen (PE-X), Teil 1–3 und 5.
- ÖNORM EN ISO 21003 – Mehrschichtverbund-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation innerhalb von Gebäuden, Teil 1–5.

Abwasser

- ÖNORM EN 1519 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme zum Ableiten von Abwasser (niedriger und hoher Temperatur) innerhalb der Gebäudestruktur – Polyethylen (PE) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem.

- ÖNORM EN 12666 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen – Polyethylen (PE), Teil 1 und 2.
- ÖNORM EN 13244 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erd- und oberirdisch verlegte Druckrohrleitungen für Brauchwasser, Entwässerung und Abwasser – Polyethylen (PE), Teil 1–5.
- ÖNORM EN 13476 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE), Teil 1–3.

3.1.4.2 Polypropylen

Wasserversorgung

- ÖNORM B 5174 – Rohre aus Polypropylen für Sonderanwendungen – Abmessungen, Anforderungen, Prüfungen, Nachweis der Normkonformität.
- ÖNORM EN ISO 15874 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Polypropylen (PP), Teil 1–3 und 5.

Abwasser

- ÖNORM EN 1451 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme zum Ableiten von Abwasser (niedriger und hoher Temperatur) innerhalb der Gebäudestruktur – Polypropylen (PP), Teil 1 und 2.
- ÖNORM EN 1852 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen – Polypropylen (PP).
- ÖNORM EN 13476 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE), Teil 1–3.
- ÖNORM EN 14758 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen – Polypropylen mit mineralischen Additiven (PP-MD).
- ONR 20513 – Vollwand-Kunststoff-Rohrleitungssystem mit mehrschichtigem Wandaufbau aus Polypropylen (PP-ML) für drucklose erdverlegte Abwasserleitungen und -kanäle – Anforderungen an Rohre und Formstücke und an das Rohrleitungssystem – Abmessungen, Prüfungen, Gütesicherung.

3.1.4.3 Polyvinylchlorid

Wasserversorgung

- ÖNORM EN 1452 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U). Teil 1–5.
- ÖNORM EN ISO 15877 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Chloriertes Polyvinylchlorid (PVC-C) Teil 1–3 und 5.

Abwasser

- ÖNORM EN 1329 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme zum Ableiten von Abwasser (niedriger und hoher Temperatur) innerhalb der Gebäudestruktur – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U).
- ÖNORM EN 1401 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U).
- ÖNORM EN 13476 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE), Teil 1–3.

3.1.4.4 Polybuten

- ÖNORM EN ISO 15876 – Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Polybuten (PB) Teil 1–3 und 5.

3.1.4.5 Glasfaserverstärkter Kunststoff

- ÖNORM B 5130-1 – Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke aus gefüllten Reaktionsharz-Formstoffen (Polymerbeton) – Abmessungen, Werkstoff, Kennzeichnung.
- ÖNORM B 5130-2 – Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke aus gefüllten Reaktionsharz-Formstoffen (Polymerbeton) – Anforderungen, Prüfungen und Gütesicherung.
- ÖNORM B 5161 – Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung sowie für Abwasserleitungen und -kanäle mit oder ohne Druck – Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke aus glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK) auf der Basis von ungesättigtem Polyesterharz (UP) – Ergänzende Anforderungen zu den ÖNORMEN EN 1796 und EN 14364 sowie Verfahren für den Nachweis der Normkonformität.
- ÖNORM B 5163 – Rohrleitungssysteme für drucklose Abwasserleitungen und -kanäle – Nicht-kreisrunde Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke aus glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK) auf der Basis von ungesättigten Polyesterharzen (UP) – Abmessungen, Anforderungen, Prüfungen und Verfahren für den Nachweis der Normkonformität.

3.1.5 Kurzzeichen für Kunststoffe

Polyethylen	– PE
HDPE oder PE-HD	– high density PE
LDPE oder PE-LD	– low density PE
LLDPE oder PE-LLD	– linear low density PE
MDPE oder PE-MD	– medium density PE
UHMW-PE oder PE-UHMW	– ultra high molecular weight PE
PE-RT	– PE mit erhöhter Temperaturbeständigkeit (raised temperature)
PE-X	– PE vernetzt
Polypropylen	– PP
Polybuten	– PB
Polyvinylchlorid	– PVC
PVC-C	– PVC chloriert
PVC-U	– PVC ohne Weichmacherzusatz (unplasticized)
PVC-P	– PVC mit Weichmacherzusatz (plasticized)
Polystyrol	– PS
EPS	– geschäumtes PS (z. B. „Styropor“ = Markenname Fa. BASF)
Polytetrafluorethylen	– PTFE (z. B. „Teflon“ = Markenname Fa. DuPont)
Polyamid	– PA
Polyoxymethylen	– POM
Polycarbonat	– PC
Polyethylenterephthalat	– PET
Ungesättigte Polyesterharze	– UP
Glasfaserverstärkte Polyesterharze	– GF-UP
Phenol-Formaldehyd-Harze	– PF
Melamin-Formaldehyd-Harze	– MF
Epoxidharze	– EP
Silicone	– SI
Glasfaserverstärkter Kunststoff	–

3.2 Korrosion von Kunststoffen

3.2.1 Allgemeines

Aufgrund ihres chemischen Aufbaues sind für Kunststoffe elektrochemische Korrosionsvorgänge nicht relevant. Die Bezeichnung Korrosion war und ist daher im Zusammenhang mit Kunststoffen weniger gebräuchlich.

Im Sinne der Definition von *W. Schwenk (siehe Kapitel 1.1)* können jedoch alle chemischen und/oder physikalischen Wechselwirkungen zwischen einem Kunststoff und dem umgebenden Medium, die mit einem Stofftransport zwischen Kunststoff und Medium verbunden sind und zu Veränderungen am Kunststoff und seinen Eigenschaften führen, als Korrosion verstanden werden.

Für Kunststoffe korrosionsfördernde Bedingungen sind:

- korrosive chemische Medien
- spannungsrisssauslösende Medien
- thermisch-oxidativer Angriff
- atmosphärische Einflüsse (Luftsauerstoff, UV-Licht, Temperatur)

Für das Auftreten von Kunststoffkorrosion im Wasser- und Abwasserfach sind nur die beiden erstgenannten Faktoren relevant – Beständigkeit gegen Chemikalien und Anfälligkeit für Spannungsrisssbildung. Im Zuge der Lagerung sind aber auch die atmosphärischen Einflüsse zu beachten.

Je nach Art der Wechselwirkung zwischen Kunststoff und Medium unterscheidet man zwei Arten von Korrosionsmedien:

- Physikalisch aktive Medien, die mit den Polymeren nicht reagieren, aber zu Quellung bis Auflösung und zu reversiblen Änderungen der Kunststoffeigenschaften führen. Sie können Zusatzstoffe auslaugen, wodurch sich die Eigenschaften von Kunststoffen allerdings irreversibel ändern. Beispiele für physikalisch aktive Medien sind Kohlenwasserstoffe wie Hexan, Benzin usw. Die Wirkungsweise physikalisch aktiver Medien beruht auf einer Schwächung der zwischenmolekularen Kräfte, wodurch die Beweglichkeit der Moleküle steigt und dementsprechend Festigkeit und Härte abnehmen.
- Chemisch aktive Medien, die mit den Polymeren reagieren oder Reaktionen auslösen (katalysieren) können und seine Eigenschaften irreversibel verändern. Für Polymere charakteristisch ist, dass bereits geringe chemische Veränderungen deutliche Änderungen im physikalischen (mechanischen) Verhalten hervorrufen können.

Die Veränderung der mechanischen Eigenschaften von Kunststoffen durch korrosive Medien ist in hohem Maße von der Diffusionsmöglichkeit des Mediums in das Polymer abhängig. Je höher die Diffusionsgeschwindigkeit, desto schneller erfolgt auch die mechanische Veränderung.

Die Beständigkeit von Kunststoffen gegen physikalisch aktive Medien lässt sich durch den Vergleich der Polaritäten abschätzen. Als Faustregel gilt, dass die Beständigkeit mit zunehmendem Polaritätsunterschied zwischen Kunststoff und einwirkendem Medium steigt. Die Polarität chemischer Verbindungen lässt sich in Form des sog. Löslichkeitsparameters angeben (= Quadratwurzel der Kohäsionsenergiedichte).

Löslichkeitsparameter verschiedener Kunststoffe und Medien

Kunststoff	Löslichkeitsparameter
Polytetrafluorethylen	6,20
Polyethylen	7,90
Polypropylen	8,20
Polybuten	7,85
Polystyrol	8,70
Naturkautschuk	8,10
Synthesekautschuk	8,10
PVC	9,60
PET	10,70
Polyamid	13,60

Medium	Löslichkeitsparameter
Hexan	6,30
Cyclohexan	8,20
Butylacetat	8,50
Toluol	8,80
Benzol	9,04
Chloroform	9,20
Aceton	9,90
Essigsäure	10,10
Ammoniak	12,20 bis 16,30
Methanol	14,50
Wasser	23,40 bis 24,20

Chemisch aktive Medien reagieren direkt mit den Makromolekülen, führen zum Abbau der Makromoleküle und in der Folge zu sehr starken Beeinträchtigungen der Gebrauchseigenschaften von Kunststoffen.

Kunststoffe, deren Makromoleküle von einer reinen Kohlenstoffkette gebildet werden, wie z. B. Polyethylen, Polypropylen und Polybuten, sind gegen Säuren, Laugen, Salzlösungen und schwache Oxidationsmittel beständig. Sind die konstitutionellen Einheiten (*siehe Kapitel 3.1*) nicht über Kohlenstoffatome verbunden, sondern über Stickstoff (Polyamide), Sauerstoff (Polyester) oder Schwefel (Gummi), so sind diese Verknüpfungspunkte bevorzugte Angriffspunkte für chemische Korrosion durch Hydrolyse (Wasser, Alkohole).

Wie alle anderen Eigenschaften ist auch die Chemikalienbeständigkeit von Kunststoffen temperaturabhängig und nimmt mit steigender Temperatur des Mediums ab. Vor allem die Geschwindigkeit der Zerstörung durch chemisch aktive Medien nimmt mit steigender Temperatur exponentiell zu.

Die individuellen Beständigkeiten von Kunststoffen gegen Chemikalieneinwirkung sind unterschiedlich und ebenso wie die mechanischen und thermischen Eigenschaften von deren chemischer Zusammensetzung und Struktur abhängig. Sie lassen sich für bestimmte Kunststofftypen durch Faktoren wie Molekulargewicht, Molekulargewichtsverteilung, Dichte und Additive konkret beeinflussen und verbessern, was im Rahmen der jeweiligen anwendungsspezifischen Materialentwicklung geschieht.

In diesem Sinne haben tabellarische Angaben zur Chemikalienbeständigkeit von Kunststoffen immer nur orientierenden Charakter. Genauere Angaben zur Chemikalienbeständigkeit konkreter „Paarungen“ von Kunststofftypen und Medium sind bei den jeweiligen Materialherstellern verfügbar.

Tabelle 3: Chemikalienbeständigkeit ausgewählter Kunststoffe (Richtwerte)

	PE	PP	PVC	Poly- styrol	PMMA	Polytetra- fluorethylen	POM	Poly- amide	Poly- carbonat	PET	UP-Harze	PF-Harze	MF- Harze	Siikon- harze
Wasser kalt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Wasser heiß	• ¹⁾	+	• ¹⁾	+	+	+	+	•	•	-	•	•	+	+
Säuren schwach	+	+	+	+	•	+	•	-	+	+	•	•	•	+
Säuren stark	+	-	+	•	-	+	-	-	•	•	-	-	-	-
Säuren oxidierend	-	-	•	-	-	+	-	-	•	•	-	-	-	•
Laugen schwach	+	+	+	+	+	+	+	+	-	•	-	+	+	-
Laugen stark	+	+	+	+	•	+	+	•	-	-	-	-	-	+
anorganische Salz- lösungen	+	+	+	+	+	+	+	+	•	+	+	+	+	+
Halogene ²⁾	-	•	•	-	•	+	-	-	+	-	-	-	-	-
aliphatische KW	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
aromatische KW	•	•	-	-	•	+	•	•	-	+	+	•	+	-
chlorierte KW	•	-	-	-	-	+	+	•	-	•	-	•	+	-
Alkohole	+	+	+	+	-	+	+	+	•	+	+	+	+	-
Ester	+	•	-	-	-	+	-	+	•	+	•	•	+	-
Ketone	+	•	-	-	-	+	•	+	•	+	-	+	+	+
Aldehyde ²⁾	•	+	-	-	+	+	•	•	-	-	-	-	-	-
Amine ²⁾	+	+	•	+	+	+	•	+	-	-	-	-	-	-
organische Säuren	+	•	•	•	-	+	+	•	•	+	-	•	•	+
Kraftstoffe	•	•	-	-	-	+	+	+	•	+	+	•	+	•
Mineralöl	+	+	•	•	+	+	+	+	+	+	+	+	+	•
Fette, Öle	•	+	•	+	+	+	+	•	+	+	+	+	+	+

+beständig

-unbeständig

•bedingt beständig

¹⁾Die chemische Beständigkeit von PE und PVC Werkstoffen gegenüber „Wasser heiß“ ist grundsätzlich gegeben. Zu berücksichtigen ist jedoch die jeweilige Einsatztemperatur (nähere Details siehe ISO/TR 10358).

²⁾In Einzelfällen keine Angaben vorliegend.

3.2.2 Spannungsrisskorrosion

Unter **Spannungsrisskorrosion** von Kunststoffen versteht man das Entstehen von Rissen weit unter der Streckgrenze, hervorgerufen durch die gleichzeitige Einwirkung einer mechanischen Belastung (Zug, Druck, Deformation) und eines bestimmten Mediums. Die Rissbildung erfolgt aus sog. „Crazes“ (Mikrohohlräume, die mit stark verstreckten Polymerfibrillen überbrückt sind) heraus, die von lokal begrenzten starken Deformationen und Fließzonen verursacht werden.

Zur Spannungsrisskorrosion neigende Kunststoffe können auch einreißen und mechanisch versagen, wenn sie nicht einer äußeren mechanischen Beanspruchung ausgesetzt sind, sondern aufgrund innerer Spannungen, die bei der Verarbeitung entstehen und nicht vollständig relaxieren können.

Bei Kontakt mit bestimmten Medien ändern sich die mechanischen Eigenschaften des Kunststoffes. Das Material gibt den Spannungen nach, es kommt zur Ausbildung lokaler Fließzonen, die Überbrückung vorhandener Crazes bricht und es kommt zur Rissbildung.

Die Anfälligkeit einzelner Kunststoffe für Spannungsrissbildung ist unterschiedlich stark ausgeprägt und auch die Art der spannungsrissauslösenden Medien ist je nach Kunststoff sehr verschieden.

Beispiele für spannungsrissfördernde Medien:

Polyethylen: Tenside, Netzmittel, langkettige Alkohole
Polystyrol: aliphatische Kohlenwasserstoffe, Ketone, Öle/Fette
Polycarbonat: Alkohole, Kohlenwasserstoff, Aceton

3.2.3 Korrosion und Zeitstandfestigkeit von Kunststoffen

Bei korrosiven Medien bei druckloser Anwendung ist die Beständigkeitstabelle (*Tabelle 3*) dem jeweiligen Einsatzzweck entsprechend zur Anwendung zu bringen.

Die Zeitstandfestigkeit – das Verhalten unter langfristig einwirkender mechanischer Beanspruchung (Kriechen) – ist für den praktischen Einsatz von Kunststoffen ein wichtiger und charakteristischer Kennwert. Die mechanischen Eigenschaften von Kunststoffen sind im Gegensatz zu Metallen in Bezug auf das Verformungsverhalten stärker abhängig von Zeit und Temperatur, welches in den jeweiligen Zeitstanddiagrammen der Produktnormen beschrieben ist. Kriechen kann als zeit- und temperaturabhängiger Vorgang durch die Einwirkung von Chemikalien stark beeinflusst werden.

Unter diesem Gesichtspunkt sind Aussagen zur Chemikalien- bzw. Korrosionsbeständigkeit von Kunststoffen, die aufgrund von Kontaktversuchen ohne mechanische Belastung gewonnen werden, nur als Anhaltspunkte für die Beurteilung des tatsächlichen Verhaltens in der praktischen Anwendung zu verstehen. Sie spielen im Zusammenhang mit der Auswahl von Werkstoffen für einen bestimmten Einsatzzweck eine wichtige Rolle.

Die gezielte Abschätzung bzw. Berechnung der Gebrauchsdauer von Kunststoffen, die im Rahmen der Werkstoff- und Produktentwicklung erfolgt, basiert auf Langzeitversuchen (z. B. Zeitstandfestigkeitsversuche, unter anderem Zeitstandinnendruckprüfungen). Dabei zeigen sich die Zusammenhänge zwischen mechanischer und thermischer Beanspruchung, die für das tatsächliche Verhalten und die Lebensdauer eines Bauteiles relevant sind.

Um die Eignung zu überprüfen, sollten in Abhängigkeit von der Kunststoff-Medium-Paarung derartige Versuche auch mit dem zu erwartenden Medium durchgeführt werden.

3.2.4 Korrosionsbeständigkeit einzelner Kunststoffe in wässrigen Medien

Polyethylen

Polyethylen ist aus gesättigten Kohlenwasserstoffketten aufgebaut, die nur eine sehr geringe chemische Reaktivität zeigen. Es ist daher gegen Chemikalien sehr beständig. Wasser, Säuren, Laugen, anorganische Salze und deren wässrige Lösungen und auch organische Lösemittel greifen Polyethylen bei Temperaturen bis 40 °C nicht an.

Aufgrund seines völlig unpolaren chemischen Aufbaus ist Polyethylen gegen Wasser äußerst beständig und zeigt nur eine sehr geringe Wasseraufnahme. Verunreinigungen sowie bestimmte Zusatzstoffe wie z. B. SiO₂ oder Ruß erhöhen allerdings die Wasseraufnahme von Polyethylen. Mit zunehmender Temperatur steigt der Einfluss der Wassereinwirkung auf die Eigenschaften von Polyethylen, v. a. bei langzeitiger mechanischer Beanspruchung.

Für den Einsatz in der Warmwasserversorgung und Heizungstechnik stehen speziell für diesen Anwendungsbereich entwickelte Polyethylentypen (PE-RT) zur Verfügung.

Im Allgemeinen sind anorganische Salze nicht in der Lage, in Polyethylen einzudringen, auch nicht aus wässrigen Lösungen heraus. Aus diesen Lösungen diffundiert lediglich in geringen Mengen Wasser, wobei mit zunehmender Salzkonzentration die Wasseraufnahme sogar abnimmt.

Aus dem Wasser eindiffundierende Schwermetallionen, insbesondere Kupferionen, können an mechanisch belasteten Bauteilen die Rissbildung fördern.

Wässrige Lösungen anorganischer Säuren verursachen – sofern sie nicht oxidierend sind – keine Veränderungen am Material. Flüchtige Säuren wie z. B. Salzsäure oder Flusssäure dringen zwar grundsätzlich in Polyethylen ein und können somit zu Materialveränderungen führen, von den im Abwasser anzutreffenden Konzentrationen sind aber keine Beeinträchtigungen zu erwarten.

Empfindlich ist Polyethylen gegen oxidierende Säuren wie z. B. Salpetersäure, Schwefelsäure und deren wässrige Lösungen.

Im Kaltwasserbereich ist Polyethylen gegen wässrige Lösungen von Chlor und Brom gut beständig. Die dabei in der Wasserversorgung üblichen Stoßchlorierungen mit kurzfristig sehr hohen Konzentrationen (> 10 mg/l) sind im Allgemeinen unproblematisch, aber im jeweiligen Anwendungsfall unter Angabe der Anwendungstemperatur mit dem Produkthersteller abzustimmen.

Bei Temperaturen über 60 °C greifen wässrige Lösungen von Chlor und Brom Polyethylen langfristig an.

Polypropylen

Polypropylen ist ähnlich wie Polyethylen aus gesättigten Kohlenwasserstoffketten mit sehr geringer chemischer Reaktivität aufgebaut und daher hinsichtlich seiner Beständigkeit dem Polyethylen sehr ähnlich. Im Vergleich zu Polyethylen ist es weniger anfällig für Spannungsrisskorrosion und temperaturbeständiger.

Polypropylen enthält jedoch an tertiäre Kohlenstoffatome gebundene Wasserstoffatome und ist daher gegen oxidierende Medien deutlich empfindlicher als Polyethylen.

Im Warmwasserbereich, wo Polypropylen aufgrund seiner besseren Temperaturbeständigkeit eingesetzt wird, ist daher seine Empfindlichkeit gegen Chlor bei Temperaturen über 60 °C zu beachten. Die in der Warmwasserversorgung sensibler Bereiche (Krankenhäuser, Altenhei-

me, Sanatorien, Hotels u. Ä.) zunehmend anzutreffende Dauerchlorierung ist für Polypropylen problematisch.

Aus dem Wasser eindiffundierende Schwermetallionen, insbesondere Kupferionen, können an mechanisch belasteten Bauteilen die Rissbildung fördern.

Polybuten

Die Beständigkeit und Korrosionsfestigkeit von Polybuten im wässrigen Milieu ist derjenigen von Polypropylen vergleichbar bzw. sogar besser. Es handelt sich ebenfalls um einen aus gesättigten Kohlenwasserstoffketten aufgebauten Kunststoff mit sehr geringer chemischer Reaktivität. Polybuten wird aufgrund seiner Heißwasserbeständigkeit bevorzugt in der Warmwasserversorgung und der Heizungsinstallation eingesetzt.

Die Empfindlichkeit gegenüber chlorhaltigem Heißwasser ist geringer als im Fall von Polypropylen, langfristig ist der Kontakt aber ebenfalls problematisch.

Polyvinylchlorid

Im Gegensatz zu den bisher genannten Kunststoffen, die durchwegs aus reinen Kohlenwasserstoffketten aufgebaut sind (= Sammelbegriff Polyolefine) enthält Polyvinylchlorid ein reines „Kohlenstoffgerüst“, an das jedoch nicht nur Wasserstoff-, sondern auch Chloratome gebunden sind. (Wasserstoff : Chlor = 3 : 1). PVC ist im Gegensatz zu den Polyolefinen ein amorpher Kunststoff und unterscheidet sich auch hinsichtlich seiner Chemikalienbeständigkeit von den Polyolefinen. Es ist gegenüber organischen Medien empfindlicher.

Bei Temperaturen bis 40 °C ist PVC sehr beständig gegen Wasser, Säuren, Laugen, anorganische Salze und deren wässrige Lösungen. Angegriffen wird es von starken Oxidationsmitteln, aromatischen Kohlenwasserstoffen und polaren organischen Lösungsmitteln (z. B. Aceton).

Im Bereich der Wasserversorgung wird PVC-U aufgrund seiner beschränkten Temperaturbeständigkeit nur im Kaltwasserbereich eingesetzt. Im Bereich Abwasser (drucklos) sind PVC-U-Systeme mit bestandener Temperaturwechselprüfung einsetzbar.

Im Bereich der Hausinstallation (kalt und warm) kann PVC-C, eine spezielle bis 90 °C temperaturbeständige PVC-Variante, eingesetzt werden.

Glasfaserverstärkte Polyesterharze (GF-UP)

Glasfaserverstärkte Polyesterharze sind Verbundwerkstoffe, die aus ungesättigten Polyesterharzen (sie verfügen in ihren kettenförmigen Makromolekülen noch über reaktive Stellen für eine Vernetzung), gelöst in einem reaktionsfähigen Monomer (meist Styrol, wirkt als Vernetzer), und Glasfasern bzw. -matten hergestellt werden. Das Fertigprodukt ist ein mit Glasfasern verstärkter duroplastischer Kunststoff.

Ungesättigte Polyesterharze werden durch die Reaktion von gesättigten und ungesättigten Dicarbonsäuren und Glykolen hergestellt.

Die Herstellung von Produkten aus GF-UP erfolgt schichtweise durch das Übereinanderlagern von mit Harzlösung getränkten Glasfasern oder Glasfasergeweben. Mit dem Aufbringen der nächsten Lage wird begonnen, wenn die vorherige Lage „anhärtet“. Dieser Vorgang kann sowohl händisch (Handlaminieren) oder maschinell (Faserspritzen, Wickeln, Schleudern) erfolgen. Rohre und Behälter werden entweder im Wickel- oder Schleuderverfahren produziert.

Für die Korrosionsbeständigkeit von GF-UP sind folgende Faktoren relevant:

- die chemische Beständigkeit des verwendeten UP-Harzes

- die Korrosionsfestigkeit der Glasfasern
- die Qualität der Verarbeitung

Die Schwachstelle von UP-Harzen hinsichtlich Chemikalienbeständigkeit ist die Estergruppe. Sie ist dafür verantwortlich, dass UP-Harze bei Einwirkung von alkalischen Medien zur hydrolytischen Spaltung neigen. Andererseits ergibt sich aus dem polaren Charakter der Estergruppe eine sehr gute Beständigkeit gegen Kohlenwasserstoffe.

Die Zusammensetzung des Glases zur Herstellung der Glasfasern beeinflusst die Beständigkeit von GF-UP. Günstig ist hydrolysefestes alkalifreies Borsilikatglas.

Wesentlichen Einfluss auf die Korrosionsfestigkeit von GF-UP hat die Verarbeitung. Während die Diffusion von korrosiven Medien im Harz sehr langsam verläuft, dringen sie entlang der Glasfasern sehr rasch vor und stören die Haftung zwischen Harz und Fasern. Die Oberfläche von Produkten aus GF-UP, die mit Medien in Kontakt treten, muss daher völlig frei von herausragenden Glasfasern sein. In der Praxis muss dies durch eine ausreichende Deckschicht aus chemikalienbeständigem Harz sichergestellt werden.

Die Korrosionsfestigkeit von GF-UP im wässrigen Milieu ist bei Temperaturen unter 40 °C gut. Sie sind gegen Wasser, anorganische Säuren und neutrale Lösungen anorganischer Salze beständig, wobei aromatische Strukturen im Polyester-molekül die Beständigkeit erhöhen. Das zeigt sich bei Temperaturen über 40 °C, wo Harze auf Basis von Phthal- und Isophthalsäure, wie sie häufig für den Trinkwasserkontakt verwendet werden, keine ausreichende Beständigkeit mehr zeigen. Harze auf Basis von Vinylestern oder Bisphenol A sind dagegen bis 70 °C beständig.

Wässrige Chlidlösungen greifen GF-UP bei Raumtemperatur nicht an. Empfindlicher sind GF-UP gegen oxidierende Säuren und Alkalien. Auch verdünnte Alkalien können langfristig zum hydrolytischen Abbau führen.

Die Korrosionsbeständigkeit von GF-UP lässt sich allerdings durch die Wahl des Harzes in einem sehr weiten Bereich steuern.

Korrosionsschutz

Korrosionsschutz im Sinne schützender Überzüge, Beschichtungen u. Ä. ist für Kunststoffe unüblich. Korrosionsschutz von Kunststoffen erfolgt vielmehr bei der Herstellung des Materials, indem man seine Zusammensetzung und Struktur für einen bestimmten Einsatz optimiert.

Dies geschieht zum einen auf der Ebene der Polymere durch Steuerung des Molekulargewichtes, der Molekulargewichtsverteilung und den damit verbundenen Strukturveränderungen wie Dichte und Kristallinität, zum anderen durch Zugabe geeigneter Additive (v. a. UV- und Oxidationsstabilisatoren) vor bzw. während der Verarbeitung.

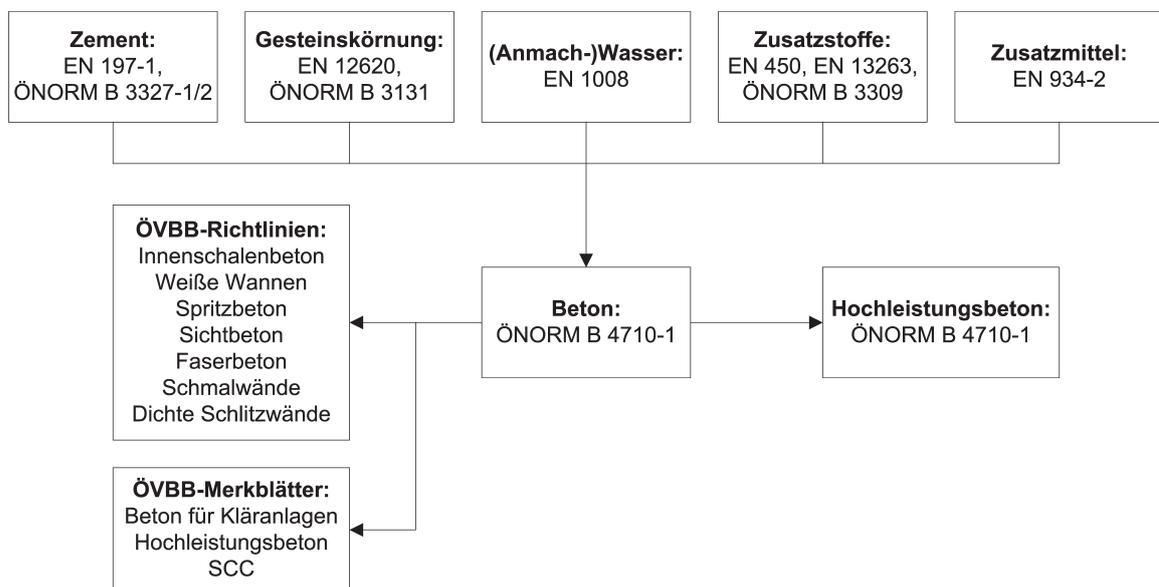
4 Mineralische Werkstoffe

4.1 Zementgebundene Werkstoffe

4.1.1 Einleitung

Die Werk- bzw. Baustoffe Beton, Putz- und Mauermörtel, Estrich und Faserzement bestehen im Allgemeinen aus dem hydraulischen Bindemittel Zement, mineralischen Zuschlagsstoffen (Gesteinskörnungen) und Wasser. Durch die Beigabe von Betonzusatzmitteln (z. B. Fließmittel, Betonverflüssiger, Luftporenbildner, Verzögerer, Beschleuniger), Betonzusatzstoffen (z. B. Flugasche, Hüttensand) oder Fasern können zusätzlich die Verarbeitungs-, Gebrauchs- und Güteeigenschaften dieser Baustoffe, speziell auch im Zusammenhang mit Korrosionseigenschaften, beeinflusst werden.

Nachstehend sind in einer vereinfachten Übersicht die relevanten Normen, Richtlinien und Merkblätter dargestellt.



4.1.2 Zement

Allgemeines

Die Zementarten sind derzeit gemäß europäischer Zementnorm EN 197-1 geregelt. Die Bezeichnungen richten sich im Wesentlichen nach dem Anteil an Zuschlagstoffen wie Kalkstein (L), kieselsäurereiche Flugasche und Hüttensand. Die Festigkeitsklassen (32,5 – 42,5 – 52,5) beziehen sich auf die Druckfestigkeit nach 28 Tagen. Die Buchstaben N bzw. R nach der Festigkeitsbezeichnung beziehen sich auf die Frühfestigkeitsentwicklung. N steht für normale, R für schnellere Festigkeitsentwicklung. Zusätzlich zur EN 197-1 wurden in Österreich die Zementnormen ÖNORM B 3327-1 und ÖNORM B 3327-2 eingeführt. Die ÖNORM B 3327-1 regelt Zementeigenschaften wie beispielsweise Frühfestigkeit, Temperaturentwicklung oder Mahlfineinheit für spezielle Anwendungen wie Tunnelinnenschalen, weiße Wannen oder Straßendeckenbeton. Die ÖNORM B 3327-2 stuft hingegen die Zemente nach ihrer Sulfatbeständigkeit ein.

Tabelle 4: Zementbezeichnungen

nach EN 197-1 (Anm.: Festigkeiten können variieren)	Mögliche Zusatzbezeichnungen gem. ÖNORM B 3327-1 oder ÖNORM B 3327-2	Verpackungs- farbe
CEM II / A-S 32,5 R		
CEM II / A – M 42,5 N	(DZ)	grau
CEM II / A-V 32,5 R		
CEM II / A-L 32,5 R		
CEM II/A–M (S,V,L) 32,5 R	WT 38	schwarz
CEM II/A-S 42,5 R	WT 42	grün
CEM II/A-V 42,5 R		
CEMII / A-M (S,V,L) 42,5 R		schwarz
CEM I / 32,5 R HS*		
CEM I / 42,5 R HS*		
CEM I /52,5 R		blau
CEM II / B-S 32,5 R		rot
CEM III/ A 32,5 R		violett
CEM II / B-M (S,V,L) 32,5 R (auch N)		
CEM II / B-V 32,5 R (auch N)		
CEM I 32,5 R	WT 33 C ₃ A-frei/GHS C ₃ A-frei	
CEM I 42,5 R	WT 38 C ₃ A-frei/HS C ₃ A-frei	

Tabelle 5: Zusatzstoffarten mit Kurzbezeichnung

Zusatzstoffarten	Kurzbezeichnung
Hüttensand	S
Silikatische Flugasche	V
Kalkreiche Flugasche	W
Mikrosilica	D
Kalkstein (TOC < 0,5 % Masse)	L
Mixture mit Angabe der Komponenten, z. B. M (S, V, L)	M

Tabelle 6: Bezeichnung der Zusatzstoffmengen

CEM I	Nur Zumahlung < 5 %
CEM II / A	Zumahlung von 6 bis 20 % Masse
CEM II / B	Zumahlung von 21 bis 35 % Masse
CEM III / A	Zumahlung von 36 bis 65 % Masse (nur S)

Reagiert Zement mit Wasser, so bildet sich nach der Erstarrungszeit, die wesentlich vom Gipsanteil im Zement bestimmt wird, der sogenannte Zementstein. Bei dieser Reaktion wird auch ein erheblicher Anteil an Calciumhydroxid (Ca(OH)₂) freigesetzt. Dieses Ca(OH)₂ bzw. ein pH-Wert von ca. 12,5 sind für den Korrosionsschutz der Stahlbewehrung verantwortlich. Damit ist Beton im alkalischen Milieu beständig, jedoch im sauren oder lösenden Bereich nur bedingt beständig bzw. widerstandsfähig. Diese Widerstandsfähigkeit wird erst durch spezielle betontechnologische Maßnahmen maßgeblich beeinflusst.

Neben dem lösenden ist der treibende ein wesentlicher chemischer Angriff auf Beton, bei dem erhärteter Beton durch sulfat- oder gipshaltige Wässer geschädigt werden kann. Sulfatbeständige oder C₃A-freie Zemente gem. ÖNORM B 3327-2 sind hier Voraussetzung, um den Beton nachhaltig zu schützen.

Tabelle 7: Bezeichnung der Festigkeitsklassen

CEM 32,5	Minimum: 32,5 MPa	Maximum: 42,5 MPa
CEM 42,5	Minimum: 42,5 MPa	Maximum: 52,5 MPa
CEM 52,5	Minimum: 52,5 MPa	Maximum: unbegrenzt

für eine Druckfestigkeit nach 28 Tagen (1 MPa = 1 N/mm²)

4.1.3 Beton

Allgemeines

Beton kann als Ortbeton oder in Form von vorgefertigten Bauteilen angewendet werden. Die Betonbauteile können bewehrt (schlaff oder vorgespannt) oder unbewehrt sein.

Grundsätzlich werden Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis von Beton seit 01.01.2002 gem. neuer österreichischer Betonnorm ÖNORM B 4710-1 geregelt. Die wesentliche betontechnologische Grundlage bildet der Wasser/Bindemittel-Wert W/B, der abhängig von den jeweiligen Umgebungsbedingungen bzw. Expositionsklassen festgelegt ist.

Theoretisch kann Zement 40 % seiner Masse an Wasser chemisch und physikalisch binden. Dies entspricht einem Wasser/Bindemittel-Wert von 0,4. Will man nun Beton widerstandsfähiger gegen chemische oder physikalische Einwirkungen gestalten, so nähert man sich – im einfachsten Ansatz – diesem Wert von 0,4 bzw. unterschreitet diesen, wie im Falle von Hochleistungsbeton gem. ÖNORM B 4710-1 (Hochleistungsbeton im Siedlungswasserbau für Expositionsklassen XA3L und XA3T). Durch diese W/B-Wert-Absenkung wird der Anteil der Porosität und damit die angreifbare (innere) Oberfläche des Betons verringert. Natürlich bedarf es auch weiterer begleitender betontechnologischer Maßnahmen, um die Leistungsfähigkeit bzw. Dauerhaftigkeit zu verbessern. Eine solche Maßnahme ist beispielsweise die Zugabe künstlicher Luftporen bei frost- bzw. frosttaumittelbeständigen Betonen (Expositionsklassen XF2, XF3, XF4).

Grundsätzlich kommt der Dichtigkeit der Betonbauteile in vielen Bereichen eine bedeutende Rolle zu. Aus diesem Grund sollten Temperaturspannungen im Beton so weit wie möglich vermieden werden, damit es nicht zu Rissbildungen kommt. Die relevanten Regelwerke beschränken aus diesem Grund die Frischbeton- und Erhärtungstemperaturen für spezielle Anwendungen. Parallel dazu werden Zemente gefordert, die eine möglichst niedere Hydrationswärme aufweisen, wie beispielsweise C₃A-freie Zemente.

Die ÖNORM B 4710-1 fasst die wesentlichen Anforderungen an die jeweiligen Umgebungsbedingungen im Kapitel 5 (Tabelle NAD 10) zusammen. Der Einbau von Beton wird in Kapitel 14 behandelt, wobei dem Unterkapitel 14.4 (Nachbehandlung) eine wesentliche Rolle zukommt, um den Beton im jungen Alter zu schützen.

Tabelle 8: Druckfestigkeiten bei der Konformitätsprüfung

nach ÖNORM B 4710-1	
Festigkeitsklasse	MW von 3 Prüfungen N/mm ²
C8/10	15
C12/15	20
C16/20	26
C20/25	31
C25/30	37
C30/37	44
C40/50	58
C50/60	69

Tabelle 9: Verdichtungsmaßklassen nach Tabelle 5 der ÖNORM B 4710-1

Klasse	Verdichtungsmaß	Beschreibung
C0	mindestens 1,46	sehr steif
C1	1,45 bis 1,26	steif
C2	1,25 bis 1,11	steif plastisch
C3 ^a	1,10 bis 1,04	—
C4 ^a	unter 1,04	—

^a ... in Österreich nicht relevant

Tabelle 10: Ausbreitmaßklassen nach Tabelle 6 der ÖNORM B 4710-1

Klasse	Klassenbezeichnung in Österreich	Ausbreitmaß (Durchmesser) mm	Beschreibung
F1 ^a	—	≤ 340	—
F2	F38	350 bis 410	plastisch
F3	F45	420 bis 480	weich
F4	F52	490 bis 550	sehr weich
F5	F59	560 bis 620	fließfähig
F6 ^a	— F66 F73	≥ 630 630 bis 690 700 bis 760	— sehr fließfähig extrem fließfähig

^a ... in Österreich nicht relevant

Tabelle 10: Gegenüberstellung von Betonsorten

Klasse nach ÖNORM B 4710-1	Betonsorten in		
	Richtlinien ÖVBB	RVS	EN 1536 EN 1538
X0			
XC1			
B2			
B3	LPV		
B5			
B6/C3A-frei			
B7	FTB	FTB	
B8			Pkt. 5.6 – EN 1536 und EN 1538 für Einbau im Trockenen
B9			Pkt.5.6 – EN 1536 für Einbau unter Wasser oder Stützflüssigkeit
.../W40	.../BS1		
.../W45	.../BS2		
...RS/W40	.../WDI		

4.1.4 Chemische Beanspruchung

Allgemeines

Chemische Beanspruchungen bzw. Korrosionsvorgänge laufen bei zementgebundenen Baustoffen in der Regel langfristig ab. Der Umfang der Korrosion wird in erster Linie von der Konzentration der angreifenden Stoffe, den Transportbedingungen und von der Einwirkungsdauer beeinflusst. Hinsichtlich dieser chemischen Angriffe ist zwischen den Einwirkungen und der Beanspruchung auf die Innenfläche des Bauwerkes und den Beanspruchungen durch Boden- und Grundwasser auf der Außenseite der Bauteile zu unterscheiden.

Im Zusammenhang mit Korrosionsgefährdungen allgemein sind Grenzwerte bei nachfolgenden Inhaltsstoffen zu beachten:

- pH-Wert
- Mg
- SO₄
- NH₄
- Ca
- kalklösende Kohlensäure

Eine H₂S-Konzentration > 2,5 mg/l sollte wegen möglicher biogener Schwefelsäurebildung nicht überschritten werden. Bei einem H₂S-Gehalt von > 10 mg/l ist mit einem starken Korrosionsangriff zu rechnen.

Neben der Durchsatzgeschwindigkeit (Fließgeschwindigkeit) wirkt sich auch die Häufigkeit der Reinigungsvorgänge mit ihren mechanischen Einflüssen auf die Betonoberfläche besonders aus. Bei Abwasser wird diesbezüglich auf die Bestimmungen der jeweils letztgültigen ÖNORM B 2503 hinsichtlich Aggressivitätsstufen und zulässigen Sulfatgehalt verwiesen. Weitere diesbezügliche Angaben sind aus Tabelle 1 des ATV-Merkblattes M 168 zu entnehmen.

Auf das bei einer Denitrifikation im Abwasser im vermehrten Maße entstehende CO₂ und den dadurch stärker lösenden Angriff in Kläranlagen ist besonders zu achten.

Bei Böden mit geringem Puffervermögen sind oft säurehaltige Wasservorkommen (bedingt durch Kohlensäure und Huminsäure etc.) anzutreffen. Hier ist eine gesonderte Beurteilung der dadurch gegebenen Beanspruchung notwendig.

Betonwiderstand

Bezüglich Grenzwerte für zeitweilige oder kurzzeitige Beanspruchung (Sonderfall), wenn z. B. die Gefahr eines Störfalles nicht ausgeschlossen werden kann, sodass die angeführten Grenzwerte nicht eingehalten werden können, enthält die ÖNORM B 4710-1 darüber Angaben bzw. gilt nachfolgende angepasste Tabelle.

Tabelle 11

Angriff z. B. durch	Ausreichender Betonwiderstand ¹⁾ gegeben bei einer Beanspruchung		
	zeitweilig	kurzzeitig	bei Einhaltung folgender Anforderungen an den Beton
	Grenzwerte im Abwasser		
weiches Wasser	entfällt	entfällt	XA2L gemäß ÖNORM B 4710-1
anorganische Säuren, z. B. Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure	pH-Wert: ≥ 5	pH-Wert: ≥ 4	
organische Säuren	pH-Wert: ≥ 6	pH-Wert: ≥ 4	
kalklösende Kohlensäure (CO ₂)	≤ 60 mg/l	≤ 100 mg/l	
Magnesium (Mg ²⁺)	≤ 3.000 mg/l	keine Begrenzung	wie oben mit CEM III/A-S oder CEM 3 % C ₃ A
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	≤ 100 mg/l		
Sulfat (SO ₄ ²⁺)	≤ 1.000 mg/l		wie oben mit CEM C ₃ A-frei
	≤ 5.000 mg/l		

¹⁾ .. Unter ausreichendem Betonwiderstand wird ein so langsamer Betonabtrag verstanden, dass während der geforderten Lebensdauer eines Bauwerkes die notwendigen Mindestüberdeckungen zum Schutz der Bewehrung erhalten bleiben. Dabei ist starke mechanische Belastung der Oberflächen (z. B. durch Reinigung mittels Hochdruckreiniger) zu vermeiden.

Unter einer „zeitweiligen“ Beanspruchung (Spalte 2) ist eine Beanspruchung zu verstehen, die während längerer Zeiträume, z. B. zwischen zwei Inspektionsterminen, im Laufe von zehn Betriebsjahren in der Größenordnung von maximal einem Jahr einwirkt. Diese besonderen Bedingungen können planmäßig für notwendige Arbeiten an technischen Einrichtungen genutzt werden, die sich unvermeidbar über eine längere Zeitspanne erstrecken.

Zur Abdeckung von unplanmäßigen Betriebszuständen, bei denen für kurze Zeit höhere Beanspruchungen entstehen, gelten die unter „kurzzeitig“ aufgeführten Grenzwerte (Spalte 3). Solche kurzen Ereignisse sind für Korrosionen als unkritisch anzusehen, wenn sie höchstens einmal pro Woche für maximal eine Stunde eintreten.

Die chemische Beanspruchung von Betonbauteilen durch Boden- und Grundwasser ist nach ÖNORM B 4710-1 zu beurteilen und hinsichtlich des Angriffsgrades einzustufen. Die sich daraus ergebenden betontechnologischen Anforderungen sind den angeführten Bestimmungen zu entnehmen und derartig anzupassen, dass langfristig ein schadensfreier Zustand erzielt wird. Bei den Korrosionsangriffen durch Boden- und Grundwasser sind vor allem Sulfate und freie Kohlensäure von Bedeutung.

Tabelle 12: Expositionsklassen nach ÖNORM B 4710-1

X0	Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko
XC	Korrosion ausgelöst durch Karbonatisierung
XD	Korrosion verursacht durch Chloride
XF	Frostangriff mit und ohne Taumittel
XA	Chemischer Angriff
XM	Verschleiß

Tabelle 13: Korrosion ausgelöst durch Karbonatisierung

	Planung	Anforderung
XC1	Permanent trocken (Wohn- und Bürobereich) Permanent nass (Fundamente im Grundwasser)	$W/B \leq 0,70$ Bindemittel $\geq 260 \text{ kg/m}^3$
XC2	Nass, selten trocken (Hallenbäder, Viehställe) Nicht drückendes Grundwasser (keine Anforderung an die Dichtheit)	$W/B \leq 0,65$ Bindemittel $\geq 260 \text{ kg/m}^3$
XC3	Wasserdruck 2–10 m Wasserbauten, dichte Bauwerke	$W/B \leq 0,60$ Bindemittel $\geq 280 \text{ kg/m}^3$
XC4	Wasserdruck > 10 m Wasserbauten, dichte Bauwerke	$W/B \leq 0,50$ Bindemittel $\geq 300 \text{ kg/m}^3$

Tabelle 14: Korrosion durch Chloride

	Planung	Anforderung
XD1	Mäßig feucht (chloridhaltige Sprühnebel)	$W/B \leq 0,55$ Bindemittel $\geq 300 \text{ kg/m}^3$
XD2	Nass, selten trocken (Schwimmbäder, chloridhaltige Industrie- abwasser)	$W/B \leq 0,55$ Bindemittel $\geq 300 \text{ kg/m}^3$
XD3	Wechselnd nass, feucht (Parkdecks)	$W/B \leq 0,45$ Bindemittel $\geq 320 \text{ kg/m}^3$

Tabelle 15: Chemischer Angriff

	Planung (Dauerbelastung)	Anforderung
XA1	Schwach (L, T) (ÖNORM: LS, TS)	W/B ≤ 0,55 Bindemittel ≥ 300 kg/m ³ Treibend: CEM I HS max. 3 % C ₃ A)
XA2	Mittel (L,T) (ÖNORM: LST, TST)	W/B ≤ 0,45 Bindemittel ≥ 360 kg/m ³ Treibend: CEM I HS C ₃ A-frei Lösend: Zuschlag ≤ 4 mm CO ₂ ≤ 15 %
XA3	Stark (L, T) (ÖNORM B 4710-1)	W/B ≤ 0,35 + MS Bindemittel ≥ 430 kg/m ³ Treibend: CEM I HS C ₃ A-frei Lösend: Zuschlag ≤ 4 mm CO ₂ ≤ 2 %

Umwelteinflüsse

Im speziellen Fall von Bauwerken für Wassersammlung, -transport und -behandlung werden zementgebundene Baustoffe in vielfältiger Form eingesetzt bzw. sind diese Umwelteinflüssen im Zusammenhang mit wässrigen bzw. chemischen Lösungen ausgesetzt. Tabelle 2 der ÖNORM B 4710-1 fasst die wesentlichen Angriffsarten zusammen und unterteilt diese, je nach Art und Größe, in die Expositionsklassen XA1L bis XA3L bzw. XA1T bzw. XA3T. Damit ist es der ausschreibenden Stelle möglich, die geeignete Betonsorte zu wählen.

Tabelle 16

ÖNORM B 4710-1. Tabelle 2 bzw. gemäß ÖNORM EN 206-1					
Grenzwerte für chemischen Angriff bei natürlichen Böden und Grundwässern					
Angriffsart	Chemisches Merkmal	Referenzprüfverfahren	XA1	XA2	XA3
Grundwasser					
Treibend (T)	SO ₄ ²⁻ mg/l	EN 196-2	≥ 200 ≤ 600	> 600 ≤ 3000	> 3000 ≤ 6000
Lösend (L)	pH-Wert	ISO 4316	≤ 6,5 ≥ 5,5	< 5,5 ≥ 4,5	< 4,5 ≥ 4,0
Lösend (L)	CO ₂ mg/l	prEN 13577	≥ 15 ≤ 40	> 40 ≤ 100	> 100
Lösend (L)	NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1 ISO 7150-2	≥ 15 ≤ 30	> 30 ≤ 60	> 60 ≤ 100
Lösend (L)	Mg ₂ ⁺ mg/l	ISO 7980	≥ 300 ≤ 1.000	> 1.000 ≤ 3.000	> 3.000
Boden					
Treibend (T)	SO ₄ ²⁻ mg/kg	EN 196-2	≥ 2.000 ≤ 3.000	> 2.000 ≤ 12.000	> 12.000 ≤ 24.000
Lösend (L)	Säuregrad	DIN 4030-2	> 200	Nicht relevant	

Aggressivitätsstufen

Hinsichtlich des Betons für Baumaßnahmen im Siedlungswasserbau gelten die Bestimmungen der ÖNORM B 4710-1 betreffend Hochleistungsbeton im Siedlungswasserbau (HL-SW-Beton) bzw. sind in der ÖNORM B 2503 die Aggressivitätsstufen des Abwassers und Grundwassers hinsichtlich der Kanäle aus zementgebundenen Werkstoffen angeführt. Die Tabelle (die beiden darunter) gelten für Beton, bezüglich Rohrkanälen aus Faserzement wird auf die Tabellen 4 und 5 der ÖNORM B 2503 (2009) verwiesen.

Tabelle 17: Aggressivitätsstufen des Abwassers und Grundwassers – Anforderungen an Ortbetonkanäle und nicht sofort ausgeschalte Bauteile (nach Tabelle 3 der ÖNORM B 2503)

Aggressivitätsstufen	Expositionsklassen gemäß ÖNORM B 4710-1:2007		Empfohlene Betonsorten
	chemischer Angriff	sonstige Angriffe	
AS 0	XA1L	XC3/XD2/XF1/SB	C25/30/B2
AS 1	XA1L/XA1T	XC3/XD2/XF3/SB	C25/30/B3C3Afrei
AS 2	XA1L/XA2T	XC4/XD3/XF3/SB	C25/30/XC4/XD3/XF3/XA1L/XA2T
AS 2L ^{a)}	XA2L/XA2T	XC4/XD3/XF3/SB	C25/30/B6C3Afrei
AS 3 ^{b)}	XA3L/XA3T	XC4/XD3/XF3/SB	C30/37/HL-SW

a) .. Wenn ein starker lösender Angriff gemäß ÖNORM B 4710-1:2007, Tabelle 2 (XA2L) zu erwarten ist.
b) .. Bei nicht durch die Expositionsklassen abgedeckten Angriffen sind Sondermaßnahmen zu vereinbaren.

Beton für Kläranlagen

Beim Beton für Kläranlagen ist zusätzlich das diesbezügliche Merkblatt „Beton für Kläranlagen“ der Österreichischen Vereinigung für Beton und Bautechnik (ÖVBB), Ausgabe März 2009, als Ergänzung zur ÖVBB-Richtlinie „Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen“ betreffend die wesentlichen konstruktiven, betontechnologischen und bautechnischen Maßnahmen anzuwenden. Danach ist üblicherweise mit nachfolgenden Beanspruchungen zu rechnen:

Tabelle 18

Typische betonrelevante Konzentrationen (kommunales Abwasser)					
		Zulauf, Sandfang, Vorklärung	Belebungsbecken, Nachklärung	Schlammbehandlung (Faulbehälter, Eindicker, Trübwasser)	Kondensate
pH-Wert	–	> 6,0	> 5,5	> 6,0	2–9
Kalkaggressive Kohlensäure	mg/l	< 15	10–100	< 60	< 100
NH ₄ -N	mg/l	10–50	< 30	< 1.500	< 1.000
Magnesium	mg/l	< 50	< 50	< 50	–
Sulfat	mg/l	100–300	100–300	100–300	–

Im Merkblatt „Beton für Kläranlagen“ der Österreichischen Vereinigung für Beton und Bautechnik (ÖVBB), Ausgabe März 2009, sind die Belastungen der Betonbauteile durch Abwasser, die zu wählenden Betonsorten und Maßnahmen der Nachbehandlung ausführlich dargestellt.

Chemische Angriffe, die über die Aggressivitätsstufe 2 (AS 2 ÖNORM B 2503) hinausgehen bzw. industrielle Abwässer werden darüber hinaus betontechnologisch über die Expositionsklassen XA3L / XA3T der ÖNORM B 4710-1 bzw. über die ÖNORM B 5017 „Hochleistungsbeton im Siedlungswasserbau“ geregelt.

Tabelle 20: Beispiel für Betonkurzbezeichnung und damit abgedeckte Umweltklassen

Kurzbezeichnung	Abgedeckte Umweltklasse	W/B-Wert	Luftgehalt
B1	XC3	0,60	–
B2	XC3/XD2/XF1/XA1L/SB(A)	0,55	–
B3	XC3/XD2/XF3/XA1L/SB(A)	0,55	2,5–5,0 %

Kurzbezeichnung	Abgedeckte Umweltklasse	W/B-Wert	Luftgehalt
B4	XC4/XD2/XF3/XA1L/SB(A)	0,50	–
B5	XC3/XD2/XF2/XA1L/SB(A)	0,50	2,5–5,0 %
B6C ₃ A-frei	XD2/XF3/XA2L/XA2T/SB(A)	0,45	2,5–5,0 %
B7	XC3/XD3/XF4/XA1L/SB(A)	0,45	4,0–8,0 %
B8	XC3/UB1(A)	0,60	–
B9	XC3/UB2(A)	0,60	–
B10	XC3/XD2/XF1/XA1L/UB1(A)	0,55	–
B10C ₃ -A-frei	XC3/XD2/XF1/XA1L/YA1T/	0,55	–
B11	XC3/XD2/XF1/XA1/UB2(A)	0,55	–
B11C ₃ A-frei	XC3/XD2/XF1/XA1L/XA1T/ UB2/C3A-frei (A)	0,55	–
B12	XC4/XD2/XF1/XA1L/UB1(A)	0,50	–
B12C ₃ A-frei	XC3/XD2/XF1/XA1L/XA1T/UB1/C3A-frei(A)	0,50	–

4.1.5 Hinweis zur Vermeidung von Bewehrungskorrosion

Bei Bauteilen besteht üblicherweise bei sorgfältiger Ausführung für die Bewehrung ein ausreichender Korrosionsschutz, wenn die Bestimmungen der ÖNORMEN EN 1992-1-1 und B 1992-1-1 und die in den ÖNORMEN EN 1916, B 5074, EN 1917 sowie B 5072 festgelegten Werte in Abhängigkeit von der Betonfestigkeit und den sonstigen Anforderungen für die Betondeckungsmaße und die Rissbreitenbeschränkung eingehalten sind. In der Regel müssen die Betone von Bauteilen dicht sein und ist dieser dichte Beton somit die Voraussetzung, dass es zu keiner Korrosion der Bewehrung kommt. Die generellen Voraussetzungen für eine Korrosion der Bewehrung, d. h. Carbonatisierung des Betons und Sauerstoffzufuhr, sind bei einem ständig feuchten Milieu des Bauteiles nicht gegeben. Daher kann bei dichtem Beton keine Korrosion der Bewehrung entstehen.

4.1.6 Mörtel

Mörtel findet im Zusammenhang mit Wasser allgemein als Mauer und Fugenmörtel, als Mörtel zur Instandsetzung von Betonbauteilen oder zum Zweck der Auskleidung von Rohren, Verwendung. Die Zusammensetzung des Mörtels hängt von den verlangten Frisch- und Festmörteleigenschaften ab. Mithilfe von geeigneten Kunststoffzusätzen lassen sich bei zementgebundenen Mörteln die für den Einsatz erforderlichen Eigenschaften wie Dichtheit, Haftfestigkeit sowie mechanischer und chemischer Widerstand verbessern. Solche kunststoffmodifizierten Zementmörtel sind entsprechend den diesbezüglichen Richtlinien auszuwählen und anzuwenden.

Bei der Verarbeitung von Mörtel sind die fachtechnischen Regeln zu beachten, damit ein möglichst dichtes Gefüge entsteht. Der Mörtel muss vor Beginn des Erstarrens verarbeitet, vollfugig und dicht eingebracht und vor zu starkem Austrocknen, z. B. bedingt durch Zugluft, geschützt werden. Dies gilt besonders bei nachträglichem Verfugen. Für eine gute Haftung zwischen Mörtel und Untergrund ist zu sorgen, wobei dabei besonders auf sorgfältiges Säubern des Untergrunds durch Entfernen loser Bestandteile und auf ein intensives Anfeuchten zu achten ist. Bei Anwendung von Mörtelsystemen sind die Verarbeitungshinweise des Herstellers zu beachten.

4.1.7 Zementmörtelauskleidungen

Zementgebundene Auskleidungen kommen in erster Linie bei Stahl- und Gussrohren zur Anwendung. Die dabei verwendeten Zementsorten haben sich nach dem Verwendungszweck zu richten. Die Einbringung dieser Rohrauskleidungen erfolgt meist im Schleuderverfahren, wodurch eine besonders gute Verdichtung des Mörtels mit einem sehr dichten Zementgefüge

und auch eine dichte Oberflächenausbildung gewährleistet sind. Darüber hinaus ergibt sich dabei eine gute Entwässerung des Zementleims, sodass ein sehr günstiger Zementfaktor gegeben ist. Dadurch gelten die Grenzwerte für Beton auch für Zementmörtelauskleidungen. Bei duktilen Gusseisenrohren erfolgen die diesbezüglichen Regelungen mit der ÖNORM EN 545 bei Wasserleitungen und mit der ÖNORM EN 598 bei Abwasseranlagen.

4.1.8 Faserzement

Faserzement wird aus Zement und Wasser unter Zusatz von synthetischen Fasern als Armierung (Bewehrung) und z. B. von Zellstofffasern als Retentionshilfe hergestellt. Im erhärteten Zustand erhöhen die in die Zementmatrix fest eingebundenen Fasern die Zugfestigkeit des Faserzements. Aufgrund der mit der Herstellung verbundenen Entwässerung des Zementleims entsteht ein sehr dichtes Zementgefüge mit einem sehr günstigen Wasser/Zement-Wert. Dadurch können die Grenzwerte für Beton auch auf Faserzement übertragen werden. Grundsätzlich sind die Bestimmungen der ÖNORM EN 492, EN 494 und EN 12467 für Hochbauprodukte und die ÖNORM EN 512, EN 588-1 und EN 588-2 für Tiefbauprodukte einzuhalten.

5 Spezielle Anwendungsbereiche

5.1 Abwasser

5.1.1 Werkstoffe

5.1.1.1 Metallische Werkstoffe

Unlegierte und niedrig legierte Eisenwerkstoffe

Die zum Bau von erdverlegten Abwasserkanälen und Abwasserdruckleitungen eingesetzten metallischen Werkstoffe sind im Wesentlichen unlegierte und niedrig legierte Stähle sowie Sphäroguss (duktiler Gusseisen). Bei ARAs werden neben un- und niedrig legierten Eisenwerkstoffen auch hoch legierte Werkstoffe eingesetzt. In Spezialfällen werden auch andere metallische Werkstoffe (z. B. Titan) eingesetzt.

Diese Werkstoffe und daraus gefertigte Anlagen bzw. Anlagenteile können, wenn ungeschützt, Korrosionsangriffe von innen durch das fließende Medium sowie durch die Art der Kanalatmosphäre und von außen durch die Inhaltsstoffe der Böden erleiden. Bauteile aus Stahl und duktilem Gusseisen sollten daher unter Beachtung möglicher Korrosionsangriffe mit ausreichendem Korrosionsschutz verwendet werden.

Auskleidungen von Rohren aus duktilem Gusseisen und Stahl, ÖNORM EN 545/598/877

Zementmörtelauskleidungen in Gussrohren sind bereits seit Langem in Trinkwasserleitungen zur Verhinderung von Korrosionsschäden im Einsatz. Für die zulässigen Belastungen für den Auskleidungsmörtel und die Anforderungen an dessen Zusammensetzung gilt die ÖNORM B 4710-1.

Nachfolgende Parameter im fließenden Medium sind für den Einsatz von Zementmörtelauskleidungen im Abwasserbereich zu beachten:

- pH-Wert
- Mg
- SO₄
- NH₄
- Ca
- kalklösende Kohlensäure

Darüber hinaus ist im freien Querschnitt des Kanals besonders auf die mögliche H₂S-Konzentration in der Kanalatmosphäre zu achten.

Prinzipiell gelten die Grenzwerte nach ÖNORM B 2503 unter Bedachtnahme auf einen W/Z-Wert der Auskleidung von < 0,4 sowie die jeweilige Abwasseremissionsverordnung, sollten diese nicht eingehalten werden können, ist ein Gutachten über die Beständigkeit der Kanalauskleidung einzuholen. Dabei sind neben den angeführten Parametern auch andere branchenspezifisch mögliche Substanzen je nach verwendeter Zementart zu beachten.

Die Auskleidung der Rohre wird grundsätzlich nach dem Rotationsschleuder-Verfahren vorgenommen, aufgrund der hohen Verdichtung des Mörtels ist dabei eine verbesserte Korrosionsschutzwirkung gegeben.

Eine weitere Möglichkeit der Auskleidung ist die Verwendung von organischen Stoffen (PUR, PUR-Teer, PE, Epoxy). Derartige Auskleidungen sind, bei normgerechter Applikation, gegen eine breite Palette von möglichen Inhaltsstoffen eines Abwassers langzeitbeständig.

Umhüllungen

Aufgrund der Korrosionsbelastung durch Böden gegenüber unlegierten und niedrig legierten Stählen und duktilem Gusseisen müssen Rohre aus diesen Werkstoffen durch Umhüllungen geschützt werden. Angaben über eine mögliche Bodenaggressivität und ihre Wirkung sind in DIN 50929, Teil 3 und ÖNORM B 5013 angeführt. Neben den chemischen Parametern ist auch die Bodenstruktur in der Verlegetiefe maßgeblich. Die Anwendungsbereiche von duktilen Gussrohren mit verschiedenen Außenschutzsystemen finden sich in der ÖNORM EN 545 im Anhang D (gültig auch für Abwasserrohre).

Eine besondere Bedeutung kommt baustellenseitigen Nachumhüllungen der Rohrverbindungsstellen zu. Dies ist besonders bei aggressiven Böden von Bedeutung. Genauere Angaben sind der DIN 30675, Teil 1 und 2, zu entnehmen.

Es ist in jedem Fall empfehlenswert, im Zweifelsfall eine Bodenanalyse durchführen zu lassen.

Hoch legierte Stähle

Die Werkstoffgruppe der hoch legierten, nichtrostenden Stähle umfasst verschiedene Legierungen. Diese Werkstoffe sind je nach Zusammensetzung gegen viele Korrosionsangriffe beständig. Verantwortlich für diese Beständigkeit ist eine sehr dünne Passivschicht, für deren Ausbildung in erster Linie der Gehalt an Chrom maßgeblich ist. Weitere Legierungsbestandteile von Bedeutung sind Ni, Mo, Ti, C.

Bei Abwasseranlagen kommen in erster Linie austenitische Chrom-Nickel-Stähle mit und ohne Molybdänzusatz zum Einsatz.

Tabelle 21: Eigenschaften einiger wichtiger nichtrostender Stähle

Werkstoffbezeichnung		Massen-%					
Euronorm	Werkstoff Nr.	C	Cr	Ni	Mo	–	Wirksumme in Massen-%
SS-71							
X6 Cr Ni ¹⁾ 18 10	1.4301 (V2A)	< 0,07	17 bis 19	8 bis 11	–	–	18
X3 Cr Ni Mo 17 12 2	1.4435	< 0,03	16 bis 18,5	11 bis 14	2,0 bis 2,5	–	25
X3 Cr Ni Mo N 17 12 2	1.4571 (V4A)	< 0,08	16 bis 18,5	10,5 bis 14	2,0 bis 2,5	5 % C < Ti < 0,5	25
X3 Cr Ni Mo N 17 13 5	1.4439	< 0,04	16,5 bis 18,5	12,5 bis 14,5	4,0 bis 5,0	N 0,12 bis 0,2	32
¹⁾ ... V2A nicht in der Kanalatmosphäre einsetzen (neueste Erkenntnisse in der Abwassertechnik haben gezeigt, dass Stähle der Qualität 1.4301 in Kanalatmosphäre unter bestimmten, noch nicht näher geklärten Bedingungen Korrosionsschäden erleiden können und daher der Einsatz höherwertiger Stahl anzuraten ist).							

Keinesfalls darf unter der Bezeichnung „nichtrostend“ verstanden werden, dass diese Stähle in allen Fällen und unter allen Umständen korrosionsbeständig sind. Nachfolgend sind daher einige Einflussgrößen angegeben, die bei der Anwendung dieser Stähle zu beachten sind.

Lochfraß

Auch im Abwasserbereich ist für den Lochfraß nicht nur der Chloridgehalt im Abwasser von Bedeutung, da es auch bei Abwässern mit geringem Chloridgehalt durch Ablagerungen zur

Anreicherung von Chloriden auf den Stahlflächen kommen kann. Ferner kann unter anaeroben Bedingungen Lochkorrosion durch die Bildung von Sulfid ausgelöst werden. Die Lochkorrosion hängt dabei nicht nur vom Chloridgehalt, sondern auch von anderen Einflussgrößen ab:

- **Werkstoffqualität:** Maßgebend ist dabei die Wirksumme W in Massen-% Chrom + 3,3 *Masse-% Molybdän (Spalte „Wirksumme in Massen-%“ in *Tabelle 21*). Je größer die Wirksumme W dabei ist, desto geringer wird die Lochfraßgefahr.
- **Redoxpotenzial U_{Redox} :** Bei Zusatz oder Einbringen von Oxidationsmitteln wie Luftsauerstoff, Ozon oder Fe^{3+} -Ionen tritt – auch bei relativ niedrigen Chloridgehalten – Lochfraß auf.
- Je größer die **Strömungsgeschwindigkeit** des Abwassers ist, desto geringer wird die Lochfraßgefahr.
- **Sensibilisierung:** wie unter „Wärmebehandlung“ beschrieben, wird die Anfälligkeit gegen Lochfraß erhöht.

Die oben dargestellten Einflussgrößen weisen darauf hin, dass allgemeingültige Angaben für die Chloridkonzentration, bei der kein Lochfraß auftritt, nicht möglich sind.

Spaltkorrosion tritt nur in chloridhaltigen Abwässern auf, wobei Spalten (etwa 0,1 bis etwa 0,5 mm Breite) zwischen Stählen und Nichtleitern (z. B. Kunststoffe) als besonders gefährlich anzusehen sind. In der Praxis wird die Gefährlichkeit der Spaltkorrosion oft übersehen.

Lochfraß- und Spaltkorrosion stehen auch in engem Zusammenhang mit den Chemikalien, die in Kläranlagen zur Konditionierung (Schlammbehandlung) und Phosphorelimination zum Einsatz gelangen. Der hohe Chloridgehalt der eingesetzten Chemikalien bedingt, dass un- oder niedrig legierte Stähle oder Eisenwerkstoffe hier ungeeignet sind. Auch hoch legierte Stähle können dabei nicht immer eingesetzt werden. Es wird daher empfohlen, Werkstoffe mit hohen W -Werten einzusetzen. Molybdänfreie Stähle sind in den meisten Fällen als nicht geeignet anzusehen.

Einen wesentlichen Faktor in Zusammenhang mit der Korrosion stellt auch die **Wärmebehandlung** von nichtrostenden Stählen, insbesondere beim **Schweißen** dar. Dabei kann es zu einer Ausscheidung von chromreichen Carbiden an den Korngrenzen kommen, die dabei eintretende Chromverarmung vermindert die Korrosionsbeständigkeit so sehr, dass interkristalline Korrosion (Erscheinungsbild „Kornzerfall“) auftreten kann. Diese Veränderung des Werkstoffes wird als Sensibilisierung bezeichnet. Eine Möglichkeit, diese Korrosionsart zu verhindern, stellt die Verwendung von Stählen mit möglichst niedrigem C-Gehalt oder der Zulegierung von Niob oder Titan dar. Es dürfen daher für derartige Arbeiten nur Schweißer mit einer entsprechenden Ausbildung herangezogen werden. Der Nachbehandlung der Schweißnähte ist besonderes Augenmerk zu schenken.

Da sich bei Abwasseranlagen Mischbauweisen aus unterschiedlichen Werkstoffen nie ganz vermeiden lassen, ist auch der **Kontaktkorrosion** besonderes Augenmerk zu schenken. Kontaktkorrosionen können z. B. bei der Verbindung von hoch und niedrig legierten Stählen entstehen (edle und unedle Werkstoffe).

Dabei sind besonders kleinflächige Bauteile aus unlegiertem Stahl (Anode) bei Verbindung mit großen Flächen aus nichtrostendem Stahl (Kathode) gefährdet.

Bei Schutzmaßnahmen gegen Kontaktkorrosion muss bedacht werden, dass die Beschichtung immer auf den edleren Werkstoff (Verringerung der Kathodenfläche) aufgetragen werden muss.

Zusammenfassung

Im Folgenden sind einige Gesichtspunkte, die bei der Anwendung von hoch legierten, nicht-rostenden Stählen zu beachten sind, angeführt:

- Eine stark anaerobe Kanalatmosphäre kann bei nichtrostenden Stählen auch zu Lochfraß führen.
- Metallisch blanke Oberflächen sind auszubilden, um die Bildung von festen Ablagerungen zu vermeiden.
- Die Dreiphasengrenze Luft/Stahl/Wasser kann dann gefährdet sein, wenn sich feste Ablagerungen bilden, in denen sich Chloride anreichern können.
- Es ist auf spaltfreie Konstruktion zu achten, wobei Spaltgrößen $> 0,5$ mm meist unkritisch sind.
- Da sich bei verschraubten Konstruktionen Spalten zwischen Bauteilen nicht vermeiden lassen, sind Schweißkonstruktionen zu bevorzugen.
- Besonders bei hoch legierten Stählen erfordert die Schweißung besondere Kenntnisse, damit eine sachgerechte Ausführung garantiert werden kann.
- Wenn Schweißverbindungen vorgesehen sind, wird empfohlen, stabilisierte Stähle zu verwenden.
- Auf die Verwendung chloridfreier Dichtungsmittel ist zu achten.

5.1.1.2 Zementgebundene Werkstoffe

Zementgebundene Baustoffe werden in vielfältiger Form bei den verschiedenen Bauwerken für Abwassersammlung, -transport und -behandlung eingesetzt. Dabei ist es möglich, durch Wahl geeigneter Betonsorten (gemäß ÖNORM B 4710-1) die Gebrauchseigenschaften dieser Baustoffe zu beeinflussen, wobei speziell der chemischen Widerstandsfähigkeit eine besondere Bedeutung zukommt (*siehe Kapitel 4*).

Korrosionsvorgänge laufen bei zementgebundenen Baustoffen in der Regel langfristig ab. Der Umfang der Korrosion wird in erster Linie von der Konzentration der angreifenden Stoffe, den Transportbedingungen und von der Einwirkungsdauer beeinflusst. Bei Abwasseranlagen ist hinsichtlich des chemischen Angriffs zwischen den Einwirkungen und der Beanspruchung durch das Abwasser auf die Innenfläche (*siehe Kapitel 1.4.2 und 1.4.3*) und den Beanspruchungen durch Boden und Grundwasser auf der Außenseite der Bauteile bzw. Rohre (*siehe Kapitel 1.4.1*) zu unterscheiden.

Beton und Stahlbeton

• Chemische Beanspruchung durch kommunales Abwasser

Wie bereits angeführt, spielen für die chemische Beanspruchung des Betons durch kommunales Abwasser und den daraus resultierenden Korrosionen neben Konzentration und Einwirkungsdauer auch eine erhöhte Fließgeschwindigkeit des Abwassers sowie die Häufigkeit der Reinigungsvorgänge mit ihren mechanischen Einflüssen auf die Betonoberfläche eine Rolle.

Diesbezüglich wird auf die Bestimmungen der jeweils letztgültigen ÖNORM B 2503 hinsichtlich der Aggressivitätsstufen des Abwassers und des Grundwassers sowie des zulässigen Sulfatgehaltes verwiesen.

Weitere diesbezügliche Angaben sind der Tabelle 1 des ATV-Merkblatts-M 168 (S. 10) „Grenzwerte bei dauernder Beanspruchung“ (Normalfall) zu entnehmen.

In diesem Zusammenhang wird besonders auf Bergregionen mit geringem Puffervermögen des Bodens verwiesen, wo säurehaltige Wasservorkommen (z. B. mit Kohlensäure, Huminsäure) auftreten können. Hier ist eine gesonderte Beurteilung der dadurch gegebenen Beanspruchung notwendig.

Auf das bei einer Nitrifikation im Abwasser entstehende CO₂ und den daraus resultierenden stärker lösenden Angriff (XA2L bis XA3L) in Kläranlagen ist zu achten.

- **Grenzwerte für zeitweilige oder kurzzeitige Beanspruchung (Sonderfall):**

Kann die Gefahr eines Störfalles (Missbrauch, Fehlbedienung) nicht ausgeschlossen werden sodass die angeführten Grenzwerte nicht eingehalten werden können so gibt die Tabelle 11 (vgl. auch ÖNORM B 4710-1) mögliche Grenzwerte für zeitweilige oder kurzzeitige Beanspruchung an.

- **Beanspruchung in der Kanalatmosphäre**

Erfolgt ein chemischer Angriff auf Beton in der Kanalatmosphäre, so ist dies in der Regel ein biogener Schwefelsäure-Angriff (*siehe Kapitel 1.4.3*). Bei biogener Schwefelsäure-Korrosion greift die Schwefelsäure den Beton oberhalb des Abwasserspiegels chemisch an und verursacht einen lösenden Angriff auf die Betonoberfläche. Die beim lösenden Angriff auf den Beton als Reaktionsprodukte entstehenden Sulfate können einen treibenden chemischen Angriff im oberflächennahen Bereich bewirken (*siehe auch 4.1.4*). Dabei muss darauf verwiesen werden, dass bei sauren Abwässern die Reaktionsgeschwindigkeit des lösenden Angriffs nicht auf die entstehenden Sulfate, sondern auf die Wirkung des sauren Mediums zurückzuführen ist.

Kann ein biogener Schwefelsäureangriff nicht ausgeschlossen werden, muss die Zusammensetzung des Betons auf einen lösenden und treibenden Angriff abgestimmt sein.

- **Beanspruchung durch Boden und Grundwasser**

Die chemische Beanspruchung der Betonbauteile von Abwasseranlagen durch Boden und Grundwasser ist nach ÖNORM B 2503 zu beurteilen und hinsichtlich des Angriffsgrades einzustufen. Die sich daraus ergebenden betontechnologischen Anforderungen sind den jeweiligen geltenden Normen (ÖNORM B 4710-1) zu entnehmen und derartig anzupassen, dass langfristig ein schadensfreier Zustand erzielt wird.

In Zusammenhang mit den Korrosionsangriffen durch Boden und Grundwasser sind vor allem Sulfate und der pH-Wert (meist in Form von freier Kohlensäure) von Bedeutung.

Detaillierte Angaben über die diesbezüglichen Reaktionsvorgänge sind dem allgemeinen Teil dieses Regelblattes zu entnehmen.

- **Hinweis zur Vermeidung von Bewehrungskorrosion – siehe Kapitel 4.1.5**

Mörtel – siehe auch Kapitel 4.1.6

Der in Abwasseranlagen verwendete Mörtel (Mauerfugen-Instandsetzungsmörtel, Auskleidungsmörtel von Rohren) hat den verlangten Frisch- und Festmörteleigenschaften zu entsprechen. Bei chemischen und physikalischen Angriffen sind die entsprechenden Bedingungen der ÖNORM B 4710-1 (gilt auch bei Größtkorn > 8 mm) zu beachten.

Zementmörtelauskleidungen – siehe auch Kapitel 4.1.7

Faserzement – siehe auch Kapitel 4.1.8

Auch bei diesem Werkstoff, der meistens für Rohre Verwendung findet, sind die Grenzwerte der ÖNORM B 2503 und die *Tabelle 18* einzuhalten.

In Sonderfällen können Spezialzemente, insbesondere sulfatbeständige Zemente, zum Einsatz kommen. Die wichtigsten Normen für vorgefertigte Bauteile aus Faserzement für den Einsatz im Abwassernetz sind: DIN EN 12565, ÖNORM EN 12763 und ÖNORM EN 512.

Verbundrohre

Durch eine Betonummantelung von z. B. Steinzeug- oder Kunststoffrohren werden sogenannte Verbundrohre mit verbesserter Tragfähigkeit hergestellt. Solche Verbundrohre können in Betonwerken wie auch auf der Baustelle hergestellt werden. Sie werden bei besonders hohen statischen und dynamischen Belastungen sowie in Fällen, bei denen aus abwassertechnischen Gründen ein besonderer Schutz des Rohrbetons erforderlich ist, eingesetzt. Die Dicke der Betonummantelung ist den statischen Beanspruchungen anzupassen. Planmäßig kommt bei solchen Verbundrohren der Beton nicht mit dem Abwasser in Kontakt. Hinsichtlich eines chemischen Angriffs auf der Außenseite des Verbundrohres durch Boden oder Grundwasser gelten die Bestimmungen der ÖNORM B 2503.

5.1.1.3 Steinzeug, Kanalklinker

Steinzeugrohre und Formstücke nach ÖNORM EN 295 werden häufig als Rohre oder Kanalklinkerauskleidung nach DIN 4051 bei Abwasseranlagen eingesetzt.

Sie werden von den im Abwasser bzw. Grundwasser oder Erdreich enthaltenen Stoffen nicht angegriffen. Gegenüber Flusssäure sind diese Werkstoffe jedoch nicht beständig. Für einen allfällig notwendigen Nachweis gilt ebenfalls ÖNORM EN 295. Da die Dichtverbindungen der Rohrstöße in erster Linie aus Kunststoffmaterialien hergestellt werden, müssen auch diese eine entsprechende chemische Beständigkeit aufweisen.

Kanalklinker nach DIN 4051 werden für Bauwerke und teilweise für groß dimensionierte Kanäle eingesetzt. Für Kanalklinkermaterial gilt hinsichtlich der chemischen Beständigkeit das gleiche wie für Steinzeug. Daher kommt es im vorliegenden Fall in erster Linie auf die Qualität des verwendeten Mörtels und seiner Verarbeitung an.

5.1.1.4 Kunststoffe (PVC, PE, PP, GFK) – siehe auch Kapitel 3.1

Vorbemerkung

Kunststoffe werden im Bereich Abwasserkanalisation sowohl als Rohr- und Schachtbauteilwerkstoffe sowie für korrosionsbeständige Auskleidungen und Beschichtungen von Beton- und Gussrohren und für Abwasseranlagenteile verwendet.

Im Bereich der Kanalisation werden ebenfalls verbreitet Kunststoffe eingesetzt. Auch werden diese Materialien im Reliningverfahren durch Einzug von Kunststoffrohren in schadhafte Kanalsysteme und auch in Form nachträglich eingebrachter Auskleidungen verwendet.

Gegen die in kommunalen und anderen öffentlichen Abwasserleitungen zugelassenen und vorkommenden Abwasserzusammensetzungen sind die in *Kapitel 3.1.4* genannten Werkstoffe im Normalfall als chemisch beständig anzusehen. Die entsprechenden Normen für Werkstoffgüte und Materialeigenschaften sind bei der Werkstoffauswahl und der Ausschreibung zu beachten, wobei allenfalls von der Norm abweichende Abwässer detailliert anzugeben sind.

Bei der Auswahl der Kunststoffe für den jeweiligen Einsatzfall sind somit die äußeren Einwirkungen aus chemischer und statischer Belastung als auch die unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften zu berücksichtigen. Bei Beschichtungen ist weiterhin zu prüfen, ob die spezifischen Randbedingungen zur Kunststoffverarbeitung auf der Baustelle bzw. im Werk eingehalten werden können. Hiervon sollte die Entscheidung zur endgültigen Werkstoffauswahl abhängig gemacht werden.

Werkstoffe – siehe Kapitel 3.1

Kurzzeichen – siehe Kapitel 3.1.5

Beim Einsatz der in *Tabelle 22* genannten polymeren Werkstoffe in Abwasseranlagen sind hinsichtlich der Anforderungen und Güteprüfungen insbesondere folgende Normen zu beachten:

Tabelle 22: Derzeit gültige Normen für Bauteile aus Kunststoff

Werkstoff	Norm	Titel
PVC	ÖNORM EN 1401-1	Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen (PVC-U)
	ÖNORM EN 13476 Serie	Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung
PE-HD	ÖNORM EN 12666-1	Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen
	ÖNORM EN 13476 Serie	Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung
	ÖNORM EN 13244 Serie	Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erd- und oberirdisch verlegte Druckrohrleitungen für Brauchwasser, Entwässerung und Abwasser
PP	ÖNORM EN 1852-1	Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen (Vollwandrohre – 1schichtig)
	ONR 20513	Vollwand-Kunststoff-Rohrleitungssystem mit mehrschichtigem Wandaufbau aus Polypropylen (PP-ML) für drucklose erdverlegte Abwasserleitungen und -kanäle
	ÖNORM EN 13476 Serie	Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung
GFK-UP	ÖNORM B 5163	Rohrleitungssysteme für drucklose Abwasserleitungen und -kanäle – Nicht-kreisrunde Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke
	ÖNORM B 5161	Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung sowie für Abwasserleitungen und -kanäle mit oder ohne Druck – Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke

ONR ÖNORM-Regel

Für geschleuderte Rohre und Formstücke aus glasfaserverstärkten ungesättigten Polyesterharzen gilt für den Einsatz in Abwasserkanälen die ÖNORM B 5161.

Im Abwasserbereich ist die Angabe der entsprechenden GRIS (Gütegemeinschaft Rohr im Siedlungswasserbau)-Prüfnummer besonders zu beachten.

Die zum Einsatz kommenden Rohre und Anlagenteile müssen mit dem GRIS-Gütezeichen versehen sein.

Für Sonderanwendungen, z. B. bei der Ableitung von aggressiven Industrieabwässern oder Produktleitungen in chemischen Betrieben, werden häufig Kunststoffe eingesetzt. Bei aggressiven Medien sind den Erzeugerfirmen von Rohren und Kunststoffbauteilen unbedingt die Abwasserinhaltsstoffe sowie weitere Belastungsparameter wie Temperatur, Konzentration, Drücke usw. bekannt zu geben. Auf dieser Grundlage ist dann von den Herstellerfirmen eine entsprechende Garantie zu verlangen. Hinweise und entsprechende Beständigkeitstabellen zu den eingesetzten Werkstoffen sind zu beachten sowie die Angaben der Rohrhersteller zu berücksichtigen.

Kunststoffe können nicht nur von der Oberfläche her angegriffen werden, sondern auch von innen durch Eindiffundieren kleiner Moleküle (organische Lösungsmittel, niedermolekulare gasförmige und flüssige Stoffe etc.).

Beispiele hierfür sind die Dämpfe von Benzin, Hexan, niedrig siedenden Kohlenwasserstoffen und leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen, wobei darauf hingewiesen wird, dass diese Stoffe nicht gezielt in Kanäle eingeleitet werden dürfen (z. B. im Bereich von Tankstellen und Mineralöllagern).

Bei GFK-Rohren ist in Zusammenhang mit besonderen Beanspruchungen (z. B. Hochdruckreinigung, unsachgemäßer Umgang beim Transport) den diesbezüglichen Richtlinien des Erzeugers zu entsprechen.

Dichtmittel

• **Allgemeine Anforderungen an Dichtmittel für Abwasseranlagen**

Grundsätzlich müssen auch alle Verbindungen von Abwasseranlagen dicht sein.

Bei der Herstellung von Dichtmitteln, die Kontakt mit angreifenden Wässern, Böden oder Gasen haben, ist darauf zu achten, dass sie Angriffen durch diese Medien ohne Beeinträchtigung ihrer Funktionsfähigkeit widerstehen. Andernfalls ist ein entsprechender Schutz vorzusehen.

Dementsprechend muss die Funktionsfähigkeit der Verbindungen gesichert sein bei Einwirkung von

- Abwasser mit pH-Werten von 2 bis 12,
- Abwässern aus dem gewerblichen und industriellen Bereich¹⁾

Soweit Schmutzwasser (z. B. vor einem Abscheider) mit davon abweichenden Eigenschaften anfällt, sind die jeweils maßgebenden Beanspruchungen zu berücksichtigen. Besondere Beachtung ist der Dichtheit von Abwasseranlagen in Wasserschutzgebieten zu zollen, vor allem dort, wo erhöhte Gehalte an Mineralölen und Lösungsmitteln anfallen.

Sofern in Einzelfällen (insbesondere im Bereich von Grundstücksentwässerungsanlagen) mit einer längerfristigen Einwirkung dieser Stoffe gerechnet werden muss, sind entsprechend beständige Dichtmittel erforderlich.

Bei Leichtflüssigkeiten sind für Abwasserkanäle, zumindest auf dem Fließweg bis zum Leichtstoffabscheider, Dichtmittel mit einem gesonderten Beständigkeitsnachweis zu verwenden.

• **Werkstoffe und Eigenschaften von Dichtmitteln**

Für Abwasserkanäle und -leitungen kommen fast ausschließlich zur Anwendung:

- Dichtmittel aus Elastomeren nach ÖNORM EN 681, derzeit in Österreich nur Teil 1 in Anwendung
- Dichtmittel auf der Basis Polypropylen und Polyurethan für Steinzeugrohre nach ÖNORM EN 259
- Sonstige Dichtstoffe für Rohrverbindungen, welche in Spezialfällen zur Anwendung kommen sollen, sind hinsichtlich der Beständigkeit gegenüber dem betreffenden Medium mit dem jeweiligen Hersteller abzustimmen, sodass die Beständigkeit von diesem garantiert werden kann.
Im Zusammenhang mit möglichen mikrobiologischen Angriffen auf Dichtmittel ist ebenfalls mit dem Rohrerzeuger Kontakt aufzunehmen.
- 2-Komponenten-Dichtstoffe auf der Basis Polyurethan für die innere Rohrstoßdichtung im Rohrvortrieb erstellter begehbare Kanäle und Leitungen

¹⁾ Siehe zugehörige AEV bzw. ATV-Arbeitsblatt-A 115

- Kalt verarbeitbare plastische Dichtstoffe kommen nur noch in Einzelfällen zur Anwendung (z. B. chemische Industrie)

Bei Sonderanwendungen (z. B. Abwässer aus dem gewerblichen und industriellen Bereich) gelten hinsichtlich chemischer und physikalischer Einwirkungen dieselben Anforderungen wie an die Werkstoffe von Abwasseranlagen.

Sofern in infolge von Unfällen kurzfristig Leichtflüssigkeiten (Kohlenwasserstoffe wie Benzin, Heizöl u. dgl.), leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe oder sonstige Lösungsmittel in Abwasseranlagen gelangen, darf die Dichtfunktion der Dichtmittel nicht beeinträchtigt werden.

5.1.2 Möglichkeiten des Korrosionsschutzes von gefährdeten Bauteilen

Allgemeines

Sicherheitstechnische und ökonomische Belange sind maßgebend für den Einsatz des jeweiligen Korrosionsschutzes.

Der Einsatz von Korrosionsschutzverfahren ist bereits in der Planungsphase zu berücksichtigen. Die eingesetzten Korrosionsschutzverfahren basieren einerseits auf Verbundwerkstoffen und Auskleidungen, andererseits auf Schutzanstrichen und Beschichtungen (ÖNORM EN 545 / 598 / 877 bzw. ÖNORM B 5013, Teil 3 u. 4).

Metallische Werkstoffe können auch mittels kathodischem Korrosionsschutz geschützt werden, bei zementgebundenen Werkstoffen kann der Korrosionsschutz durch spezielle Zuschlagstoffe verbessert werden.

Verbundwerkstoffe und Auskleidungen

• Allgemeines

Sie werden vorwiegend aus PP, PE, PVC-U und GF-UP hergestellt und weisen je nach Rezeptur eine gute bis sehr gute Beständigkeit gegen Säuren, Laugen, Treibstoffe und Mineralöle auf. Weitere Hinweise sind dem Merkblatt ATV-M 143 zu entnehmen.

• Auskleidungen bei Neubauten

Parallel zur Erprobung unterschiedlicher Beschichtungssysteme liegen langjährige Erfahrungen mit Auskleidungen mittels Kunststoffen vor. Diese Auskleidungen haben sich besonders bei Schächten bzw. Schachtböden bewährt. Sie werden vorwiegend aus PE, PVC-U und GF-UP hergestellt.

• Auskleidungen mit Steg- bzw. Noppenplatten aus HDPE

Aufgrund moderner Herstellungsverfahren werden zwischenzeitlich mehrere Auskleidungssysteme aus PE-HD-Folien mit einer vollflächigen Rückenverankerung aus Stegen bzw. Noppen eingesetzt. Die Materialstärke (ohne Verankerungssystem) beträgt 4–5 mm.

Die Verbindung erfolgt durch Überschweißen der Rohrfugen, zum Teil unter Zuhilfenahme eines Fugenstreifens. Zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Schweißnahtqualität sind Extrusionsschweißungen, möglichst mit automatischer Steuerung, zu bevorzugen. Danach ist eine Prüfung der Dichtheit vorzunehmen.

Da die gute Schweißbarkeit sowie die Korrosionsbeständigkeit des Materials entscheidend für die Dauerhaftigkeit des Gesamtsystems ist, sind bezüglich der Materialanforderungen

genaue Spezifikationen erforderlich. Hilfsweise können die Anforderungen herangezogen werden, die bereits für Deponieauskleidungen existieren.

Ziel dieser Anforderungen ist es, die geeignete Werkstoffwahl, die Herstellung und den Einbau eines funktionsfähigen und langfristig beständigen Korrosionsschutzelementes im Rahmen einer qualitätsgesicherten Produktion und Montage sicherzustellen.

Sollten Drücke auf der Rückseite der Auskleidung zu erwarten sein, so ist diesen Beanspruchungen bei der Wahl des Auskleidungssystems zu entsprechen.

- **Auskleidung mit Steinzeug-Schalen (Keramikplatten)**

Zur korrosionsfesten Auskleidung kommen Halbschalen, Sohlshalen und Platten aus Steinzeug infrage, zum Einbau sind korrosionsresistente Mörtel zu verwenden.

- **Nachträgliche Auskleidung mit Kunststoffplatten**

Bei großkalibrigen Sammlern und Bauwerken wurde zum Teil der Einbau einer inneren Auskleidung aus PVC-U-Platten oder aus PP-Platten von 6 bis 8 mm Dicke auf der Baustelle durchgeführt. Diese Platten konnten nachträglich z. B. in Kanälen und Bauwerken so eingebaut werden, dass am Fußpunkt eine Halterung aus Schienen und Dübeln aus rostfreiem Stahl gegeben war (Einspannwirkung).

Die Platten sind im Allgemeinen selbsttragend. Zusätzliche statische Belastungen müssen bei der Planung berücksichtigt werden. Die Stöße der Auskleidung wurden meist verschweißt.

Diese Lösungen haben sich im laufenden Abwasserbetrieb gegen den biogenen Schwefelsäureangriff bewährt.

Aufgrund der nicht ausgekleideten Sohle sind jedoch bei aggressiven Abwässern andere Lösungen zu bevorzugen. Wegen der geringen Eigenfestigkeit der o. a. Thermoplaste in Verbindung mit einer fehlenden vollflächigen Verankerung im Beton ist jedoch zu beachten, dass bei extremen Betriebszuständen (Schwallspülungen, Reflexionswellen vor geschlossenen Schiebern) schon Schäden an den Auskleidungen aufgetreten sind, die eine nachträgliche zusätzliche Befestigung erforderlich machten.

Nachträgliche Auskleidungen mit Kunststoffplatten sind daher derzeit nicht mehr gebräuchlich.

Schachtauskleidungen bei Neubauten

- **Allgemeines**

Schachtauskleidungen vor allem im Sohlbereich haben alle Zu- und Abgänge zu berücksichtigen und das entsprechende Element ist darauf abzustimmen. Ebenfalls sind bereits dichte Anschlüsse herzustellen.

Dieses Element wird auf der Baustelle meist in einen Ortbeton-Bodenteil eingegossen, welcher dann als ganzes zu versetzen ist.

Darauf wird dann der erforderliche Schacht aus Fertigteilen aufgesetzt.

Es gibt jedoch auch Schachtbauwerke ganz aus Kunststoff (meist PE – rippenverstärkt), die ebenfalls den Erfordernissen auf der Baustelle spezifisch anzupassen sind. D. h., dieser Bauteil ist unter Anpassung auf die örtlichen Verhältnisse meist einzeln herzustellen.

- **Schachtauskleidungen mit GFK-Platten und -Elementen**

Die Möglichkeit der nachträglichen Schachtauskleidung z. B. mit GFK-Elementen erfolgt meist im Zusammenhang mit dem sog. „Relining“-Verfahren.

Die jeweiligen Angaben der Hersteller sind dabei unter Anpassung an die örtlichen Verhältnisse zu berücksichtigen.

Eine Bemessung des Bauteils auf äußeren Wasserdruck ist sehr schwer möglich, es sollte daher ein auftretender GW-Druck entlastet werden. Auf eine sorgfältige Auswahl der verwendeten Glas- und Harzqualitäten ist zu achten.

Bei kleineren Schachtabmessungen mit einer regelmäßigen Geometrie bietet sich eine Lösung aus vorgefertigten GFK-Elementen an. Diese Elemente bestehen aus Glasfasern und Polyesterharz, wobei zur Erhöhung der Steifigkeit je nach Hersteller verschiedene Mittel beigegeben werden können.

Die erforderlichen statischen Bemessungen der Elemente sind den jeweiligen Erfordernissen anzupassen.

Die im Zuge der Neuerrichtung eingebauten GFK-Elemente werden wie oben beschrieben durch entsprechende Mittel (Noppen, Dübel) direkt im Beton verankert.

Die Zusammensetzung der Einzelkomponenten variiert hierbei je nach Herstellungsverfahren.

- **Schachtauskleidung mit Kanalklinkern**

In einigen Bereichen von Kanalisationsanlagen sollten Schachtbauwerke mit Kanalklinkern ausgekleidet werden. Ist ein Angriff durch Schwefelsäurekorrosion auf die zementgebundene Fugenmasse zu erwarten, müssen die Fugen bis 2 cm Tiefe ausgekratzt und mit einem Epoxidharzmörtel verfüllt werden (z. B. chemische Industrie).

Rohrauskleidungen bei Sanierungen

Bei der Renovation (Sanierung) von Rohren ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen begehbaren und nicht begehbaren Profilen. Das Problem dabei ist die Aufrechterhaltung des Betriebs der Kanäle bzw. entsprechender Ersatzmaßnahmen während der Sanierungsarbeiten.

Für die verwendeten Begriffe wird auf ÖNORM EN 752 verwiesen.

- **Renovation von nicht begehbaren Profilen**

Bei den nicht begehbaren Profilen werden je nach den Randbedingungen unterschiedliche Verfahren eingesetzt. Sofern die Aufnahme der äußeren Lasten noch vom ursprünglichen Kanal übernommen werden kann, eignet sich das Einziehen von Inlinern, die an der Kanalwandung anliegen und ohne Herstellung einer Einziehbaugrube durchführbar sind. Ebenso geeignet ist das Einziehen eines sog. Inliners aus PE-HD bzw. GFK-Rohren. Diese Lösung bedeutet allerdings eine Reduzierung des Fließquerschnittes und bedarf einer Einziehbaugrube.

Der Vorteil dieser Lösungen besteht

- a) in der Möglichkeit, Materialspezifikationen einzusetzen, die den tatsächlichen Anforderungen entsprechen und
- b) es ist hierbei möglich, durch entsprechende Dimensionierung dem Inliner auch äußere Lasten zuzuweisen, was bei nicht ausreichend tragfähigen Kanalrohren evtl. eine Erneuerung erübrigt.

Der diesbezügliche statische Nachweis für die Reliningrohre ist sowohl für den Betriebszustand als auch für den Einbau erforderlich.

Der Ringraum zwischen der Außenkante des Inliners und der Innenseite des Altkanals ist nach Umschluss der Hausanschlüsse abzudichten.

Problematisch ist bei allen vorgenannten Lösungen das Umschließen vorhandener Hausanschlüsse mit einer fachgerechten korrosionssicheren Andichtung an den neuen Inliner.

Sofern dieses Problem nicht durch Einsatz entsprechender Roboter aus dem Kanal heraus zufriedenstellend zu lösen ist, bleibt in der Regel nur der Umschluss in einer offenen Baugrube.

Bei einer Vielzahl von Hausanschlüssen mittels Abzweigen kann dies die Wirtschaftlichkeit einer Inlinerlösung zunichtemachen.

- **Renovation von begehbaren Profilen**

Bei der Renovation begehbare Profile kann man die Lösungen den Erfordernissen anpassen.

Zum Beispiel bestehen Sanierungsmöglichkeiten bei noch standsicheren Kanälen im Einbau vorgefertigter Kunststoffplatten, z. B. aus GFK, die in den Kanal über 300° eingespannt und verdübelt werden. Der Fugenschluss erfolgt hierbei durch den Einsatz des gleichen Materials wie dem der Platte, z. B. Überlamine bei GFK und Verschweißungen bei Thermoplasten.

Schachtauskleidung bei Sanierungen

Aufgrund der wesentlich besseren Zugänglichkeit eines Schachtes gegenüber dem Kanal ist es eine Frage der Wirtschaftlichkeit, eine Sanierung auf der Basis kunststoffmodifizierter Zementmörtel durchzuführen und diese Sanierung evtl. über den Betriebszeitraum mehrmals zu wiederholen.

Der Einsatz reiner Kunststoffmörtel ist jedoch aufgrund der Randbedingungen (drückendes Wasser, feuchte Oberflächen) sehr problematisch.

Schutzanstriche und Beschichtungen

Das Wesentliche bei Schutzanstrichen und Beschichtungen ist die Vorbehandlung und Grundierung. Hinweise hierzu enthält das Merkblatt ATV-M 263.

Als Beschichtung gilt ein in sich zusammenhängender, aus einer oder mehreren Schichten hergestellter Oberflächenschutz. Eine Beschichtung dient dazu, das Vordringen flüssiger oder gasförmiger Stoffe an die Werkstoffoberfläche weitgehend zu verhindern. Solche Beschichtungen bestehen in der Regel aus Reaktionsharzen.

Beschichtungen sind besonders durch Ein- und Durchdiffusion von kleinen Molekülen (Wasser, Sauerstoff, halogenierte Kohlenwasserstoffe) gefährdet, was zu Korrosion unter der Beschichtung und zu Blasenbildung führt. Besonders gefährdet sind die Beschichtungen dabei unter Thermoeffusionsbedingungen.

Durch den damit verbundenen Temperaturgradienten in der Beschichtung entsteht auch ein Gradient für den Partialdruck des Wasserdampfes, sodass durch den Druckunterschied die Wassermoleküle durch die Beschichtung gepresst werden. Bei metallischen Werkstoffen, insbesondere Stahl, kommt es zu einer Unterrostung der Beschichtung. Zementgebundene Werkstoffe korrodieren jedoch erst, wenn die Beschichtung aufgeplatzt ist und das korrosive Medium den ungeschützten Werkstoff erreicht.

Blasen können auch durch osmotische Vorgänge entstehen, wenn z. B. wasserlösliche Substanzen wie Lösemittel aus der Beschichtung oder wasserlösliche Salze durch mangelhafte Vorbehandlung der Oberflächen zwischen Beschichtung und Werkstoff vorhanden sind. Deshalb sind stets nur lösungsmittelfreie Beschichtungen auf möglichst gut gereinigten, glatten Oberflächen zu verwenden.

Beschichtungen

Beschichtungen bei Abwasseranlagen auf Eisenwerkstoffen meist auf der Basis von Epoxidharz oder Polyurethan, die werkseitig unter klar definierten Randbedingungen aufgebracht werden, worüber vom Erzeuger genaue Vorschriften anzugeben sind. Diese Beschichtungen zeigen in der Regel eine gute Beständigkeit.

Das Problem derartiger Beschichtungen besteht in der Beschädigungsgefahr (Unterrostung) und der daraus resultierenden schlechten Reparaturmöglichkeit des Systems bei laufendem Betrieb.

Hier bleibt vielfach nur der völlige Ausbau der Bauteile samt Neubeschichtung übrig.

Nachträgliche Kunststoffbeschichtungen von Abwasserleitungssystemen und Anlagenteilen sind technisch und wirtschaftlich durchaus als Reparaturmöglichkeit anzusehen.

Vorzuziehen sind jedoch Konstruktionen aus weitestgehend korrosionsbeständigem Material.

Im Allgemeinen sollen Betonflächen in Abwasserkanälen nicht beschichtet werden müssen. Soll jedoch der Beton in Abwasseranlagen infolge aggressiver Zusammensetzung des Abwassers beschichtet werden, sind geeignete Oberflächenschutzsysteme anzuwenden.

Durch die beidseitige Feuchtigkeitseinwirkung auf Beton bei erdverlegten Kanälen bzw. Bauwerken kann die Haftung der Beschichtung auf den Oberflächen und damit die Dauerhaftigkeit des Schutzes, vor allem bei in Betrieb befindlichen Anlagenteilen, beeinträchtigt werden.

Zudem ist infolge von Feuchtigkeit im Beton vor dem Beschichten das Haftvermögen von vornherein eingeschränkt. Die aufgrund dieses Feuchtigkeitseinflusses entstehenden technischen Probleme sind derzeit noch nicht gänzlich gelöst.

Daher ist das Aufbringen einer Beschichtung vor Inbetriebnahme der Anlagenteile eindeutig vorzuziehen.

Auch werkseitig aufgebrachte Beschichtungen weisen häufig schon nach kurzer Betriebszeit Schwachstellen auf. Hierzu zählt z. B. die Blasenbildung, die in absehbarer Zeit immer zum Aufplatzen der Beschichtung führt. Nach dem Aufplatzen ist der Werkstoff dem Korrosionsangriff schutzlos ausgeliefert. Bei biogener Schwefelsäure-Korrosion kann die Korrosion unter der aufgeplatzten Blase sogar noch sehr viel intensiver fortschreiten. Sodann ist zu beachten, dass Beschichtungen mit lösemittelhaltigen Stoffen in der Regel nicht diffusionsdicht bzw. osmosedicht sind, sodass z. B. infolge SO_4^{2-} -Diffusion eine Ettringitbildung unter der Beschichtung vorkommen kann, die zu einer Zerstörung der Beschichtung führt. Besondere Aufmerksamkeit muss man auch den Kanten, z. B. an Rohrstößen widmen, da hier die Beschichtung nicht so gleichmäßig aufgetragen werden kann und eine Verletzung der Beschichtung beim Einbau möglich ist.

Entscheidend ist bei den Beschichtungen, dass sie regelmäßig inspiziert werden (z. B. jährlich). Wenn Beschädigungen festgestellt werden, ist möglichst bald eine Reparatur der schadhafte Stellen vorzunehmen.

5.1.3 Hinweise für Planung und Betrieb

Planungshinweise

Korrosionsprobleme können bereits bei der Planung von Abwasserentsorgungsanlagen durch Beachtung der jeweiligen Erfordernisse weitgehend vermieden werden. Ist Korrosion trotzdem nicht auszuschließen, so ist eine dem Korrosionsangriff angepasste Werkstoffwahl zu treffen bzw. ein Korrosionsschutz vorzusehen. Die zum Einsatz kommenden Rohre und Anlagenteile müssen mit dem GRIS-Gütezeichen versehen sein.

Standort von Abwasserreinigungsanlagen

Ist es nicht möglich, den Standort einer Abwasserreinigungsanlage so zu wählen, dass das Abwasser auf kurzem Wege und möglichst schnell von der Anfallstelle zur ARA gelangt, so ist der Sulfidproblematik ein besonderes Augenmerk zu schenken.

Dies gilt besonders bei langen Sammlern und dem Betrieb mittels Druckleitungen.

Boden- und Grundwasserverhältnisse

Grundsätzlich ist, so wie bei jedem Bauvorhaben, schon im Planungsstadium zu ermitteln, ob auch von außen eine Korrosionsgefahr besteht. D. h. es ist festzustellen, ob Gebäudeteile oder Rohrleitungen im GW-Bereich liegen. Die Planung ist daher auf einer entsprechenden Untersuchung bezüglich der Aggressivität des Grundwassers und der Böden aufzubauen (ÖNORM B 2503, ÖNORM EN 1610, DIN 50929, Teil 3).

Abwasserzusammensetzung

Sofern bereits zum Planungszeitpunkt Abwasser vorhanden ist, dessen Beschaffenheit für die Beurteilung der im Betrieb auftretenden Verhältnisse zur Verfügung steht, sollen mehrere Abwasseranalysen durchgeführt und die analytischen Ergebnisse der Ausschreibung für die zu verwendenden Werkstoffe beigefügt werden. Als Parameter kommen hauptsächlich Temperatur, pH-Wert, absetzbare Stoffe, chemischer Sauerstoffbedarf, Magnesium, Ammonium, Sulfat, Chlorid und Sulfid infrage. Auch detaillierte Angaben des Abwasserursachers müssen eingeholt werden. Für die so beschriebene Abwasserzusammensetzung muss der Lieferant der Rohre bzw. Einrichtungsteile die Gewährleistung für die ausreichende Korrosionsbeständigkeit übernehmen.

Indirekt einleitende Betriebe

Die in einem Einzugsgebiet erfassten Indirekteinleiter sind auch im Hinblick auf die Ableitung möglicher korrosiv wirkender Abwässer zu beurteilen. Die Erfahrung zeigt, dass oft mit Überschreitungen der gesetzlich festgelegten Grenzwerte gerechnet werden muss, weil manche Indirekteinleiter die festgesetzten Parameter immer wieder missachten oder wegen innerbetrieblicher Störfälle nicht einhalten.

Weiters sind die jeweils zulässigen Abwasserparameter an der Einleitstelle zu berücksichtigen bzw. ist darauf zu achten, dass die jeweiligen Grenzwerte nicht überschritten werden.

Ist dies nicht möglich, so sind entsprechende Vorbehandlungseinrichtungen vor der Einleitstelle vorzusehen. Die gültigen Werte sind der jeweiligen branchenspezifischen AEV zu entnehmen, wobei auch auf die korrosiven Eigenschaften der Wasserinhaltsstoffe zu achten ist.

Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Einleitung von sauren als auch sulfidhaltigen Abwässern zu. Diese bewirkt nicht nur einen Angriff im Sohlbereich, sondern kann auch zu einer Schwefelwasserstoffentwicklung führen, die in weiterer Folge auch oberhalb des Abwas-

serspiegels zu einer biogenen Schwefelsäurekorrosion bei zementgebundenen Werkstoffen führen kann. Bei metallischen Werkstoffen ist auch auf den Chloridgehalt zu achten.

Entwässerungsverfahren

In Mischwasserkanälen bewirken Niederschlagsereignisse eine Spülung und Verdünnung aggressiver Abwässer. Bei geringer Teilfüllung bzw. bei geringem Gefälle besteht die Gefahr des Absetzens von Feststoffen in Mischwassersystemen. Solche Ablagerungen können die Ursache für eine biogene Schwefelsäurekorrosion sein.

Im Vergleich mit Mischwasserkanälen weisen Schmutzwasserkanäle bei Trockenwetter eine höhere Teilfüllung auf, sodass sich durch höhere Fließgeschwindigkeiten bzw. Sohlschleppspannungen weniger Ablagerungen als Quelle für biogene Schwefelsäure-Korrosion bilden können.

Zugabe von Chemikalien

Bei zu erwartenden Problemen im Leitungsbetrieb ist die Zugabe von Chemikalien bereits bei der Planung zu berücksichtigen.

Die Zugabe von Chemikalien muss so erfolgen, dass es nicht zu lokalen Konzentrationserhöhungen kommt. Es ist für eine intensive Durchmischung zu sorgen.

Die Auswirkungen der Chemikaliengabe auf die Grenzwerte des gereinigten Abwassers und des Klärschlammes sind zu beachten.

Durch Zugabe verschiedener Chemikalien lassen sich:

- desulfurizierende Zustände in Druckleitungen und anderen querschnittsgefüllten Leitungen vermeiden (Luft-, Reinsauerstoff, Nitrat, Wasserstoffperoxyd);
- bereits gebildete Sulfide in Druck- und in Freigefälleleitungen oxidieren (Wasserstoffperoxyd oder Ozon);
- Sulfide in Freigefälleleitungen ausfällen (Eisen- und andere Metallsalze);
- das Auftreten des molekularen Schwefelwasserstoffs aus dem Abwasser in die Kanalatmosphäre bei Freigefälleleitungen durch Alkalisierung verhindern (Kalk, Natronlauge).

Weiters lassen sich durch Zugabe von Flockungs- und Flockungshilfsmitteln Phosphate fällen. Bei der Auswahl der Verfahren sind die Auswirkungen der chemischen Reaktionen auf Bauwerke, Einrichtungsteile und die biologischen Vorgänge im Abwasser zu beachten. Auch den Auflagen der jeweiligen Abwasseremissionsverordnungen ist Rechnung zu tragen.

Alle angeführten Verfahren bedürfen spezieller Kenntnisse und erfordern gegebenenfalls den Einsatz bzw. die Beiziehung entsprechender Experten.

Bei der Zugabe von Chemikalien sind Korrosionsprobleme, die sich aus einer Über- oder Unterdosierung ergeben können, zu berücksichtigen, es ist dem sich dabei gegebenenfalls entwickelnden Gefahrenpotenzial besonders Rechnung zu tragen (Feuergefährlichkeit, Verätzung). Alle diese chemischen Zusätze können auch die biologischen Vorgänge im Abwasser und damit die Reinigung sehr stark beeinflussen.

Freigefälleleitungen

• Außenkorrosion

Im Planungsstadium sind vor Festlegung des Rohrwerkstoffes Untersuchungen auf Boden- bzw. Grundwasseraggressivität mit Beurteilung durch einen Sachverständigen zu veranlassen. Entsprechendes gilt für Schächte und sonstige Bauwerke.

- **Fließgeschwindigkeit**

Die Fließgeschwindigkeit sollte stets oberhalb der kritischen Geschwindigkeit von 0,3–0,5 m/s liegen, bei der es zum Absetzen von Feststoffen kommt. Der Nachweis der Fließgeschwindigkeit soll auch für die Abflussverhältnisse in den Nachtstunden und für Rückstaubereiche von Querschnittsverringerungen, Düchern usw. geführt werden. Können die für einen ablagerungsfreien Betrieb erforderlichen Fließgeschwindigkeiten wegen der topografischen Verhältnisse nicht eingehalten werden, ist die Verwendung besonders korrosionsgeschützter Rohre zu empfehlen. Des Weiteren können Maßnahmen im Kanalbetrieb erfolgen (z. B. regelmäßige Spülung).

Bei den Beurteilungskriterien sind neben den Jahreskosten auch Korrosionsschutzmaßnahmen, Geruchsbelästigungen und die Sicherheit des Betriebspersonals zu bewerten.

Bezüglich der Kanalquerschnitte sollte die Anordnung paralleler Leitungen und die Verwendung nicht kreisförmiger Rohre erwogen werden, wiewohl derzeit vorwiegend kreisförmige Rohre verfügbar sind. Bei Sammlern mit großem Durchmesser, z. B. bei Mischkanalisation, kann bei der Umstellung auf Trennkanalisation der Einbau eines kleineren Rohres in den großen Querschnitt erwogen werden. Bei Hauptsammlern, insbesondere bei Zusammenführung zweier Sammler, ist auch die Anordnung einer Grobreinigung (z. B. Sandfang) denkbar. Jedenfalls ist hierbei der große Wartungsaufwand zu berücksichtigen.

- **Natürliche Belüftung**

Die Belüftung der Kanäle begünstigt bei Korrosionsgefahr den erwünschten aeroben Zustand im Abwasser. Durch die Belüftung wird auch die Korrosion durch die Kanalatmosphäre erheblich vermindert. Lüftungen erfolgen durch Schachtabdeckungen mit Belüftungsöffnungen, Straßeneinläufe und über das Dach verlängerte Falleitungen (Lüftungsleitung) in Häusern. Bei Spezialbauwerken, wie z. B. Schieber- und Vereinigungsbauwerken etc., ist auf die Belüftung besonders zu achten.

- **Absturzbauwerke**

Absturzbauwerke begünstigen einerseits den Sauerstoffeintrag, andererseits stellen sie bei sulfidhaltigen Wässern eine Gefährdung dar.

Bei sulfidhaltigen Abwässern sind Turbulenzen grundsätzlich zu vermeiden. Maßnahmen zum Korrosionsschutz und zur Abluftbehandlung sind besonders zu beachten.

Pumpwerke und querschnittsgefüllte Leitungen

- **Pumpensumpf**

Auf eine ausreichende Belüftung des Pumpensumpfes ist zu achten. Darüber hinaus ist die Steuerung der Pumpen so auszulegen, dass es zu einer regelmäßigen Entleerung des Pumpensumpfes kommt. Der Einsatz von Rührwerken ist zur Vermeidung von stagnierenden Verhältnissen erwägenswert.

- **Querschnittswahl**

Die Querschnitte und die Steuerungsintervalle in der Anlage sind so zu wählen, dass das Anfaulen des Abwassers verhindert wird. Auch bei nicht sulfidhaltigen Abwässern ist es sinnvoll, bei langen Druckrohrleitungen eine Belüftung vorzusehen.

- **Fließzeiten**

Bei Bauteilen von Abwasserentsorgungsanlagen wie z. B. Dükern oder Druckleitungen, bei denen mit einem längeren Aufenthalt des Abwassers gerechnet werden muss und es damit zu Sulfidproblemen kommen kann, sind entsprechende Maßnahmen zur Verkürzung der Aufenthaltszeit oder sonstige Korrosionsschutzmaßnahmen vorzusehen.

- **Fließgeschwindigkeiten**

Ablagerungen in Leitungen und Bauwerken begünstigen das Entstehen von Schwefelsäurekorrosion. Bei der Dimensionierung dieser Anlagenteile sind daher Mindestfließgeschwindigkeiten von jedenfalls $> 0,5$ m/s zu berücksichtigen.

- **Ausmündung**

Die Lage der Ausmündung von Druckrohrleitungen ist so zu wählen, dass auch während des Betriebsstillstands die Leitung stets gefüllt bleibt.

- **Abwasserfrischhaltung**

Zur Abwasserfrischhaltung kann Luft eingelassen werden. Durch geeignete Konstruktion ist dabei zu verhindern, dass Gasblasen in den Saugbereich von Pumpen geraten. Mit einer künstlichen Be- und Entlüftung mit Abluftbehandlung kann bereits emittiertes Sulfid aus dem Luftbereich des Saugraums entfernt werden. Bei Einsatz von Schneckenpumpen erfolgt der zusätzliche Eintrag von Sauerstoff in der Schnecke durch den Betrieb.

- **Aerober Druckleitungsbetrieb**

Der im Abwasser gelöste Sauerstoff wird in der Druckleitung von Mikroorganismen in der Sielhaut, im Abwasser und ggf. in Ablagerungen gezehrt. Der tägliche Sauerstoffbedarf ist gemäß der Literatur abzuschätzen (z. B. LOHSE, 1987).

Druckleitungen mit Hoch- und Tiefpunkten sind mit Einrichtungen auszustatten, die eine Be- und Entlüftung sowie eine Entleerung gestatten.

Sind kritische Betriebszustände zu erwarten, sind bereits bei der Planung Möglichkeiten zur Chemikalieneinbringung bzw. zur Lufteinspeisung vorzusehen.

Die hydraulische Berechnung ist diesen geänderten Parametern anzupassen. Die örtlichen Verhältnisse wie z. B. Druckleitungsgefälle sind bei Luft- und Reinsauerstoffdosierung zu beachten. Eine Spülmöglichkeit ist ebenfalls einzuplanen.

Bei Einsatz des Druckentwässerungsverfahrens ist zur Begrenzung der Desulfurikation eine zeitgesteuerte Spüleinrichtung mit Wasser oder Druckluft einzusetzen. Die Unterdruckentwässerung ist in korrosionstechnischer Hinsicht weniger problematisch.

Betriebliche Maßnahmen zur Verhinderung von Korrosion

- **Reinigung und Wartung**

Stark verschmutzte Kanäle weisen häufig anaerobe Abwasserhältnisse auf und begünstigen so die biogene Schwefelsäure-Korrosion. Die wichtigste betriebliche Maßnahme zur Erhaltung von funktionierenden Abwasserableitungs- und -Behandlungseinrichtungen ist deshalb deren Reinigung und Wartung. Besonders der Eintrag mineralischer Stoffe in die Kanalisation muss gering gehalten werden, da die mineralischen Bestandteile von Ablagerungen sehr hohe Fließgeschwindigkeiten benötigen, um von der Kanalsohle wieder aus-

gespült zu werden. Am wirkungsvollsten lässt sich der mineralische Feststoffeintrag durch häufige Kontrolle und Reinigungen der Straßenabläufe und Schmutzfänger verringern.

Bei der Reinigung sind besonders die hydraulischen Zwangspunkte (Anfangsstauhaltungen, Stauraumkanäle) zu beachten. Diese Reinigung sollte mindestens einmal jährlich erfolgen. Bei einer Tendenz zu schneller Wiederverschmutzung sind kürzere Intervalle anzusetzen bzw. sind die Ursachen zu erkunden.

Bei Anlagenteilen, wo eine solche Wartung nicht möglich ist, wie z. B. in Druckleitungen, sollte zur Verhinderung von Sulfidbildung die Sauerstoffbilanz wie vorher angeführt verbessert werden.

Besonders wichtig ist die laufende Untersuchung an den Zwangs- und Gefahrenpunkten und deren detaillierte Dokumentation (z. B. Kanalkataster bzw. GIS-Systeme).

- **Maßnahmen bei Korrosionserscheinungen**

Treten an bestehenden Anlagen Korrosionserscheinungen auf, so sind sofort die Ursachen festzustellen und entsprechende Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Besonders ist darauf zu achten, dass Funktion und Standsicherheit der Anlage nicht gefährdet sind.

- **Maßnahmen in Pumpensämpfen und Druckleitungen**

Häufig entstehen die Probleme punktuell, z. B. in Pumpensämpfen oder in Druckleitungen mit zu langen Verweilzeiten. Hier muss zunächst die Sauerstoffbilanz des Abwassers überprüft werden. Ein Sauerstoffgehalt von 1 mg/l im Abwasser reicht üblicherweise aus, um die Sulfidbildung wirkungsvoll zu verhindern. Liegt der mittlere O₂-Gehalt tiefer, dann ist zunächst zu überlegen, ob sich eine Verbesserung durch betriebliche Maßnahmen erreichen lässt. Diese betrieblichen Maßnahmen können erreicht werden durch:

- weitgehende Entleerung der Pumpensämpfe
- Verkürzung der Aufenthaltszeit des Abwassers im Pumpensämpf durch Verringerung des Pumpensämpfvolumens mittels Erniedrigung des Einschaltpunkts und Erhöhung der Pumpenfrequenzen
- Spülung des Pumpensämpfes zur Vermeidung von Ablagerungen, sinnvollerweise durch intervallartige Kreislaufführung des geförderten Abwassers
- Entleerung der Druckleitungen nach Beendigung des Pumpvorganges (nur bei kurzen Druckleitungen oder kleinen Durchmessern sinnvoll).

Lassen sich diese Maßnahmen nicht verwirklichen oder erfolgreich umsetzen, kommt die Dosierung verschiedener Chemikalien oder eine Druckbelüftung/Reinsauerstoffbegasung infrage.

5.2 Bäder

5.2.1 Einleitung

Im Badewasser ist die Korrosionsproblematik ebenso allgegenwärtig wie vielschichtig. Dies vor allem deshalb, weil unmittelbare Kontakte zwischen meist sehr aggressiven Chemikalien und korrosionsempfindlichen Werkstoffen unvermeidbar sind.

Die nachstehenden, nach dem Bäderhygienegesetz zugelassenen Chemikalien sind für Anlagen mit Genehmigungspflicht verbindlich. In Anlagen, welche keiner Genehmigungspflicht unterliegen, sind auch andere Verfahren und Chemikalien anwendbar. Ihr Einsatz wie auch korrosionstechnische Auswirkung setzt erhebliches Fachwissen voraus. Entsprechende Sachverständige sollten zu Rate gezogen werden.

5.2.2 Gesetzliche und normative Vorgaben:

In Österreich wird die Badewasserqualität sowohl in der Verordnung zum Bäderhygienegesetz (BGBl. II Nr. 420/1998) wie auch in der ÖNORM M 6215 vorgegeben.

Als korrosionsrelevant sind dabei besonders der pH-Wert, noch mehr aber der maximal erlaubte Chloridgehalt und die Konzentration an Desinfektionsmitteln wie Chlor oder Ozon (*siehe Tabelle 23*).

Tabelle 23: Kennwerte aus BGBl. II Nr. 420/1998

	Beckenwasser		
	Hallenbad	Freibad	Whirlpool
pH-Wert mind.	6,5	6,5	6,5
Chlorid mg/l max. (über dem des Füllw.)			
ohne Ozon	200	350	75
mit Ozon	300	350	75
Chlor frei mg/l max.	1,2	2,0	1,2

Dazu reglementiert die Gesetzgebung in der genannten Verordnung in Anlage 2 zu § 22 die zugelassenen Flockungsmittel, in Anlage 3 zu § 27 die Desinfektionsmittel und in Anlage 4 zu § 30 die zulässigen Mittel zur pH-Einstellung. Darüber hinaus werden in Normen Details wie etwa Reinheit der zuzugebenden Chemikalien, Gehalt an Wirksubstanz, Handhabung, Anwendungsmengen, Angaben über zu verwendende Werkstoffe, Nebenbestandteile usw. geregelt. Die Verträglichkeit zwischen Badewasser und den verwendeten Werkstoffen muss jedenfalls schon im Planungsstadium eingehend geprüft werden.

Dabei sind folgende Faktoren zu beachten:

1. Chemismus des Füllwassers
2. Wassertemperatur, z. B. bei Warmsprudelbecken
3. Eindickung durch Chemikalienanreicherung

Ein besonderes Problem können Mineral- oder auch Thermalwässer sein, deren korrosive Eigenschaften vielfach unterschätzt werden. In hoch mineralisierten Wässern (in Österreich sind solche mit über 8.000 mg/kg gelösten Substanzen bekannt) können neben erhöhten Werten von Sulfat und Chlorid auch Jodid, Bromid und/oder Schwefelwasserstoff in durchaus korrosionsrelevanten Konzentrationen enthalten sein. Wenn diese als Füllwässer z. B. bei Therapiebädern zur Verwendung/Anwendung kommen, ist zu beachten, dass mit manchen in Bädern eingesetzten Materialien wie etwa rostfreiem Stahl, Fugenmassen bei Verfließungen, Innenbeschichtungen von Wasseraufbereitungsfiltern, Rohrleitungen, Pumpen usw. ausgesprochene Unverträglichkeiten bestehen können.

5.2.3 Korrosionsrelevante Stoffe

Hier handelt es sich vor allem um Chemikalien für die Wasseraufbereitung und zur Sicherstellung einer optimalen Wassergüte.

Zur besseren Übersicht dient folgende Einteilung:

- a) Flockungsmittel
- b) Desinfektions-/Oxidationsmittel
- c) Produkte zur pH-Einstellung
- d) Reinigungsmittel

Bei allen eingesetzten Produkten sind die zugehörigen Sicherheitsdatenblätter zu beachten. Die Reinheitsanforderungen für die eingesetzten korrosionsrelevanten Stoffe sind den entsprechenden ÖNORMEN/EN-Normen zu entnehmen. Für die wichtigsten Chemikalien werden sie angeführt.

5.2.3.1 Flockungsmittel:

- Aluminiumsulfat
- Aluminiumchloridhexahydrat
- Aluminiumhydroxichlorid
- Aluminiumhydroxichloridsulfat
- Eisen(III)sulfat
- Eisen(III)chlorid
- Natriumaluminat

Als Folge ihrer Hydrolyse in der Ansatzlösung reagieren diese Mittel stark sauer, bzw. Natriumaluminat alkalisch. Bei der Zudosierung zum Badewasser werden diese gelösten Metallsalze nicht mehr in Lösung gehalten und flocken aus. Den sich dabei bildenden Metallhydroxiden wie auch den damit verbundenen Änderungen der pH-Werte kommt in korrosiver Hinsicht große Bedeutung zu.

Die mit Flockungsmitteln eingebrachten Chloride und/oder Sulfate bleiben im Wasser gelöst und führen so zu einer verstärkten Korrosivität im Wasser. Die Verwendung von Natriumaluminat sollte sich auf sehr weiche Wässer (z. B. auf solche mit einer Karbonathärte unter etwa 5° dH) beschränken. Bei Überdosierung können sich auch hier Korrosionsprobleme ergeben.

5.2.3.2 Desinfektions-/Oxidationsmittel

Zur Desinfektion von Badewasser sind als anorganische Produkte zugelassen:

- Chlorgas
- Calciumhypochlorit
- Lithiumhypochlorit
- Natriumhypochlorit
- Ozon

Organische Chlorverbindungen dürfen nur eingeschränkt Verwendung finden (siehe hierzu BGBl. II Nr. 420/1998).

Die aufgezählten Chlorverbindungen haben allesamt gemeinsam, dass dem Wirkungsmechanismus im Wasser die Bildung von unterchloriger Säure (mit steigendem pH-Wert Verschiebung zum Hypochlorit-Ion) zugrunde liegt, aus welcher letztlich Sauerstoff abgespalten wird, welcher dann die eigentliche Desinfektion wie auch Oxidation übernimmt. Da alle diese Verbindungen stark oxidierend wirken, ist damit eine Erhöhung der Korrosivität des Wassers gegenüber den Werkstoffen verbunden. Entsprechend dem Anteil an Wirksubstanz und ev. Nebenbestandteilen können die unterschiedlichen zugegebenen Chemikalien stark sauer, mäßig oder stark alkalisch reagieren, mehr oder weniger Chloride enthalten, besser oder schlechter löslich sein etc.

Unabhängig vom gewählten Chlorpräparat erfolgt durch die im Wasser ablaufenden Reaktionen der Umsatz zu Chlorid und damit eine weitere Erhöhung der Korrosionsaktivität.

Chlorgas (Cl_2) reagiert mit Wasser stark sauer und neigt damit zu einer Senkung des pH-Werts. Es zeichnet sich durch einen Wirksubstanz-Anteil von über 99 % aus.

Reaktion mit Wasser: $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HOCl} + \text{HCl}$ (unterchlorige Säure + Salzsäure)

Calciumhypochlorit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) ist als anorganisches Chlorgranulat sehr weit verbreitet und wird sowohl als wässrige Lösung angesetzt wie auch als Granulat trocken dosiert. Der Anteil an Wirksubstanz liegt bei 60–65 %, die chemische Reaktion ist mäßig alkalisch. Herstellungsbedingt kann das Produkt Calciumchlorid (CaCl_2) wie auch Natriumchlorid (NaCl) in Anteilen von 15–20 % enthalten, wodurch die Korrosionsaktivität im Wasser noch verstärkt wird.

Lithiumhypochlorit wirkt vergleichsweise wie Calciumhypochlorit, ist löslicher und stabiler, aber merklich teurer.

Natriumhypochlorit (NaOCl), Chlorbleichlauge, reagiert stark alkalisch, wird als etwa 12–15%ige Lösung in den Handel gebracht. Durch längere, nicht gekühlte Lagerung, beispielsweise 3–4 Wochen, kann ein Abfall auf etwa 8–10 % auftreten. Produktionsbedingt weist sie einen Natriumchloridgehalt von etwa 8–10 % auf, der im Zuge der Lagerung weiter ansteigt. Bedingt durch diesen unvermeidbaren Abfall des Anteils an Wirksubstanz muss dann zunehmend mehr Produkt dosiert werden. Die eingesetzte Chlorbleichlauge sollte der ÖNORM EN 901 entsprechen, sogenannte „stabilisierte“ Produkte entsprechen nicht dieser Norm. Eine Stabilisierung erfolgt durch Zusatz von alkalischen Mitteln und bedingt so einen noch einmal erhöhten Aufwand an pH-Korrekturmittel.

Ozon (O_3) weist von den zugelassenen oxidierend wirkenden Substanzen das höchste Oxidationspotenzial und damit auch entsprechende Korrosivität auf.

In der ozonspezifischen Aufbereitungsstufe (sog. Oxidationsstufe), das sind vor allem Vermischungseinrichtung, Reaktionsbehälter, Aktivkohlefilter und die zugehörigen Verrohrungen, sind die zur Verwendung kommenden Werkstoffe (sowohl metallische als auch Kunststoffe) der Oxidationswirkung voll ausgesetzt.

Organische Chlorverbindungen wie Di- und Trichlorisocyanursäure sowie auch deren Natriumsalze dürfen nur eingeschränkt Verwendung finden und sind in korrosionstechnischer Hinsicht mit Calciumhypochlorit vergleichbar.

5.2.3.3 pH-Korrekturmittel

Aus korrosionsrelevanter Sicht stehen aus der Zulassungsliste Anlage 4 zu § 30 der VO zum Bäderhygienegesetz (BGBl. II Nr. 420/1998) im Vordergrund:

- Natriumhydrogensulfat
- Schwefelsäure
- Salzsäure
- Kohlenstoffdioxid
- Dolomit halbgebrannt

Die Wirkung dieser Mittel hängt von der Pufferkapazität des Wassers ab. Bei harten Wässern mit hohen Anteilen an Hydrogencarbonat (Karbonathärte) ist mehr Korrekturmittel einzusetzen als bei weichen, schwach gepufferten Wässern. Die Zugabe von pH-Korrekturmitteln hat so zu erfolgen, dass der in der Bäderhygieneverordnung bzw. in der ÖNORM M 6215 verlangte pH-Bereich sichergestellt wird. Außerhalb dieses pH-Bereichs, insbesondere im sauren Bereich, steigt die Gefahr von Korrosion deutlich an. Beim Einsatz von Schwefel- bzw. Salzsäure ist besondere Vorsicht bei Umgang und Lagerung geboten.

Natriumhydrogensulfat (NaHSO_4) reagiert durch die Hydrolyse im Ansatzwasser stark sauer (dissoziierte Schwefelsäure). Der Sulfatgehalt im Wasser wird anteilig erhöht, mitunter auf mehrere hundert mg/l. Damit ist ein korrosiver Einfluss sowohl auf Metalle wie auch auf zementgebundene Werkstoffe (Fugenmassen bei Verfließungen) gegeben.

Schwefelsäure (H_2SO_4), als pH-Korrekturmittel meist um 35–40%ig im Handel. Sehr viele Werkstoffe, auch organische, werden von Schwefelsäure stark angegriffen. Bei dieser Che-

mikalie ist besondere Vorsicht im Umgang geboten (Verätzungsgefahr). Durch den Gebrauch werden im Wasser Sulfate angereichert, welche einerseits Metallkorrosionen, andererseits aber auch ebenso Angriffe auf zementgebundene Werkstoffe wie Beton, Fugenmasse etc. verursachen (siehe auch Natriumhydrogensulfat).

Salzsäure (HCl)

Salzsäure führt zu einer Anreicherung von Chlorid, welches auf viele metallische Werkstoffe korrosiv wirkt. Die handelsübliche Salzsäure ist rd. 25–30%ig und muss aufgrund ihrer hohen Aggressivität sehr vorsichtig gehandhabt werden. Salzsäure dampft sehr stark aus der Flüssigkeit ab, was zu Angriffen über den Luftweg (sowohl auf metallische wie auch auf zementgebundene Werkstoffe) führen kann.

Kohlenstoffdioxid (CO₂), in wässriger Lösung auch als „Kohlensäure“ bezeichnet. Die Kohlensäure ist, wenngleich eine sehr schwache Säure, doch geeignet, den pH-Wert eines Wassers zu senken. Die Reaktionsprodukte sind Hydrogenkarbonate und Karbonate, welche im Bäderbereich für die Korrosion aber kaum Bedeutung haben.

Dolomit, halbgebrannt (CaCO₃ · MgO)

Wird saures Wasser über dieses Material geleitet, so reagieren Säuren jeglicher Art vornehmlich mit dem alkalischen Magnesiumoxid unter Bildung der entsprechenden Salze. Durch diese Methode kann der pH-Wert angehoben werden. Die dabei entstehenden Magnesiumverbindungen (z. B. Hydrogenkarbonat, Chlorid, Sulfat usw.) haben jedoch einen großen Nachteil: Beton aus dem üblichen Zement (in der Regel Portlandzement) ist magnesiumempfindlich. Insbesondere Magnesiumsulfat ist als Zement zerstörend bekannt. Fliesenfugenmaterial, Unterbeton, Estriche, Betonoberflächen (z. B. im Ausgleichsbecken) können sehr in Mitleidenschaft gezogen werden. Siehe diesbezüglich auch ÖNORM B 2503 und *Kapitel 4*.

5.2.3.4 Reinigungsmittel

Im Badebetrieb sind Reinigungsmittel aus zwei Anwendungsbereichen heraus zu beurteilen:

- Zur Entfernung von fettigen oder öligen Rückständen werden alkalische Produkte eingesetzt, welche in korrosionstechnischer Hinsicht weitgehend harmlos sind. Längere Kontaktzeiten mit alkaliempfindlichen Werkstoffen (z. B. Aluminium) sind jedoch zu vermeiden.
- Zur Beseitigung von meist anorganischen Ablagerungen aus dem Wasser werden vorzugsweise saure Mittel angewandt. Häufig wird Phosphorsäure, vielfach Amidosulfonsäure oder Zitronensäure, mitunter sogar Salzsäure (in Anteilen bis gegen 20 %) eingesetzt. Dadurch können Werkstoffe auf Zementbasis wie auch Metalle angegriffen werden.

Generell sind die Kontaktzeiten möglichst kurz zu halten!

5.2.3.5 Sonstige Zusatzmittel

Bei Verwendung von Kupfersulfat zur Algenbekämpfung ist auf die im Wasserkreislauf befindlichen Werkstoffe Rücksicht zu nehmen.

5.2.4 Werkstoffe

Dieses Thema ist sehr weit gefächert, weshalb eine Einteilung sinnvoll erscheint, welche wie folgt und in willkürlicher Reihung vorgenommen wird:

- Metalle (Becken, Filter, Leitungen, Pumpen, Einbauteile etc.)
- zementgebundene Werkstoffe (Fliesenfugen, Beton)
- Kunststoffe (Becken, Filter, Folien, Rohre)
- keramische Werkstoffe

5.2.4.1 Metalle

Badewasser stellt mit seiner erhöhten Korrosivität an die damit in Berührung kommenden metallischen Werkstoffe besondere Anforderungen.

Unter dem Begriff „Metalle“ finden sich im Bäderbereich hauptsächlich folgende Werkstoffe:

- Stahl, un- oder niedrig legiert
- nichtrostende Stähle
- Aluminium
- Kupfer und Kupferlegierungen
- metallische Überzüge

Unlegierte und niedrig legierte Eisenwerkstoffe

Stahl, un- oder niedrig legiert, ist relativ korrosionsanfällig.

Die unmittelbare Berührung von Badewasser mit diesen Werkstoffen ist daher unbedingt zu vermeiden. Für den Bau von Filterkesseln, vor allem solcher größerer Dimensionen, sind jedoch solche Stähle aus Kostengründen wie auch wegen der mechanischen Stabilität notwendig. Sekundäre Schutzmaßnahmen wie Beschichtung, Anstrich, Kathodenschutz und andere sind daher erforderlich. Neben den erwähnten Filterkesseln findet Stahl auch für Verrohrungen, Bauelemente, Armierung von Beton, Mauerdurchführungen, Heizungsrohre für Warmwasserheizungen (Radiatoren und Fußboden), in verzinkter Form für Bleche, Verkleidungen etc. Verwendung.

- **Filter – Innenschutz**

Wegen ihrer relativ großen wasserberührten Flächen wie auch durch ihre Füllungen mit z. B. Quarzsand, Anthrazit, Aktivkohle etc. sind sie mehreren Korrosionsmechanismen ausgesetzt, wozu noch die Anreicherung von korrosionsaktiven Substanzen wie z. B. Metallhydroxiden aus der Flockung kommt, sodass hier beim Einsatz von unlegiertem Stahl als Konstruktionswerkstoff grundsätzlich ein Innenschutz erforderlich ist.

Die Schutzmaßnahmen sind in zwei Systeme zu trennen:

- I. Anstrich / Beschichtung
- II. Kathodenschutz

- **Anstrich / Beschichtung:**

Bis vor wenigen Jahren waren Mehrkomponentenanstriche (meist Epoxiharze) durchaus üblich. In jüngerer Zeit wurden diese durch sog. „Beschichtungen“ verdrängt, von denen üblicherweise zwei Systeme in Verwendung sind:

- a) Aufschmelzen und Einbrennen einer Kunststoffschicht
- b) Gummierung

Auf beschichtungsgerechte Konstruktion des Behälters gemäß ÖNORM EN 14879-1 ist in beiden Fällen besonders zu achten (z. B. Vermeidung scharfer Ecken und Kanten, Beachtung entsprechender Radien bei Abrundungen usw.).

ad a) Aufgesintertes Material (z. B. aus Kunststoffen) zeigt brauchbare allgemeine Chemikalienbeständigkeit, auf Ozon bezogen ist eine solche allerdings nicht immer gesichert. Bei Transport und Montage muss auf die Sprödigkeit besonders geachtet werden. Nachträgliche Ausbesserungen von gesintertem Material vor Ort sind schwierig durchzuführen und nicht immer möglich.

ad b) Bei der Gummierung werden ca. 4 mm starke Platten aus Natur- oder synthetischem Gummi auf die Innenflächen aufvulkanisiert.

Gut ausgewählte und aufgearbeitete Gummierungen zeigen eine ausgezeichnete Chemikalienbeständigkeit. Die Beständigkeit gegenüber Ozon ist wesentlich von der Art und Herkunft des zur Anwendung kommenden Materials abhängig und muss gegebenenfalls nachgewiesen werden.

Ausbesserungen vor Ort sind meist ohne wesentliche Probleme durchführbar.

Bei gut gewählten und ebenso verarbeiteten Gummierungen sind Lebenszeiten von bis zu 20 Jahren (auch bei Einsatz von Ozon) durchaus erreichbar.

- **Kathodenschutz**

Der kathodische Korrosionsschutz stellt ein elektrochemisches Verfahren zur Verringerung der Korrosion dar (*siehe Kapitel 2.3.5*).

Die Auslegung kathodischer Korrosionsschutzanlagen ist in jedem Falle von einem Fachmann durchzuführen. Die Regeln für Planung und Ausführung/Anwendung sind zu beachten. Bei nicht optimaler Vorsorge sind möglicherweise einzelne Anlagenteile wie z. B. Anschlussstutzen nicht geschützt.

Die Wirkung des kathodischen Korrosionsschutzes hängt weitgehend vom kontinuierlichen Betrieb ab. Dabei sind laufende betriebseigene Überwachungen wie auch regelmäßige Adaptierungen und Wartungsarbeiten unerlässlich. Eine lückenlose Dokumentation der Betriebsdaten erleichtert nachträgliche Reklamationen.

Instationäre Betriebsbedingungen bedürfen anlagenspezifischer Vorsorge- und Schutzmaßnahmen. Insbesondere die Vorgehensweise bei Außer- und Wiederinbetriebnahme ist in Zusammenarbeit mit der Lieferfirma festzulegen. Hievon sind in erster Linie Freibäder, aber auch Hallenbäder bei Stehzeiten betroffen.

Sicherheitseinrichtungen zur Verhinderung der Bildung gefährlicher Gasgemische müssen installiert und von einem Sachverständigen abgenommen werden.

Nichtrostende Stähle

Nichtrostende, hoch legierte Stähle nehmen im Bäderwesen einen sehr breiten Raum ein.

Heute werden nicht nur Becken, sondern auch Filter, Treppen, Beckenleitern, Verrohrungen, Geländer, bis hin zu Türzargen, Befestigungselementen, Sichtblenden und vieles mehr aus solchen Werkstoffen gefertigt.

Vor allem die feuchte Atmosphäre, insbesondere aber die erhöhten Anteile an Chloriden wie noch zusätzlich an stark oxidierenden Chlorverbindungen sind besonders zu beachten.

Aber auch Ozon, ein pH-Wert im sauren Bereich und die oft erhöhten Temperaturen sind gegenüber diesen Stählen oft sehr korrosiv. Deshalb kommt der auszuwählenden Stahlqualität große Bedeutung zu.

Die typische Lochkorrosion tritt nur in Wässern auf, die Chlorid- oder Bromidionen enthalten. Zusätzlich kann diese Wirkung durch Oxidationsmittel verstärkt werden.

Seit der Novelle zum Bäderhygienegesetz vom 1. Dezember 1998 sind höhere Chloridgehalte (bis 350 mg/l in Freibeckenbädern) zulässig, dadurch ist der Einsatz von molybdänlegierten Stählen (wie z. B. 1.4404 = X 2Cr Ni Mo 17-12-2, früher als V₄A bezeichnet) zum Stand der

Technik geworden. Der Einsatz der früher verwendeten Stahlqualitäten (z. B. 1.4301) ist bei diesen Chloridgehalten problematisch.

In der Atmosphäre von Hallenbädern mit gechlortem Badewasser besteht bei nichtrostenden Stählen erhöhte Gefahr von Spannungsrisskorrosion. Daher ist die Wahl der Legierungsklasse bei konstruktiven Bauelementen wie z. B. Tragwerken und Abhängungen von besonderer sicherheitstechnischer Bedeutung. Aus der Nichtbeachtung dieser Zusammenhänge sind in der Vergangenheit schwere Schäden aufgetreten, zum Teil sogar mit Todesfolgen! Zur Werkstoffauswahl siehe auch das Merkblatt 831 der Informationsstelle Edelstahl rostfrei.

Besonderes Augenmerk ist dabei den Schweißnähten zu widmen, da durch den Schweißvorgang die Korrosionsanfälligkeit drastisch erhöht wird. Zusätzlich zur geeigneten Schweißtechnologie ist eine Nachbehandlung (beizen und passivieren) erforderlich, um die optimale Beständigkeit des Werkstoffes zu erreichen.

Vorsicht ist auch bei der Verwendung von chloridhaltigen Reinigungsmitteln (z. B. auf Basis Salzsäure), Scheuermitteln, Schmirgel oder Hilfsmitteln aus Metall wie etwa Drahtbürsten o. Ä. geboten.

Unweigerlich treten Schäden auch dann auf, wenn beispielsweise Chlorgranulat in ein Metallbecken eingestreut wird (gilt auch für die Überlaufrinne).

Mit zu beachten ist, dass auch die Flockungsprodukte bei Edelstahl zu Korrosion Anlass geben können. Weiters ist auch die Unverträglichkeit mit Filtermaterialien wie Aktivkohle, Anthrazit und Quarzsand nicht zu vernachlässigen.

Aluminium

Aluminium fand früher Verwendung bei Becken, div. Verkleidungen, Zargen, Blenden, Bauelementen etc. Alubecken und sonstige der Feuchtatmosphäre ausgesetzte Anlagenteile müssen beschichtet werden. Diese Beschichtungen sind regelmäßig zu kontrollieren. In Zusammenhang mit Wasser und feuchter Atmosphäre kommt aus Korrosionsgründen Aluminium als Werkstoff dafür heute kaum mehr zum Einsatz.

Kupfer und Kupferlegierungen

Kupfer und Kupferlegierungen finden im Bäderwesen Verwendung für Versorgungsleitungen in Heißwasser-Heizungskreisläufen, Mauerdurchführungen, Steckhülsen, Messwasser-Anschlüssen usw. Auch bei diesen Werkstoffen müssen die entsprechenden Korrosionsangriffe beachtet werden.

Bronze und Rotguss

Die Verwendung beschränkt sich auf Pumpenlaufräder und auf Fittinge. Sie sind als Pumpenelement bei geringer Mineralisation des Wassers gerade noch brauchbar, nicht so bei erhöhten Sulfatgehalten.

Im ozonhaltigen Bereich grundsätzlich nicht anwendbar.

Metallische Überzüge

Metallische Überzüge finden heute nur mehr in Randbereichen Anwendung.

Verzinkte Bauteile sind in der Regel gegenüber Badewasser nicht ausreichend beständig, auch bei verchromten Bauteilen ist die erhöhte Korrosionsgefahr zu berücksichtigen.

5.2.5 Zementgebundene Werkstoffe

Zementgebundene Werkstoffe sind im Bäderbereich als Beton oder in Form von Fugenmaterial bei Verfließungen im Einsatz. Bei der Auswahl der Zementsorten sind die Anforderungen der ÖNORM EN 4710-1 einzuhalten.

Die Verfließung eines Beckens wird fast nur in Hallenbädern vorgenommen, wobei nicht nur an das Schwimmbecken für sich, sondern auch an die Beckenumgänge, das Ausgleichsbecken und sonstige nass belastete Bereiche zu denken ist, welche in die Problematik der Verfugung bzw. des Fugenmaterials mit einzubeziehen sind.

Beton kann sowohl in Form einer (geglätteten) Oberfläche des Ausgleichsbeckens wie auch im Falle einer Leckage des Beckens mit den korrosionsaktiven Inhaltstoffen des Badewassers in Kontakt kommen. Dabei beschränken sich die Einflüsse nicht nur auf die Beton-Oberfläche, sondern es ist auch die darunter liegende Stahl-Armierung betroffen (Chloridgehalt maßgebend).

Bei der Wirkung von Badewasser auf Fugenmassen wie auch auf Beton sind der pH-Wert, der Sulfatgehalt sowie u. U. der Magnesiumgehalt des Becken- oder des Nachfüllwassers maßgeblich. Die Werte für einen möglichen Betonangriff sind in den einschlägigen ÖNORMEN angeführt (*siehe Kapitel 4*).

Besonders der Sulfatangriff kann sich sehr zerstörend auswirken, wobei der Beton unter Treiberscheinungen zerstört wird. Die wirksamste Vorbeugung ist in einer kunststoffmodifizierten (z. B. 2-Komponenten-) Beschichtung bzw. Fugenmasse zu finden.

5.2.6 Kunststoffe

Kunststoffe werden als Filter, Rohre, Becken, Folien für Auskleidungen und Abdeckungen eingesetzt. Sie zeigen generell gute Beständigkeit, sind aber gegenüber den Oxidationsmitteln empfindlicher.

Filter aus glasfaserverstärktem Epoxidharz oder Polyester (GFK) neigen an Schweiß- oder Klebestellen nicht selten zu Rissbildungen, welche aufgrund der hydraulischen Pulsierungen und wegen des thermoplastischen Verhaltens des Kunststoffes nur schwer beherrschbar sind.

Rohrleitungen haben die gesamte Beckenverrohrung zum Inhalt.

Als Werkstoff wird heute vornehmlich Polypropylen oder Polyethylen, mitunter PVC eingesetzt. Alle diese sind nicht korrosionsempfindlich.

Bei der Verrohrung zwischen Ozonzugabestelle und Aktivkohlefilter ist zu berücksichtigen, dass Ozon als stärkstes der zur Anwendung kommenden Oxidationsmittel erhebliche Ansprüche an die Korrosionsbeständigkeit stellt. Betroffen hiervon ist auch die trockene Gasphase vom Ozonerzeuger zur Impfstelle, wie auch die Ableitung zum Ozonvernichter.

Becken werden meist aus gut durchgehärtetem GFK (glasfaserverstärktes Epoxidharz oder Polyester), seltener in PVC geliefert. Auch Verbundmaterialien sind im Handel.

Die chemische und mechanische Beständigkeit ist üblicherweise sehr gut; Einschränkungen können bei einzelnen Werkstoffen durch erhöhte Wassertemperatur gegeben sein. Dieser Umstand muss bereits bei der Planung Berücksichtigung finden.

Folien finden Verwendung sowohl für Beckenauskleidungen als auch für die Abdeckung der Wasserfläche.

Abgesehen davon, welche Mengen an üblichen Zusatzstoffen (wie etwa zur Verbesserung der UV-Stabilität, oder auch als Weichmacher etc.) für sich oder als Reaktionsprodukt in das Wasser abgegeben werden, sind vor allem in Freibeckenbädern erhebliche meteorologische und auch mechanische Einflüsse gegeben, welche in vielen Fällen zu eingeschränkter Lebensdauer führen. Sehr oft zeigen sich in der Praxis Blasen und/oder Falten, welche einerseits durch nicht sachgerechte Verarbeitung oder aber durch Wahl minderer Materialien bedingt sind.

Probleme dieser Art treten meist verzögert, z. B. nach mehrmaliger Entleerung eines Beckens auf. Bei antimikrobiell ausgerüsteten Folien ist die mögliche Abgabe dieser Stoffe an das Badewasser zu bedenken.

5.2.7 Keramische Werkstoffe

Als keramische Werkstoffe werden vor allem Fliesen, sowohl als Beckenauskleidung wie auch als Bodenbelag verwendet. Es ist darauf hinzuweisen, dass eine verflieste Fläche nicht als wasserdicht anzusehen ist, sondern das Untermaterial entsprechend dicht sein muss.

5.3 Hygienische Auswirkungen von Korrosion in der Wasserversorgung

Durch die in der Trinkwasserverordnung (BGBl. II Nr. 304/2001) angeführten Parameterwerte ergibt sich, dass die Trinkwasserqualität am Zapfhahn des Verbrauchers garantiert werden muss. Die in der Verordnung angeführten Parameterwerte sind als Grenzwerte bzw. als zulässige Höchstkonzentration zu betrachten; Indikatorparameterwerte sind als Richtwerte zu verstehen. Interaktionen zwischen der Wasserqualität und den verschiedenen Materialien des Netzes müssen deshalb in Betracht gezogen werden. Dabei sind folgende Stoffe von Bedeutung: pH-Wert, Aluminium, Silber, Arsen, Cadmium, Chrom, Antimon, und Nickel, von besonderer Bedeutung sind Kupfer, Zink und Blei.

Bei der Betrachtung der Werkstoffe sind nicht nur die Legierungselemente, sondern auch die Verunreinigungen aus Gewinnung und Herstellung zu betrachten. Z. B. kommt Blei meistens vergesellschaftet mit Zink und Cadmium vor, bei Kupfer ist manchmal mit Arsen und Antimon zu rechnen.

Beim Komplex Werkstoffe–Wasser ist einerseits mit Oxidationsvorgängen zu rechnen, andererseits ist auch auf die Löslichkeit der Korrosionsprodukte Rücksicht zu nehmen, dabei sind vor allem örtlich begrenzte Metallangriffe von Wichtigkeit.

Als Regelwerk ist hier vor allem die DIN 50930, Teil 6 (Ausgabe 08/2001) zu berücksichtigen.

Auch Betriebsbedingungen und Lebensgewohnheiten müssen einbezogen werden. Die beiden letzteren Möglichkeiten erschweren unter anderem die Bedingungen bei der Probenahme zur Analytik der Metalle. Dies stellt bis heute manchmal nicht gelöste Probleme dar. Der Angriff von Wasser auf Werkstoffe ist von vielen Faktoren abhängig (*siehe auch Kapitel 2*), sodass allgemeine Betrachtungen aufgrund der üblichen Wasseranalyse kaum zum Ziele führen. In diesem Zusammenhang sei auch auf die Problematik der Versorgung mit unterschiedlichen Wässern hingewiesen. Zu den einzelnen Elementen ist Folgendes auszuführen:

Blei (Parameterwert derzeit 0,025 mg/l Pb, ab 01.12.2013 0,010 mg/l Pb)

Als Quelle für das Blei sind in erster Linie alte Bleileitungen zu nennen. Inlösungen von Silber, Kupfer, Arsen, Antimon und Zink kann dabei nicht ausgeschlossen werden. Eine weitere Quelle für Blei sind auch verzinkte Leitungen (die Verzinkung kann bis zu 1 % Blei enthalten, sowie 0,05 % Cadmium). Daneben können auch Kupfer und vor allem verschiedene Messingsorten Blei enthalten. Ebenso sind die Lote, die oft Zinn-Blei-Legierungen darstellen (mit möglichen Gehalten an Cadmium, Silber und Zink), von Bedeutung.

Aufgrund des niedrigen Parameterwertes für Blei ist es daher in fast allen Fällen notwendig, alte Bleileitungen auszutauschen.

Kupfer (Parameterwert 2,0 mg/l Cu)

Beim Werkstoff Kupfer muss auch auf die verschiedenen Messinglegierungen bedacht genommen werden. Aus diesen kupferhaltigen Werkstoffen können Blei und Arsen (bei Sondermessung) in Lösung gehen. Auch Hartlote können Kupfer enthalten.

Zink (Indikatorparameterwert laut Österr. Lebensmittelbuch, 4. Auflage, Kapitel B 1 „Trinkwasser“ 5 mg/l Zn – betrifft nur Wasser aus Installationen)

Zink in Form von verzinkten Stahlrohrleitungen stellt eines der wichtigsten Installationsmaterialien dar. Das verwendete Zink kann auch geringe Mengen an Blei und Cadmium enthalten. Auch verschiedene für Lote herangezogene Legierungen können Zink enthalten.

Nickel (Parameterwert 0,020 mg/l Ni)

Nickel wird nicht für Trinkwasserinstallationen verwendet, kann aber z. B. bei Armaturen in Form von Überzügen auftreten. Der Abtrag von Nickel liegt meist unter $0,02 \text{ g/m}^2 \times \text{Tag}$, ist also sehr gering. Allerdings sind wie bei vielen anderen metallischen Werkstoffen Angriffe durch oxidierend wirkende Desinfektionsmittel (z. B. Chlor, Ozon) zu berücksichtigen. Über ein Inlösungsgehen von Nickel und Chrom aus Leitungen aus nichtrostenden Stählen finden sich in der Literatur keine Hinweise.

Zementgebundene Werkstoffe

Es kann vor allem in der Anfangsphase zu erhöhten pH-Werten kommen, die die zulässige Grenze von 8,5 überschreiten. Dies ist sowohl bei Beton als auch AZ-Rohren in Betracht zu ziehen. Ansonsten können aus zementgebundenen Rohren noch unter anderem erhöhte Ammonium- und Kaliumgehalte resultieren.

Kunststoffe

Bei Kunststoffinstallationsmaterial muss auf das Inlösungsgehen verschiedener Inhaltsstoffe Rücksicht genommen werden. Dies können einerseits Schwermetalle (Blei, Cadmium, Zinn), andererseits organische Stoffe sein (geprüfte Rohre müssen deshalb auf Chlorzehrung und TOC-Gehalt geprüft werden).

Es gelten unter anderem folgende Normen:

PVC	ÖNORM EN 1452-1	Teil 1: Allgemeines
	ÖNORM EN 1452-2	Teil 2: Rohre
	ÖNORM EN 1452-3	Teil 3: Formstücke
	ÖNORM EN 1452-4	Teil 4: Armaturen und Zubehör
	ÖNORM EN 1452-5	Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems
PE-HD	ÖNORM EN 12201-1	Teil 1: Allgemeines
	ÖNORM EN 12201-2	Teil 2: Rohre
	ÖNORM EN 12201-3	Teil 3: Formstücke
	ÖNORM EN 12201-4	Teil 4: Armaturen
	ÖNORM EN 12201-5	Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems

Sonstiges

Bei der Betrachtung der Interaktionen zwischen Werkstoffen und Wasser muss insbesondere auch auf die Temperatur Rücksicht genommen werden. Je höher diese ist (Warmwasser), desto gravierender werden die Probleme. Als weiterer Punkt sei auf den Aluminiumgehalt im Wasser (Indikatorparameterwert 0,020 mg/l Al) verwiesen, der beim sogenannten Guldager-Verfahren resultieren kann. Auch auf allfällige Desinfektionsmittelgehalte (insbesondere Chlor) sei nochmals verwiesen.

Auf das Problem der Wiederverkeimung bei verschiedenen Werkstoffen sei hingewiesen. Dieses ist naturgemäß bei organischen Werkstoffen am höchsten. Biofilme im Inneren von Wassersystemen können sich indifferent verhalten, können Korrosion begünstigen oder zu hygienischen Problemen durch Keimvermehrung führen.

6 Literatur

6.1 Regelwerk

ÖWWV-Regelblatt 3: Hinweise für das Ableiten von Abwasser aus Schlachthanlagen und fleischverarbeitenden Betrieben in eine öffentl. Abwasseranlage, 1992

ÖWAV-Regelblatt 4: Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus Betrieben in eine öffentliche Abwasseranlage. 2., vollständig überarbeitete Auflage, 2001

ÖWWV-Regelblatt 5: Richtlinien für die hydraulische Berechnung von Abwasserkanälen, 1980

ÖWAV-Regelblatt 8: Hinweise für das ableiten von Abwasser aus oberflächenbehandelnden Betrieben in eine öffentliche Abwasseranlage oder einen Vorfluter, 1993

ÖWWV-Regelblatt 12: Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus milchbe- und -verarbeitenden Betrieben in eine Abwasseranlage, 1982

ÖWAV-Regelblatt 16: Einleitung von Abwasser aus Kfz-Tankstellen, Kfz-Waschplätzen und Kfz-Werkstätten in öffentliche Abwasseranlagen oder in Vorfluter. 3., überarbeitete Auflage, 2006

ÖWAV-Regelblatt 19: Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen. 2., vollständig überarbeitete Auflage, 2007

ÖWAV-Regelblatt 26: Hinweise für das Einleiten von Abwässern aus Weinbau- und Kellereibetrieben in eine Abwasseranlage. 2., vollständig überarbeitete Auflage, 2006

ÖWAV-Regelblatt 31: Deponiesickerwasser. Reaktordeponie, 2000

ATV-A 115: Einleiten von nicht häuslichen Abwässern in eine öffentliche Abwasseranlage, 1994

ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen, Teil 1: Grundlagen

ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen, Teil 2: Optische Inspektion

ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen, Teil 3: Relining

ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen, Teil 5: Allgemeine Anforderungen an Leistungsverzeichnisse für Reliningverfahren

ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen, Teil 6: Dichtheitsprüfungen bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck

ATV-M 168: Korrosion von Abwasseranlagen, 1998

ATV-M 263: Empfehlungen zum Korrosionsschutz von Stahlbauteilen in Abwasserbehandlungsanlagen durch Beschichtung und Überzüge, 1991

DVGW-Regel GW 10: Kathodischer Korrosionsschutz erdverlegter Lagerbehälter und Stahlrohrleitungen – Inbetriebnahme und Überwachung, 2000

6.2 Normen

DIN 4030-2: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben, 2008

DIN 4034-2: Schächte aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen; Schächte für Brunnen- und Sickeranlagen; Maße, Technische Lieferbedingungen, 1990

DIN 4051: Kanalklinker – Anforderungen, Prüfung, Überwachung, 2002

DIN 4281: Beton für werkmäßig hergestellte Entwässerungsgegenstände – Herstellung, Anforderungen, Prüfungen und Überwachung, 1998

DIN 30675-1: Äußerer Korrosionsschutz von erdverlegten Rohrleitungen; Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus Stahl, 1992

DIN 30675-2: Äußerer Korrosionsschutz von erdverlegten Rohrleitungen; Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus duktilem Gußeisen, 1993

DIN 50900-2: Korrosion der Metalle – Begriffe – Teil 2: Elektrochemische Begriffe, 2002

DIN 50905-1: Korrosion der Metalle – Korrosionsuntersuchungen, Teil 1: Grundsätze, 2009

DIN 50905-2: Korrosion der Metalle – Korrosionsuntersuchungen, Teil 2: Korrosionsgrößen bei gleichmäßiger Flächenkorrosion, 1987

DIN 50905-3: Korrosion der Metalle– Korrosionsuntersuchungen, Teil 3: Korrosionsgrößen bei ungleichmäßiger und örtlicher Korrosion ohne mechanische Belastung, 1987

DIN 50905-4: Korrosion der Metalle– Korrosionsuntersuchungen, Teil 4: Durchführung von chemischen Korrosionsversuchen ohne mechanische Belastung in Flüssigkeiten im Laboratorium, 1987

DIN 50926: Korrosion der Metalle; Kathodischer Korrosionsschutz mit Fremdstrom im Sohlbereich von Heizölbehältern aus unlegiertem Stahl, 1992

DIN 50927: Planung und Anwendung des elektrochemischen Korrosionsschutzes für die Innenflächen von Apparaten, Behältern und Rohren (Innenschutz), 1985

DIN 50928: Korrosion der Metalle; Prüfung und Beurteilung des Korrosionsschutzes beschichteter metallischer Werkstoffe bei Korrosionsbelastung durch wäßrige Korrosionsmedien, 1985

DIN 50929-1: Korrosion der Metalle; Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung; Allgemeines, 1985

DIN 50929-2: Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung; Installationsteile innerhalb von Gebäuden, 1985

DIN 50929-3: Korrosion der Metalle; Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung; Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern, 1985

DIN 50930-6: Korrosion der Metalle – Korrosion metallischer Werkstoffe im Inneren von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wasser – Teil 6: Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit (Gilt in Verbindung mit DIN 50931-1), 2001

DIN 50931-1: Korrosion der Metalle – Korrosionsversuche mit Trinkwässern – Teil 1: Prüfung der Veränderung der Trinkwasserbeschaffenheit, 1999

DIN 50934-1: Korrosion der Metalle – Verfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von Wasserbehandlungsanlagen zum Korrosionsschutz – Teil 1: Allgemeines, 2000

DIN 50934-2: Korrosion der Metalle – Verfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von Wasserbehandlungsanlagen zum Korrosionsschutz – Teil 2: Anlagen zur Verminderung der Abgabe von Korrosionsprodukten an das Trinkwasser, 2000

DIN 50934-3: Korrosion der Metalle – Verfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von Wasserbehandlungsanlagen zum Korrosionsschutz – Teil 3: Feldversuche zum Abbau von Korrosionsprodukten aus inkrustierten Rohrleitungen, 2000

DIN 50934-4: Korrosion der Metalle – Verfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von Wasserbehandlungsanlagen zum Korrosionsschutz – Teil 4: Technikumsversuche zum Abbau von Korrosionsprodukten aus inkrustierten Rohrleitungen, 2000

DIN EN 12565: Wasserversorgung – Anleitung für die statische Berechnung von Faserzement-Rohrleitungen, Normentwurf, 1996

DIN EN 13577: Chemischer Angriff an Beton – Bestimmung des Gehalts an angreifendem Kohlendioxid in Wasser; Deutsche Fassung EN 13577, 2007

ISO 4316: Surface active agents – Determination of pH of aqueous solutions – potentiometric method, 1977

ÖNORM B 1992-1-1: Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1992-1-1, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen, 2007

ÖNORM B 2503: Kanalanlagen – Ergänzende Richtlinien für die Planung, Ausführung und Prüfung, 2009

ÖNORM B 3131: Gesteinskörnungen für Beton – Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 12620, 2006

ÖNORM B 3309: Aufbereitete hydraulisch wirksame Zusatzstoffe für die Betonherstellung (AHWZ), 2004

ÖNORM B 3327-1: Zemente gemäß ÖNORM EN 197-1 für besondere Verwendungen – Teil 1: Zusätzliche Anforderungen, 2005

ÖNORM B 3327-2: Zemente gemäß ÖNORM EN 197-1 für besondere Verwendungen – Teil 2: Erhöht sulfatbeständige Zemente, 2001

ÖNORM B 4700: Stahlbetontragwerke – EUROCODE-nahe Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung, 2001

ÖNORM B 4710-1: Beton – Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1 für Normal- und Schwerbeton), 2007

ÖNORM B 5013-1: Oberflächenschutz m. organischen Schutzmaterialien im Siedlungswasserbau; Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit u. Schutz v. unlegierten u. niedriglegierten Eisenwerkstoffen, 1990

ÖNORM B 5013-2: Oberflächenschutz mit organischen Schutzmaterialien im Siedlungswasserbau; Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit und Schutz von zementgebundenen Werkstoffen, 1990

ÖNORM B 5013-3: Oberflächenschutz mit organischen Schutzmaterialien im Siedlungswasserbau – Prüfung der Schutzmaterialien und Anforderungen, 1994

ÖNORM B 5013-4: Oberflächenschutz mit organischen Schutzmaterialien im Siedlungswasserbau – Prüfung des aufgetragenen Oberflächenschutzes und Anforderungen, 1997

ÖNORM B 5072: Einsteig- und Kontrollschächte aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton - Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN 1917, 2005

ÖNORM B 5074: Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN 1916 - Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton, 2005

ÖNORM B 5159: Kunststoff-Rohrsysteme aus Polyethylen mit erhöhter Temperaturbeständigkeit (PE-RT) für Heiß- und Kaltwasserinstallationen – Abmessungen, Anforderungen, Prüfungen, Nachweis der Normkonformität, 2007

ÖNORM B 5161: Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung sowie für Abwasserleitungen und -kanäle mit oder ohne Druck – Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke aus glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK) auf der Basis von ungesättigtem Polyesterharz (UP) – Ergänzende Anforderungen zu den ÖNORMEN EN 1796 und EN 14364 sowie Verfahren für den Nachweis der Normkonformität, 2007

ÖNORM B 5163: Rohrleitungssysteme für drucklose Abwasserleitungen und -kanäle - Nichtkreisrunde Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke aus glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK) auf der Basis von ungesättigten Polyesterharzen (UP) - Abmessungen, Anforderungen, Prüfungen und Verfahren für den Nachweis der Normkonformität, 2008

ÖNORM B 5174: Rohre aus Polypropylen für Sonderanwendungen – Abmessungen, Anforderungen, Prüfungen, Nachweis der Normkonformität, 2007

ÖNORM EN 196-2: Prüfverfahren für Zement – Teil 2: Chemische Analyse von Zement, 2005

ÖNORM EN 197-1/A2: Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement; Änderung A2 (Zement mit hohem Sulfatwiderstand) (Änderung), Normentwurf, 2006

ÖNORM EN 259-1: Wandbekleidungen in Rollen – Hoch beanspruchbare Wandbekleidungen – Teil 1: Anforderungen, 2001

ÖNORM EN 295-1: Steinzeugrohre und Formstücke sowie Rohrverbindungen für Abwasserleitungen und -kanäle – Teil 1: Anforderungen (konsolidierte Fassung), 2008

ÖNORM EN 492: Faserzement-Dachplatten und dazugehörige Formteile – Produktspezifikation und Prüfverfahren (konsolidierte Fassung), 2006

ÖNORM EN 494: Faserzement-Wellplatten und dazugehörige Formteile – Produktspezifikation und Prüfverfahren (konsolidierte Fassung), 2008

ÖNORM EN 512: Faserzementprodukte – Druckrohre und Verbindungen, 1995

ÖNORM EN 545: Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Wasserleitungen – Anforderungen und Prüfverfahren, 2007

ÖNORM EN 588-1: Faserzementrohre für Abwasserleitungen und Abwasserkanäle – Teil 1: Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke für Freispiegelleitungen, 1996

ÖNORM EN 588-2: Faserzementrohre für Abwasserleitungen und Abwasserkanäle – Teil 2: Einsteig- und Kontrollschächte, 2002

ÖNORM EN 598: Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für die Abwasser-Entsorgung – Anforderungen und Prüfverfahren, 2008

ÖNORM EN 681-1: Elastomer-Dichtungen – Werkstoff-Anforderungen für Rohrleitungs-Dichtungen für Anwendungen in der Wasserversorgung und Entwässerung – Teil 1: Vulkanisierter Gummi, 2007

ÖNORM EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, 2008

ÖNORM EN 877: Rohre und Formstücke auf Gusseisen, deren Verbindungen und Zubehör zur Entwässerung von Gebäuden – Anforderungen, Prüfverfahren und Qualitätssicherung (konsolidierte Fassung), 2008

ÖNORM EN 881: Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Aluminiumchlorid (monomer), Aluminiumhydroxidchlorid (monomer) und Aluminiumhydroxidchloridsulfat (monomer), 2005

ÖNORM EN 882: Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Natriumaluminat, 2005

ÖNORM EN 888: Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Eisen(III)chlorid, 2005

ÖNORM EN 890: Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Eisen(III)sulfat, flüssig, 2005

ÖNORM EN 899: Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Schwefelsäure, 2003

ÖNORM EN 900: Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Calciumhypochlorit, 2008

ÖNORM EN 901: Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Natriumhypochlorit, 2007

ÖNORM EN 934-2: Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 2: Betonzusatzmittel – Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung (konsolidierte Fassung), 2006

ÖNORM EN 937: Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Chlor, 1999

ÖNORM EN 939: Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Salzsäure, 2000

ÖNORM EN 1008: Zugabewasser von Beton – Festlegungen für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton, 2002

ÖNORM EN 1017: Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Halbgebrannter Dolomit, 2008

ÖNORM EN 1329-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme zum Ableiten von Abwasser (niedriger und hoher Temperatur) innerhalb der Gebäudestruktur – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem, 2000

ÖNORM EN 1401-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem, 1999

ÖNORM EN 1451-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme zum Ableiten von Abwasser (niedriger und hoher Temperatur) innerhalb der Gebäudestruktur – Polypropylen (PP) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem, 2000

ÖNORM EN 1452-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) – Teil 1: Allgemeines, 2000

ÖNORM EN 1452-2: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) – Teil 2: Rohre, 2000

ÖNORM EN 1452-3: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) – Teil 3: Formstücke, 2000

ÖNORM EN 1452-4: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) – Teil 4: Armaturen und Zubehör, 2000

ÖNORM EN 1452-5: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) – Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems, 2000

ÖNORM EN 1519: Kunststoff-Rohrleitungssysteme zum Ableiten von Abwasser (niedriger und hoher Temperatur) innerhalb der Gebäudestruktur – Polyethylen (PE) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem, 2000

ÖNORM EN 1536: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bohrpfähle, 1999

ÖNORM EN 1538: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Schlitzwände, 2000

ÖNORM EN 1796: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung mit oder ohne Druck – Glasfaserverstärkte duroplastische Kunststoffe (GFK) auf der Basis von ungesättigtem Polyesterharz (UP) (konsolidierte Fassung), 2009

ÖNORM EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen, 1998

ÖNORM EN 1852-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen – Polypropylen (PP) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem 1998

ÖNORM EN 1916: Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton (konsolidierte Fassung), 2008

ÖNORM EN 1917: Einsteig- und Kontrollschächte aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton (konsolidierte Fassung), 2008

ÖNORM EN 1992-1-1: Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau (konsolidierte Fassung), 2009

ÖNORM EN 10240: Innere und/oder äußere Schutzüberzüge für Stahlrohre – Festlegungen für durch Schmelztauchverzinken in automatisierten Anlagen hergestellte Überzüge, 1998

ÖNORM EN 12068: Kathodischer Korrosionsschutz – Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Stahlrohrleitungen im Zusammenwirken mit kathodischem Korrosionsschutz – Bänder und schrumpfende Materialien, 2000

ÖNORM EN 12201: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Polyethylen (PE) – Teil 1: Allgemeines, 2008

ÖNORM EN 12201: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Polyethylen (PE) – Teil 2: Rohre, 2003

ÖNORM EN 12201: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Polyethylen (PE) – Teil 3: Formstücke, 2003

ÖNORM EN 12201: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Polyethylen (PE) – Teil 4: Armaturen, 2002

ÖNORM EN 12201: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Polyethylen (PE) – Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems, 2003

ÖNORM EN 12467: Faserzement-Tafeln – Produktspezifikation und Prüfverfahren (konsolidierte Fassung), 2006

ÖNORM EN 12501-1: Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Korrosionswahrscheinlichkeit in Böden – Teil 1: Allgemeines, 2003

ÖNORM EN 12501-2: Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Korrosionswahrscheinlichkeit in Böden – Teil 2: Niedrig- und unlegierte Eisenwerkstoffe, 2003

ÖNORM EN 12502-1: Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen – Teil 1: Allgemeines, 2005

ÖNORM EN 12502-2: Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen – Teil 2: Einflussfaktoren für Kupfer und Kupferlegierungen, 2005

ÖNORM EN 12502-3: Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen – Teil 3: Einflussfaktoren für schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe, 2005

ÖNORM EN 12502-4: Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen – Teil 4: Einflussfaktoren für nichtrostende Stähle, 2005

ÖNORM EN 12502-5: Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen – Teil 5: Einflussfaktoren für Gusseisen, unlegierte und niedriglegierte Stähle, 2005

ÖNORM EN 12620: Gesteinskörnungen für Beton, 2008

ÖNORM EN 12666-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen – Polyethylen (PE) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem, 2006

ÖNORM EN 12954: Kathodischer Korrosionsschutz von metallenen Anlagen in Böden oder Wässern – Grundlagen und Anwendung für Rohrleitungen, 2001

ÖNORM EN 12763: Faserzementrohre und -formstücke für Hausentwässerungssysteme – Maße und technische Lieferbedingungen, 2001

ÖNORM EN 13244-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erd- und oberirdisch verlegte Druckrohrleitungen für Brauchwasser, Entwässerung und Abwasser – Polyethylen (PE) – Teil 1: Allgemeines, 2008

ÖNORM EN 13244-2: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erd- und oberirdisch verlegte Druckrohrleitungen für Brauchwasser, Entwässerung und Abwasser – Polyethylen (PE) – Teil 2: Rohre, 2003

ÖNORM EN 13244-3: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erd- und oberirdisch verlegte Druckrohrleitungen für Brauchwasser, Entwässerung und Abwasser – Polyethylen (PE) – Teil 3: Formstücke, 2003

ÖNORM EN 13244-4: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erd- und oberirdisch verlegte Druckrohrleitungen für Brauchwasser, Entwässerung und Abwasser – Polyethylen (PE) – Teil 4: Armaturen, 2003

ÖNORM EN 13244-5: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erd- und oberirdisch verlegte Druckrohrleitungen für Brauchwasser, Entwässerung und Abwasser – Polyethylen (PE) – Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems, 2003

ÖNORM EN 13263-1: Silikastaub für Beton – Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien, 2005

ÖNORM EN 13263-2: Silikastaub für Beton – Teil 2: Konformitätsbewertung, 2005

ÖNORM EN 13476-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Leistungsmerkmale, 2008

ÖNORM EN 13476-2: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) – Teil 2: Anforderungen an Rohre und Formstücke mit glatter Innen- und Außenfläche und an das Rohrleitungssystem, Typ A, 2008

ÖNORM EN 13476-3: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) – Teil 3: Anforderungen an Rohre und Formstücke mit glatter Innen- und profilierter Außenfläche und an das Rohrleitungssystem, Typ B, 2010

ÖNORM EN 13509: Messverfahren für den kathodischen Korrosionsschutz, 2003

ÖNORM EN 13636: Kathodischer Korrosionsschutz von unterirdischen metallenen Tankanlagen und zugehörigen Rohrleitungen, 2004

ÖNORM EN 14505: Kathodischer Korrosionsschutz komplexer Anlagen, 2005

ÖNORM EN 14758-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen – Polypropylen mit mineralischen Additiven (PP-MD) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem, 2006

ÖNORM EN 14879-1: Beschichtungen und Auskleidungen aus organischen Werkstoffen zum Schutz von industriellen Anlagen gegen Korrosion durch aggressive Medien – Teil 1: Terminologie, Konstruktion und Vorbereitung des Untergrundes, 2005

ÖNORM EN ISO 7980: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Calcium und Magnesium – Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie, 2000

ÖNORM EN ISO 8044: Korrosion von Metallen und Legierungen – Grundbegriffe und Definitionen (ISO 8044:1999), 1999

ÖNORM EN ISO 15874-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Polypropylen (PP) – Teil 1: Allgemeines (ISO 15874-1:2003 + Amd 1:2007) (konsolidierte Fassung), 2008

ÖNORM EN ISO 15874-2: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Polypropylen (PP) – Teil 2: Rohre (ISO 15874-2:2003 + Amd 1:2007) (konsolidierte Fassung), 2008

ÖNORM EN ISO 15874-3: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Polypropylen (PP) – Teil 3: Formstücke (ISO 15874-3:2003), 2004

ÖNORM EN ISO 15874-5: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Polypropylen (PP) – Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems (ISO 15874-5:2003), 2004

ÖNORM EN ISO 15875-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Vernetztes Polyethylen (PE-X) – Teil 1: Allgemeines (ISO 15875-1:2003 + Amd 1:2007) (konsolidierte Fassung), 2008

ÖNORM EN ISO 15875-2: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Vernetztes Polyethylen (PE-X) – Teil 2: Rohre (ISO 15875-2:2003 + Amd 1:2007) (konsolidierte Fassung), 2008

ÖNORM EN ISO 15875-3: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Vernetztes Polyethylen (PE-X) – Teil 3: Formstücke (ISO 15875-3:2003), 2004

ÖNORM EN ISO 15875-5: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Vernetztes Polyethylen (PE-X) – Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems (ISO 15875-5:2003), 2004

ÖNORM EN ISO 15876-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Polybuten (PB) – Teil 1: Allgemeines (ISO 15876-1:2003 + Amd 1:2007) (konsolidierte Fassung), 2008

ÖNORM EN ISO 15876-2: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Polybuten (PB) – Teil 2: Rohre (ISO 15876-2:2003 + Amd 1:2007) (konsolidierte Fassung), 2008

ÖNORM EN ISO 15876-3: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Polybuten (PB) – Teil 3: Formstücke (ISO 15876-3:2003), 2004

ÖNORM EN ISO 15876-5: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Polybuten (PB) – Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems (ISO 15876-5:2003), 2004

ÖNORM EN ISO 15877-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Chloriertes Polyvinylchlorid (PVC-C) – Teil 1: Allgemeines (ISO 15877-1:2009), 2010

ÖNORM EN ISO 15877-2: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Chloriertes Polyvinylchlorid (PVC-C) – Teil 2: Rohre (ISO 15877-2:2003), 2004

ÖNORM EN ISO 15877-3: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Chloriertes Polyvinylchlorid (PVC-C) – Teil 3: Formstücke (ISO 15877-3:2003), 2004

ÖNORM EN ISO 15877-5: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation – Chloriertes Polyvinylchlorid (PVC-C) – Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems (ISO 15877-5:2003), 2004

ÖNORM EN ISO 21003-1: Mehrschichtverbund-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation innerhalb von Gebäuden – Allgemeines, 2008

ÖNORM EN ISO 21003-2: Mehrschichtverbund-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation innerhalb von Gebäuden – Teil 2: Rohre, 2008

ÖNORM EN ISO 21003-3: Mehrschichtverbund-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation innerhalb von Gebäuden – Teil 3: Formstücke, 2008

ÖNORM EN ISO 21003-5: Mehrschichtverbund-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation innerhalb von Gebäuden – Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems, 2008

ÖNORM ISO 7150-1: Wasseruntersuchung; Bestimmung von Ammonium; manuelle spektrophotometrische Methode, 1987

ÖNORM H 5195-1: Verhütung von Schäden durch Korrosion und Steinbildung in geschlossenen Warmwasser-Heizungsanlagen mit Betriebstemperaturen bis 100 °C, 2006

ÖNORM M 6215: Anforderungen an die Beschaffenheit des Wassers von Hallenbädern und künstlichen Freibädern, 2002

ÖNORM M 6254: Enthärtungsanlagen mit Ionenaustauscher zur Behandlung von Trinkwasser – Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN 14743, 2007

ÖNORM M 6612: Wasseruntersuchung – Calcitsättigung eines Wassers, 2001

ONR 20513: Vollwand-Kunststoff-Rohrleitungssystem mit mehrschichtigem Wandaufbau aus Polypropylen (PP-ML) für drucklose erdverlegte Abwasserleitungen und -kanäle – Anforderungen an Rohre und Formstücke und an das Rohrleitungssystem – Abmessungen, Prüfungen, Gütesicherung, 2007

ÖVE/ÖNORM EN 50162: Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen (2005)

6.3 Sonstige Literatur

Beckmann W., Schwenk W.: Handbuch des Kathodischen Korrosionsschutzes, Wiley VCH, 1999

Bielecki R., Schremmer H.: Biogene Schwefelsäure – Korrosion in teilgefüllten Abwasserkanälen, Mitteilungen des Leichtweiß-Institutes für Wasserbau der TU Braunschweig, 1987

Bock E., Sand W., Kirsten K., Rammelsberg J.: Untersuchung zur Beständigkeit von Zementmörtelauskleidungen duktiler Gussrohre gegenüber biogener Schwefelsäure-Korrosion, fgr Gußrohrtechnik 25, 1990

Gräfen H. u. A.: Die Praxis des Korrosionsschutzes, Kontakt Studium Band 64, Expert Verlag 7031

Gütevorschriften nach GRIS (Güteschutzverband Rohre im Siedlungswasserbau)

Gütevorschriften nach ÖVGW (Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach)

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Merkblatt 831: Edelstahl Rostfrei in Schwimmhallen

Kunze E.: Korrosion und Korrosionsschutz, ISBN 3-27299947, Verlag Wiley, 2001

Lohse M.: Der anoxische Druckleitungsbetrieb, Korrespondenz Abwasser, 1987

Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung), BGBl 1996/164, Anlage 3, i. d. g. F.

ÖWAV-REGELWERK

Die nachstehend angeführten Preise gelten für **gedruckte Ausgaben** der angeführten Titel und verstehen sich exkl. USt. zuzügl. Versandkosten. ÖWAV-Mitglieder erhalten im Einzelverkauf 15 % Rabatt auf den Listenpreis, im Abonnement 20 % (**gilt nur für Druckversion!**).

ÖWAV-Regelblätter und -Arbeitsbehelfe **ab Erscheinungsjahr 1999** sind auch **digital** (CD, Download) erhältlich, Preise entnehmen Sie bitte dem Webshop von Austrian Standards plus Publishing, www.as-plus.at.
(Die Preisliste ist **gültig bis 31. Dezember 2010**. Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten.)

A) Regelblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes

(Bis August 1992 als ÖWWV-Regelblätter erschienen)

Abwassertechnik und Gewässerschutz

ÖWAV-Regelblatt 1	Abwasserentsorgung im Gebirge. 3., vollständige überarbeitete Auflage. 2000. <i>(Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich)</i>
ÖWWV-Regelblatt 2	Das Fachpersonal auf Abwasserreinigungsanlagen – Merksätze für Gemeinden und Abwasserverbände. 1978. <i>(vergriffen)</i>
ÖWWV-Regelblatt 3	Hinweise für das Ableiten von Abwasser aus Schlachthanlagen und fleischverarbeitenden Betrieben in eine öffentliche Abwasseranlage. Überarb. Neuausgabe 1992. <i>Euro 18,70</i>
ÖWAV-Regelblatt 4	Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus Betrieben in eine öffentliche Kanalisationsanlage. 2., vollständige überarbeitete Auflage. 2001. <i>Euro 25,00</i>
ÖWWV-Regelblatt 5	Richtlinien für die hydraulische Berechnung von Abwasserkanälen. 1980. <i>(zurückgezogen)</i>
ÖWAV-Regelblatt 6	Fremdüberwachung von biologischen Abwasserreinigungsanlagen. Teil 1: Fremdüberwachung gemäß 1. AEV für kommunales Abwasser. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 1998. <i>Euro 16,30</i> Teil 2: Gesamtprüfung. 2000. <i>Euro 15,60</i>
ÖWAV-Regelblatt 7	Mindestausrüstung für die Eigen- und Betriebsüberwachung biologischer Abwasserreinigungsanlagen (inkl. Indirekteinleiterüberwachung). 4., vollständig überarbeitete Auflage. 2003. <i>Euro 20,60</i>
ÖWAV-Regelblatt 8	Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus oberflächenbehandelnden Betrieben in eine öffentliche Abwasseranlage oder einen Vorfluter. Neuauflage 1993. <i>Euro 22,20</i>
ÖWAV-Regelblatt 9	Richtlinien für die Anwendung der Entwässerungsverfahren. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2008. <i>Euro 18,00</i>
ÖWWV-Regelblatt 10 ^{*)}	Richtlinien für die Ausführung von Abwassermeßschächten. 1981. <i>(vergriffen)</i>
ÖWAV-Regelblatt 11	Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2009. <i>Euro 30,10</i>
ÖWWV-Regelblatt 12	Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus milchbe- und -verarbeitenden Betrieben in eine Abwasseranlage. 1982. <i>(vergriffen)</i>
ÖWAV-Regelblatt 13 ^{*)}	Betriebsprotokolle für Abwasserreinigungsanlagen. 2., vollständig überarbeitete Auflage 1995. <i>Euro 32,40</i> Beiblatt zum ÖWAV-Regelblatt 13. 1998. <i>Euro 4,10</i>
ÖWAV-Regelblatt 14	Sicherheit auf Abwasserreinigungsanlagen (Kläranlagen) – Errichtung – Anforderungen an Bau und Ausrüstung. 3., vollständig überarbeitete Auflage. 2010. <i>Euro 15,60</i>
ÖWAV-Regelblatt 15	Der Klärfacharbeiter – Berufsbild, Ausbildungsplan und Prüfungsordnung. 2., vollst. überarb. Auflage. 1997. <i>Euro 20,60</i>
ÖWAV-Regelblatt 16	Einleitung von Abwasser aus der Betankung, Reparatur und Reinigung von Fahrzeugen in öffentliche Abwasseranlagen oder in Gewässer. 4., vollständig überarbeitete Auflage. 2010. <i>Euro 20,60</i>

^{*)} vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft zur Anwendung empfohlen.

^{**)} vom Bundesministerium für Bauten und Technik zur Anwendung empfohlen.

ÖWAV-Regelblatt 17	Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2004. <i>(Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich)</i>	
ÖWAV-Regelblatt 18	Sicherheit auf Abwasserreinigungsanlagen (Kläranlagen) – Ausrüstung und Betrieb. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2000. <i>(Printversion vergriffen, nur mehr digital erhältlich)</i>	
ÖWAV-Regelblatt 19	Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2007.	<i>Euro 20,60</i>
ÖWWV-Regelblatt 20	Musterbetriebsordnung für Abwasserreinigungsanlagen. 1988.	<i>(zurückgezogen)</i>
ÖWAV-Regelblatt 21	Kanalkataster. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 1998. <i>(vergriffen, ersetzt durch ÖWAV-Regelblatt 40)</i>	
ÖWWV-Regelblatt 22	Kanalwartung und Kanalerhaltung. 1989.	<i>(vergriffen)</i>
ÖWWV-Regelblatt 23	Geruchsemissionen aus Abwasseranlagen. 1991.	<i>Euro 13,70</i>
ÖWAV-Regelblatt 24	EDV-Einsatz auf Abwasseranlagen. Prozessleittechnik – Prozessdatenverarbeitung. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2008.	<i>Euro 17,10</i>
ÖWAV-Regelblatt 25	Abwasserentsorgung in dünn besiedelten Gebieten. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2010.	<i>Euro 17,10</i>
ÖWAV-Regelblatt 26	Hinweise für das Einleiten von Abwässern aus Weinbau- und Kellereibetrieben in eine Abwasseranlage. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2006.	<i>Euro 20,60</i>
ÖWAV-Regelblatt 27	Möglichkeiten der Entsorgung von Senkgrubeninhalten und Schlämmen aus Kleinkläranlagen. 1992.	<i>(vergriffen)</i>
ÖWAV-Regelblatt 28	Unterirdische Kanalsanierung. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2007.	<i>Euro 20,60</i>
ÖWAV-Regelblatt 29	Entsorgung von Räumgut aus kommunalen Abwasseranlagen. 1994.	<i>Euro 19,80</i>
ÖWAV-Regelblatt 30	Sicherheitsrichtlinien für den Bau und Betrieb von Faulgasbehältern auf Abwasserreinigungsanlagen. 3., vollständig überarbeitete Auflage. 2007.	<i>Euro 20,60</i>
ÖWAV-Regelblatt 31	Deponiesickerwasser. Reaktordeponie. 2000.	<i>Euro 24,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 32	Sicherheit auf Abwasserableitungsanlagen (Kanalisationsanlagen) – Bau und Einrichtung, Ausrüstung und Betrieb. 2000.	<i>Euro 17,10</i>
ÖWAV-Regelblatt 33	Überwachung wasserrechtlich nicht bewilligungspflichtiger Indirekteinleiter. 2002.	<i>Euro 15,60</i>
ÖWAV-Regelblatt 34	Hochdruckreinigung von Kanälen. 2003.	<i>Euro 23,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 35	Behandlung von Niederschlagswässern. 2003.	<i>Euro 24,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 36	Dienstanweisung für das Betriebspersonal von Abwasserbehandlungsanlagen. Inkl. CD-ROM. 2003.	<i>Euro 23,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 38	Überprüfung stationärer Durchflussmessenrichtungen auf Abwasserreinigungsanlagen. 2007.	<i>Euro 20,60</i>
ÖWAV-Regelblatt 39	Einleitung von fetthaltigen Betriebsabwässern aus Gastronomie, Küchen und Lebensmittelverarbeitung in öffentliche Abwasseranlagen. 2008.	<i>Euro 18,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 40	Leitungsinformationssystem – Wasser und Abwasser (gemeinsam mit ÖVGW, = ÖVGW-Richtlinie W 104). 2010.	<i>Euro 31,30</i>

Wasserhaushalt und Wasservorsorge

ÖWAV-Regelblatt 201	Praktische Anleitung für die Nutzung und den Schutz von Karstwasservorkommen. 2., überarbeitete Auflage. 2007.	<i>Euro 30,10</i>
ÖWWV-Regelblatt 202 ^{*)}	Tiefengrundwässer und Trinkwasserversorgung. 1986.	<i>(vergriffen)</i>
ÖWWV-Regelblatt 203 ¹⁾	Trinkwassernotversorgung. 1989.	<i>(zurückgezogen)</i>
ÖWWV-Regelblatt 204	Richtlinien für die Wasserversorgung im alpinen Bereich. 1990.	<i>Euro 13,70</i>
ÖWWV-Regelblatt 205 ^{*)}	Nutzung und Schutz von Quellen aus nicht verkarsteten Bereichen. 1990.	<i>Euro 22,20</i>

^{*)}... vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft zur Anwendung empfohlen.

¹⁾... Erschienen als ÖVGW-Regelblatt W 74 (1989). Ersetzt durch Neuauflage 2006. Bezug: Austrian Standards plus Publishing, 1020 Wien, Heinestraße 38, Tel. 01/21300-444, sales@as-plus.at, www.as-plus.at.

ÖWAV-Regelblatt 206	Klein- und Einzeltrinkwasserversorgungsanlagen (gemeinsam mit ÖVGW). 1993.	(vergriffen)
ÖWAV-Regelblatt 207	Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2009.	Euro 23,00
ÖWAV-Regelblatt 208	Bohrungen zur Grundwassererkundung. 1993.	Euro 24,00
ÖWAV-Regelblatt 209	Entscheidungshilfen für Planung, Anlage, Bau und Betrieb von Golfplätzen aus wasserwirtschaftlicher Sicht. 1993.	(vergriffen)
ÖWAV-Regelblatt 210	Beschneigungsanlagen. 2., überarbeitete Auflage. 2007.	Euro 20,60
ÖWAV-Regelblatt 211	Nutzung artesischer und gespannter Grundwässer. 2000.	Euro 24,00
ÖWAV-Regelblatt 212	Skipisten. 1999.	Euro 27,40
ÖWAV-Regelblatt 213	Tiefbohrungen zur Wassergewinnung. 2002.	Euro 30,10
ÖWAV-Regelblatt 214	Markierungsversuche in der Hydrologie und Hydrogeologie. 2007.	Euro 27,40
ÖWAV-Regelblatt 215	Nutzung und Schutz von Thermalwasservorkommen. 2010.	Euro 30,10
ÖWAV-Regelblatt 216	Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) von Golfplätzen aus wasserwirtschaftlicher Sicht. 2009.	Euro 20,60

Wasserbau und Ökologie

ÖWWV-Regelblatt 301 ^{*)}	Leitfaden für den natur- und landschaftsbezogenen Schutzwasserbau an Fließgewässern. 2. Auflage 1985.	Euro 32,40
ÖWAV-Regelblatt 302	Expertenliste Biologie des ÖWAV. 2., überarbeitete Auflage 1999.	Euro 15,60

Qualität und Hygiene

ÖWAV-Regelblatt 401	Grundwasseruntersuchungen zur Beurteilung von altlastenverdächtigen Alt-ablagerungen. 1992.	Euro 18,00
ÖWAV-Regelblatt 402	Einfache Analysenverfahren auf Abfallbehandlungsanlagen. Teil 2: Eingangs-, Verfahrens- und Endproduktkontrolle auf Kompostierungsanlagen. 1999.	Euro 17,10
ÖWAV-Regelblatt 403 ²⁾	Nutzwasserverwendung. Mitteilung über die Verwendung von Nutzwasser in Gebäuden, ausgenommen Industrielle Anwendungen. 1998. (zurückgezogen)	
ÖWAV-Regelblatt 404	Sicherheit, Gesundheitsschutz und Arbeitshygiene für Beschäftigte in der Abfallwirtschaft. 2001.	Euro 25,90
ÖWAV-Regelblatt 405	Arbeitshygienische und arbeitsmedizinische Richtlinien für Abwasseranlagen. 2004.	Euro 23,00
ÖWAV-Regelblatt 406	Begriffe der Membrantechnologie. 2002.	Euro 24,00

Abfallwirtschaft

ÖWAV-Regelblatt 501	Ermittlung des Kapazitätsbedarfs für Kompostanlagen zur Verarbeitung getrennt erfaßter biogener Abfälle. 1996.	(vergriffen)
ÖWAV-Regelblatt 502	Entgasung von Deponiekörpern. 1997.	Euro 24,00
ÖWAV-Regelblatt 503	Allgemeine Ausführungsrichtlinien für stationäre Problemstoffsammelstellen. 1997.	Euro 20,60
ÖWAV-Regelblatt 504	Deponieeingangskontrolle. Anforderungsprofil für Leiter der Eingangskontrolle und Kontrollpersonal, Ausbildungsplan. 1997.	Euro 19,80
ÖWAV-Regelblatt 505	Einfache Analysenverfahren auf Abfallbehandlungsanlagen. Teil 1: Eingangskontrolle auf Deponien. 1997.	Euro 23,00
ÖWAV-Regelblatt 506	Das Fachpersonal für Problemstoffsammelstellen. Anforderungsprofil und Ausbildungsplan. 1997.	Euro 14,40
ÖWAV-Regelblatt 507	Fachkraft Abfallwirtschaft. Anforderungen an die Ausbildung des Betriebspersonals von Abfallbehandlungsanlagen. 1998.	Euro 12,80
ÖWAV-Regelblatt 508	Musterbetriebsprotokoll für Bioabfallkompostierungsanlagen. 1998.	Euro 25,60
ÖWAV-Regelblatt 509	Abfallminimierung. Begriffe – Evaluierung – Berechnungsbeispiele. 2000.	Euro 24,00

^{*)}.... vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft zur Anwendung empfohlen.

²⁾ ... Erschienen als ÖVGW-Mitteilung W 86 (1998). Ersetzt durch Neuauflage 2005. Bezug: Austrian Standards plus Publishing, 1020 Wien, Heinestraße 38, Tel. 01/21300-444, sales@as-plus.at, www.as-plus.at.

ÖWAV-Regelblatt 510	Problemstoff-Ausbildungslehrgänge. Ausbildung zum Befugten für die Problemstoffsammlung bzw. zum Abfallrechtlichen Geschäftsführer für kommunale Problemstoffsammlung. 1999.	<i>Euro 17,10</i>
ÖWAV-Regelblatt 511	Durchführung der Eingangskontrolle auf Deponien. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2010.	<i>Euro 24,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 512	Abfallrechtlicher Geschäftsführer gemäß § 26 AWG 2002. Anforderungen und Ausbildungsinhalte für abfallrechtliche Geschäftsführer und Erlaubniswerber. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2008.	<i>Euro 24,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 513	Betrieb von Biofiltern. 2002.	<i>Euro 23,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 514	Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft. 2003. (Gratis-download von www.oewav.at > Service > Download > Regelblätter)	
ÖWAV-Regelblatt 515	Anaerobe Abfallbehandlung. 2005.	<i>Euro 30,10</i>
ÖWAV-Regelblatt 516	Ausbildungskurs für das Betriebspersonal von Biogasanlagen. Anforderungen und Ausbildungsinhalte. 2006.	<i>Euro 22,20</i>
ÖWAV-Regelblatt 517	Anforderungen an die Ausstattung und den Betrieb von Zwischenlagern für gefährliche Abfälle bei Abfallsammlern nach § 25 AWG 2002. 2008.	<i>Euro 27,40</i>
ÖWAV-Regelblatt 518	Anforderungen an den Betrieb von Kompostierungsanlagen. 2009.	<i>Euro 24,00</i>
ÖWAV-Regelblatt 519	Energetische Wirkungsgrade von Abfallverbrennungsanlagen. 2010.	<i>Euro 20,60</i>

Recht und Wirtschaft

ÖWAV-Regelblatt 601	Ermittlung der Nachsorgekosten-Rückstellung bei Deponieanlagen. 1998.	<i>Euro 34,20</i>
	Rechenmodell auf CD-ROM (<i>auf Anfrage</i>)	

B) Arbeitsbehelfe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes

(Bis August 1992 als ÖWWV-Arbeitsbehelfe erschienen)

Abwassertechnik und Gewässerschutz

ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 1	Die Ausbildung von Klärwärtern auf Lehrkläranlagen. 1981. (<i>vergriffen</i>)	
ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 8	Kläranlagenachbarschaften in Österreich – Ein Beitrag zur Reinhaltung der Gewässer. 1991.	<i>Euro 11,20</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 9	Kennzahlen für Abwasserreinigungsanlagen. Teil 1: Ablaufqualität – Bewertung und Beurteilung. 2., vollständig überarbeitete Auflage. 2000.	<i>Euro 10,30</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf 14	Eigen- und Betriebsüberwachung von biologischen Abwasserreinigungsanlagen (> 50 EW). 3., vollständig überarbeitete Auflage. 2010.	<i>Euro 15,60</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 22	Kläranlagenzustandsbericht. 1999.	<i>Euro 18,70</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 24	Evaluierung von Arbeitsplätzen in Abwasseranlagen und deren Dokumentation. 2000.	<i>Euro 21,50</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 25	Indirekteinleiterkataster. 1999.	<i>Euro 13,70</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 27	Praktikum auf Lehrkanalanlagen (Ausbildungskanalbetrieben). 2000.	<i>Euro 12,80</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 29	Öffentlichkeitsarbeit auf Kläranlagen (inkl. Arbeitsmaterialien für Pflichtschulen). 2004.	<i>Euro 24,00</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 31	Membrantechnologie – Verfahren zur Abwasserbehandlung. 2003.	<i>Euro 27,40</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf 34	Leitfaden für die Ausschreibung der Hochdruckreinigung von Kanälen. 2005.	<i>Euro 24,00</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf 36	Praxishilfe zum Erstellen des Explosionsschutzdokuments (ExSD) für abwassertechnische Anlagen (Kanal- und Kläranlagen). 2006.	<i>Euro 24,00</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf 37	Überprüfung des Betriebszustandes von Abwasserreinigungsanlagen (> 50 EW) Teil A: Fremdüberprüfung. Teil B: Eigenüberprüfungen. 2010.	<i>Euro 15,60</i>

Wasserhaushalt und Wasservorsorge

ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 2	Grundwasser-Schongebiete. 1984.	<i>Euro 9,30</i>
ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 3	Wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte für die Projektierung von Grundwasserwärmepumpenanlagen (GWPA). 1986.	<i>(vergriffen)</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 19	Leitfaden für die Bearbeitung von Grundwassersanierungsgebieten. 1996.	<i>Euro 23,00</i>

Wasserbau und Ökologie

ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 4	Grundsätze der Gewässerinstandhaltung. 1987.	<i>Euro 7,70</i>
--------------------------	--	------------------

Qualität und Hygiene

ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 11	Empfehlungen für Bewässerungswasser. 2., überarbeitete Auflage. 2003.	<i>Euro 24,00</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 30	Informationen zum Membranbelebungsverfahren. 2002.	<i>Euro 25,90</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf 32	Anwendung von Membranverfahren in der Reinwassertechnologie. 2005.	<i>Euro 24,00</i>
ÖWAV-Arbeitsbehelf 39	Korrosion im Wasser- und Abwasserfach. 2010. (Gratisdownload von www.oewav.at > Service > Download > Arbeitsbehelfe)	

Recht und Wirtschaft

ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 5	Mustersatzungen für Hochwasserschutzverbände. 3., überarb. Auflage. 2003. (Gratisdownload von www.oewav.at > Service > Download > Arbeitsbehelfe)	
ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 6	Grundlagen und Organisation des Rechnungswesens von Abwasserverbänden. 1988.	(vergriffen)
ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 7	Grundsätze für die Versicherung von Abwasserentsorgungsanlagen. 1988.	Euro 11,20
	Ergänzungsblatt: Grundsätze für Versicherungsfragen in der Siedlungswasserwirtschaft. 1991.	Euro 3,50
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 10	Betriebs- und Betreuungsgemeinschaften in der Abwasserentsorgung. 1993.	Euro 24,00
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 12	Grundlagen und Organisation des Rechnungswesens von Wasserversorgungs- und Abfallverbänden. Ergänzungsband zum Arbeitsbehelf Nr. 6. 1993.	(vergriffen)
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 13	Mustersatzungen für Wasserversorgungs- und Reinhaltverbände. 2., überarbeitete Auflage. 2003. (Gratisdownload von www.oewav.at > Service > Download >> Arbeitsbehelfe)	
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 15	Mustersatzungen für Abfallwirtschaftsverbände. 1996.	Euro 20,60
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 16	Grundsätze der Gebührenkalkulation in der Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft. 1996.	Euro 38,40
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 18	Musterbetriebskostenrechnung am Beispiel der Abwasserentsorgung. 1996.	(vergriffen)
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 20	Anwendung des UVP-Gesetzes. 1996.	Euro 37,00
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 21	Abfallgebührenkalkulation und Abfallgebührenmodelle. Ein Arbeitsbehelf für Gemeinden. 1997.	(vergriffen)
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 23	Geschäftsbedingungen für die Indirekteinleitung in öffentliche Kanalisationsanlagen. 2., überarbeitete Auflage. 2002.	Euro 25,90
ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 28	Grundlagen und Organisation des Rechnungswesens von Ver- und Entsorgungsverbänden. 2000.	Euro 30,10
ÖWAV-Arbeitsbehelf 33	Leitfaden für die Vorgangsweise bei der Auftragsvergabe in der Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft. 2004.	Euro 30,10
ÖWAV-Arbeitsbehelf 35	Aktuelle Finanzierungsmöglichkeiten für die Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft. 2005.	Euro 25,90
ÖWAV-Arbeitsbehelf 40	Grundlagen und Aufbau des Rechnungswesens in der Abwasserentsorgung. Buchführung und Jahresabschluss. 2010.	Euro 30,10

Abfallwirtschaft

ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 17	Logistik in der Abfallwirtschaft. 1996.	Euro 20,60
---------------------------	---	------------

Umweltschutz allgemein

ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 26	Anwendung EDV-gestützter Modellrechnung im Umweltschutz. 2000.	Euro 24,00
---------------------------	--	------------

Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen

1. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1992/93“. 1993.	(vergriffen)
2. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1994/95“. 1995.	(vergriffen)
3. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1996“. 1996.	(vergriffen)
4. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1997“. 1997.	Euro 54,90
5. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1998“. 1998.	Euro 51,40
6. Folge:	„Grundkurs für das Betriebspersonal von Kanalisationsanlagen“. 1998.	(vergriffen)
7. Folge:	„Kläranlagen-Nachbarschaften 1999“. 1999.	(vergriffen)

- | | |
|---|--------------|
| 8. Folge: „Kläranlagen-Nachbarschaften 2000“. 2000. | (vergriffen) |
| 9. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2001“. 2001. | Euro 55,70 |
| 10. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2002“. 2002. | (vergriffen) |
| 11. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2003“. 2003. | Euro 55,70 |
| 12. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2004“. 2004. | Euro 57,50 |
| 13. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2005“. 2005. | Euro 57,50 |
| 14. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2006“. 2006. | (vergriffen) |
| 15. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2007“. 2007. | (vergriffen) |
| 16. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2008“. 2008. | Euro 57,50 |
| 17. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2009“. 2009. | Euro 55,70 |
| 18. Folge: „Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften 2010“. 2010. | Euro 48,80 |

Merkblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes

(Bis August 1992 als ÖWWV-Merkblätter erschienen)

- | | |
|----------------|--|
| ÖWAV-Merkblatt | ÖPUL – Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung. Merkblatt für Landwirte und Kläranlagenbetreiber. 2000.
Euro 0,70 |
| ÖWAV-Merkblatt | Hygiene-Merkblatt für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen. 2004. (Gratisdownload von www.oewav.at > Service > Download > Merkblätter) |
| ÖWAV-Merkblatt | Mindestanforderung für die Sicherheitsausrüstung im Kanalbetrieb. 2005. (Gratisdownload von www.oewav.at > Service > Download > Merkblätter) |
| ÖWAV-Merkblatt | Zivil- und strafrechtliche Haftung und Verantwortung in Wasser-, Abwasser- und Abfallverbänden. 2006. (Gratisdownload von www.oewav.at > Service > Download > Merkblätter) |
| ÖWAV-Merkblatt | Private Hallen- und Freischwimmbäder – Ableitung von Spül-, Reinigungs- und Beckenwasser. 2008. (Gratisdownload von www.oewav.at > Service > Download > Merkblätter) |
| ÖWAV-Merkblatt | Personalbedarf für den Betrieb kommunaler biologischer Kläranlagen. 2008. (Gratisdownload von www.oewav.at > Service > Download > Merkblätter) |

Arbeitsbehelfe, Regelblätter sowie Publikationen der Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen sind zu beziehen über: Austrian Standards plus Publishing, 1020 Wien, Heinestraße 38, Tel. 01/21300-444, Fax DW 818, sales@as-plus.at, www.as-plus.at.

ÖWAV-Umweltmerkblätter

(zuvor als ÖWAV-WIFI-Umweltmerkblätter erschienen)

- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Autobus-, Taxi- und Mietwagenunternehmen. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Autoverwertungsbetriebe. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Betreiber von Campingplätzen. 2005.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Frächter. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Gastronomie- und Beherbergungsbetriebe. 2009.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Holz bearbeitende Betriebe. 2005.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Kfz-Freiwaschplätze und Waschanlagen. 2004.
- ÖWAV-Umweltmerkblatt für Kfz-Werkstätten. 2004.

ÖWAV-Umweltmerkblatt für kleine Molkereien und Käseereien. 2004.
ÖWAV-Umweltmerkblatt für kleine Schlachtbetriebe und Fleischer. 2005.
ÖWAV-Umweltmerkblatt für die Lagerung von Chemikalien in Betrieben. 2004.
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Lkw-Waschplätze. 2004.
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Malerbetriebe. 2008
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Sägewerke. 2005.
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Tankstellen. 2004.
ÖWAV-Umweltmerkblatt für Weinbau und Weinkellereien. 2004.
ÖWAV-Umweltmerkblatt Wasserwirtschaft und Gewässerschutz auf Baustellen. 2008.

ÖWAV-Umweltmerkblätter können kostenlos von der Website des ÖWAV (www.oewav.at > Service > Download > Merkblätter) heruntergeladen werden.



Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

Gegründet 1909

A-1010 Wien, Marc-Aurel-Straße 5

Telefon: 01/535 57 20, Telefax: 01/535 40 64, e-Mail: buero@oewav.at

Zusammenschluss aller an der Wasser- und Abfallwirtschaft interessierten Kreise aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft.

Veranstaltungen

Österreichische Wasserwirtschaftstagung
Österreichische Abfallwirtschaftstagung
Österreichische Umweltrechtstage
Verbandstag der österreichischen Wasser- und Abfallverbände
Tagung Hochwasserschutz
Gemeinsame Veranstaltungen mit in- und ausländischen Fachorganisationen
Seminare und Fortbildungskurse zu aktuellen Themen der Wasser- und Abfallwirtschaft
Erfahrungsaustausch für Betreiber von Abwasser- und Abfallbehandlungsanlagen
Kurse für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen, Praktikum auf Lehrklär- und Lehrkanalanlagen, Kanal- und Kläranlagennachbarschaften
Kurse für das Betriebspersonal von Abfallbehandlungsanlagen
Exkursionen im In- und Ausland
Vorträge

Fachausschüsse und Arbeitsgruppen

Ausarbeitung von Regelblättern, Arbeitsbehelfen, Merkblättern, Gutachten und Studien für bestimmte Fachgebiete der Wasser- und Abfallwirtschaft

Beratung und Information

Auskünfte und individuelle Beratung
Wasser- und abfallwirtschaftliche Informationsschriften und Beiträge, Dokumentationsstelle „Wasser – Abfall“, Öffentlichkeitsarbeit

Veröffentlichungen

Fachzeitschrift „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft“ (ÖWAW) ¹⁾
Tätigkeitsbericht des ÖWAV
Wasser- und Abfallrechtliche Judikatur in Leitsatzform *)
Schriftenreihe des ÖWAV *)
Regelblätter *), Arbeitsbehelfe *) und Merkblätter des ÖWAV
ÖWAV-WIFI-Umweltmerkblätter für Gewerbebetriebe
Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen *)
KA-Betriebsinfo ¹⁾
Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer ¹⁾
Schriftenreihe „Die Talsperren Österreichs“ ¹⁾
Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft der TU Graz ¹⁾
Veröffentlichungsreihe Konstruktiver Wasserbau/Landschaftswasserbau der TU Wien ¹⁾

Verbindungsstelle (Nationalkomitee) der

- European Water Association – EWA
(vormals European Water Pollution Control Association – EWPCA)

Mitglied der österreichischen Vertretung zur

- European Union of National Associations of Water Suppliers and Waste Water Services – EUREAU (gem. mit ÖVGW)
- International Water Association – IWA (vormals International Water Services Association – IWSA und International Association on Water Quality – IAWQ, gem. mit ÖVGW)
- International Commission on Large Dams – ICOLD
- International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)
- International Solid Waste Association (ISWA)

*) im Kommissionsverlag bei ON Österreichisches Normungsinstitut, Wien

¹⁾ Mitherausgeber