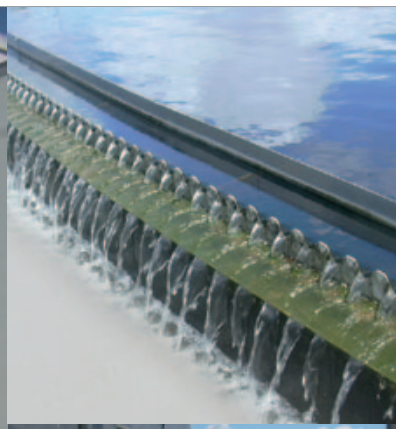
euro inox
The European
Stainless Steel
Development Association

Einsatz nichtrostender Stähle in Abwasseranlagen



Reihe Werkstoff und Anwendungen, Band 13

Euro Inox

Euro Inox ist die europäische Marktförderungsorganisation für nichtrostende Stähle (auch als Edelstahl Rostfrei oder Inox-Stähle bezeichnet).
Die Mitglieder von Euro Inox umfassen

- europäische Produzenten nichtrostender Stähle,
- nationale Marktförderungsorganisationen für nichtrostende Stähle sowie
- Marktförderungsorganisationen der Legierungsmittelindustrie.

Ziel von Euro Inox ist es, bestehende Anwendungen für nichtrostende Stähle zu fördern und neue Anwendungen anzuregen. Planern und Anwendern sollen praxisnahe Informationen über die Eigenschaften der nichtrostenden Stähle und ihre sachgerechte Verarbeitung zugänglich gemacht werden. Zu diesem Zweck

- gibt Euro Inox Publikationen in gedruckter und elektronischer Form heraus,
- veranstaltet Tagungen und Seminare und
- initiiert oder unterstützt Vorhaben in den Bereichen anwendungstechnische Forschung sowie Marktforschung.

ISBN 978-2-87997-043-1
978-2-87997-040-0 Englische Fassung

Vollmitglieder:

Acerinox
www.acerinox.es

ArcelorMittal Stainless Belgium
ArcelorMittal Stainless France
www.arcelormittal.com

Outokumpu
www.outokumpu.com

ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni
www.acciaiterni.it

ThyssenKrupp Nirosta
www.nirosta.de

Assoziierte Mitglieder

Acroni
www.acroni.si

British Stainless Steel Association (BSSA)
www.bssa.org.uk

Cedinox
www.cedinox.es

Centro Inox
www.centroinox.it

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
www.edelstahl-rostfrei.de

International Chromium Development Association (ICDA)
www.icdachromium.com

International Molybdenum Association (IMOA)
www.imoa.info

Nickel Institute
www.nickelinstitute.org

Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)
www.turkpasder.com

Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)
www.puds.pl

SWISS INOX
www.swissinox.ch

Einsatz nichtrostender Stähle in Abwasseranlagen
Erste Auflage 2010
(Reihe Werkstoff und Anwendungen, Band 13)
© Euro Inox 2011

Herausgeber
Euro Inox
Diamant Building, Bd. Aug. Reyers 80
1030 Brüssel, Belgien
Tel.: +32 2 706 82 65
Fax: +32 2 706 82 69
E-Mail: info@euro-inox.org
Internet. www.euro-inox.org

Autor
Ulrich Heubner, Werdohl (D)

Euro Inox dankt dem Nickel Institute für seine inhaltlichen Beiträge sowie für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Titelfotos
CDA La Rochelle (F)

Inhalt

Einleitung 2
1. Definition der nichtrostenden Stähle, allgemeine Übersicht und Normung 3
2. Anforderungen an nichtrostende Stähle in Abwasseranlagen 6
3. Korrosionsbeständigkeit gegenüber Wässern 7
3.1 Allgemeines 7
3.2 Einfluss der Legierungszusammensetzung 8
3.3 Einfluss der Wasserzusammensetzung 9
3.3.1 Chloridionen 9
3.3.2 Andere gelöste oder zugesetzte Wasserinhaltsstoffe 11
3.4 Bauseitige Einflussgrößen 12
3.4.1 Konstruktive Vorgaben 12
3.4.2 Fertigungsseitige Einflussgrößen 14
3.5 Betriebliche Einflussgrößen 16
4. Korrosionsbeständigkeit an der Atmosphäre 18
5. Korrosionsbeständigkeit in Erdböden 19
6. Mechanische Eigenschaften 20
7. Anwendungen nichtrostender Stähle in Abwasseranlagen 23
8. Wirtschaftliche Aspekte 24
8.1 Lebensdauerbezogene Kostenrechnung 24
8.2 Weitere Aspekte für Kosteneinsparungen 25
Literatur 26

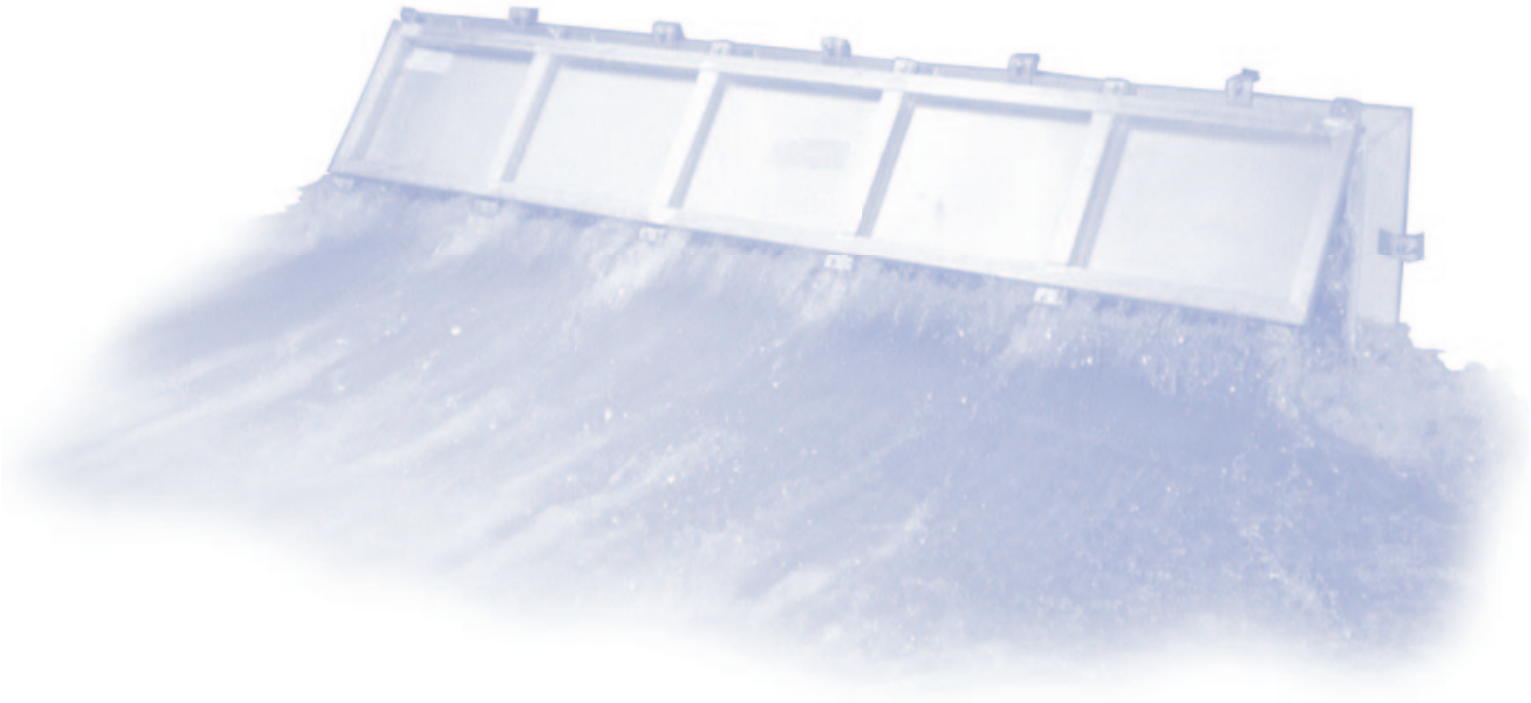
Urheberrechtlicher Hinweis
Vervielfältigungen jedweder Art sind, auch auszugsweise, sind nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Haftungsausschluss
Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen vermitteln Orientierungshilfen. Gewährleistungs- und Schadenersatzansprüche gegenüber Euro Inox, dessen Mitgliedern, Mitarbeitern und Beratern sowie anderen Projektbeteiligten können hieraus nicht abgeleitet werden.

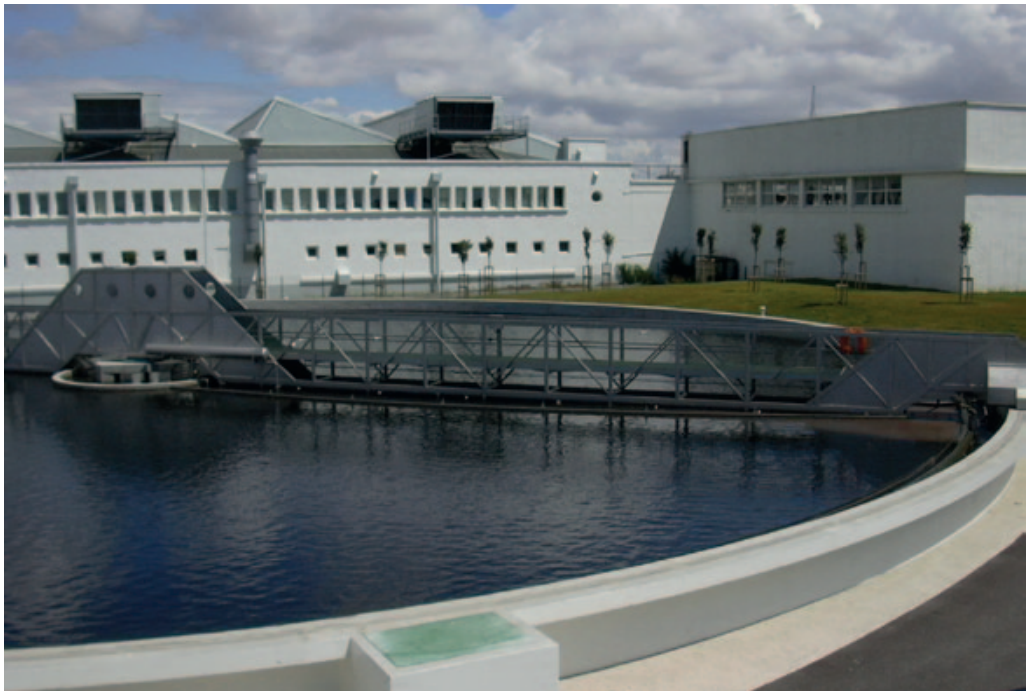
Einleitung

Sachgerechte Werkstoffauswahl und Verarbeitung vorausgesetzt, sind nichtrostende Stähle wartungsarme und langlebige Konstruktionswerkstoffe für Abwasseranlagen. Darüber hinaus sind sie vollständig recyclingfähig. Während die ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit seit vielen Jahren bekannt ist, rücken die Festigkeitseigenschaften erst in jüngster Zeit verstärkt ins Blickfeld. Die Ausführung in nichtrostendem Stahl ermöglicht dünnwandige, d.h. material- und kostensparende Konstruktionen. Die Kaltverfestigung, die zusätzlich bei austenitischen nichtrostenden Stählen erzielbar ist, erlaubt weitere Dickenreduktionen. Austenitische nichtrostende Stähle lassen sich gut verarbeiten, da sie äußerst duktil sind und sich deshalb leicht umformen lassen – auch unter Baustellenbedingungen. Wird darüber hinaus eine lebensdauerbezogene Kostenrechnung der Anlagenbestandteile vorgenommen, gewinnen nichtrostende Stähle weiter an Attraktivität.

Für Rohrleitungen und Unterwasseranwendungen wird üblicherweise der Werkstoff EN 1.4404 (AISI 316L) eingesetzt, während oberhalb der Wasserlinie die Sorte EN 1.4307 (AISI 304L) hinsichtlich Korrosionsbeständigkeit und Wirtschaftlichkeit zumeist der Werkstoff der Wahl ist. Austenitisch-ferritischer (Duplex-)Stahl bietet im lösungsgeglühten Zustand eine Kombination von hoher Korrosionsbeständigkeit und hoher Festigkeit. Diese Stahlgruppe bietet sich folglich sowohl für Anwendungen oberhalb wie unterhalb der Wasserlinie an, insbesondere wenn es sich um schwere bewegliche Komponenten handelt, bei denen gewichtsparende Bauweise vorteilhaft ist, z.B. bei Rundräumern.



1 Definition der nichtrostenden Stähle, allgemeine Übersicht und Normung



Blick über das Belüftungsbecken eines Klärwerks
Foto: CDA La Rochelle (F)

Aus der großen Vielzahl der nichtrostenden Stähle sind in Tabelle 1 jene Sorten ausgewählt, die üblicherweise in Abwasseranlagen zum Einsatz kommen. Die Gruppen 1 und 2 umfassen die austenitischen Sorten EN 1.4301 (AISI 304) und EN 1.4401 (AISI 316), die rund 18 % Chrom (Cr) und 10 % Nickel (Ni) sowie im Falle von EN 1.4401 zusätzlich 2 bis 2,5 % Molybdän (Mo) enthalten. Die Korrosionsbeständigkeit des nichtrostenden Stahles geht auf diese Legierungselemente zurück. Die o.g. Stähle enthalten darüber hinaus geringe Mengen von Kohlenstoff. Sofern dieser nicht durch stabilisierende Legierungszusätze wie Titan gebunden wird, kann er bei dickeren Abmessungen zu interkristalliner Korrosion im Schweißnahtbereich führen. Aus diesem Grunde sind die traditionellen Sorten EN 1.4541 (AISI 321) und EN 1.4571 (AISI 316Ti) durch Hinzulegieren von Titan „stabilisiert". Jedoch erlauben die heutigen Verfahren der Stahlerzeugung, den Kohlenstoffgehalt so niedrig einzustellen, dass sich eine Stabilisierung erübrigt. Solche niedrigkohlenstoffhaltige Sorten sind die Stähle EN 1.4306, 1.4307 und 1.4404. Allerdings sind auch die traditionellen Sorten EN 1.4301 und 1.4571 noch verbreitet in Anwendung. Obgleich die aktuellen europäischen Normen [1] noch weitere Sorten beinhalten, dürften vereinfachte Lagerhaltung und zunehmende Globalisierung dazu führen, dass in Zukunft bevorzugt – wenn nicht gar ausschließlich – die Sorten EN 1.4307 und 1.4404 zum Einsatz kommen, die im Übrigen auch den international gängigen Sorten AISI 304L und 316L entsprechen. Sie lassen sich leicht verarbeiten und uneingeschränkt schweißen.

Ergänzend zu den Sorten gemäß Tabelle 1 gibt es gemäß Tabelle 2 eine Vielzahl höher legierter Stähle für besonders korrosionsbeanspruchte Bereiche, die ebenfalls in [1] enthalten sind. Besonders sei auf die Sorte EN 1.4462 hingewiesen. Dieser zweiphasige, mit 22 % Chrom legierte austenitisch-ferritische (Duplex-)Werkstoff ist sowohl wegen seiner erhöhten Korrosionsbeständigkeit als auch wegen seiner hohen 0,2 %-Dehngrenze beachtenswert.

Tabelle 1: Nichtrostende Stähle für Abwasseranlagen

Gruppe (Typ)	Bezeichnung gemäß EN 10088		Chemische Zusammensetzung in Gewichtsprozent				
	Name	Nr.	Cr	Ni	Mo	Cmax.	weitere
1 (304)	X5CrNi18-10	1.4301	17,5–19,5	8,0–10,5		0,07	max. 0,11 N
	X2CrNi18-9	1.4307	17,5–19,5	8,0–10,5		0,03	
	X2CrNi19-11	1.4306	18,0–20,0	10,0–12,0		0,03	
	X6CrNiTi18-10	1.4541	17,0–19,0	9,0–12,0		0,08	Ti: 5xC–0,70
2 (316)	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	16,5–18,5	10,0–13,0	2,0–2,5	0,07	max. 0,11 N
	X2CrNiMo17-12-2	1.4404		10,0–13,0		0,03	
	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571		10,5–13,5		0,08	Ti: 5xC–0,70

Tabelle 2: Nichtrostende Stähle für Abwasseranlagen mit erhöhten Anforderungen

Gruppe	Bezeichnung gemäß EN 10088		Chemische Zusammensetzung in Gewichtsprozent				
	Name	Nr.	Cr	Ni	Mo	Cmax.	weitere
3	X2CrNiMo18-14-3	1.4435	17,0–19,0	12,5–15,0	2,5–3,0	0,03	max. 0,11 N
4	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	21,0–23,0	4,5–6,5	2,5–3,5	0,03	0,10–0,22 N
	X2CrNiMo17-13-5	1.4439	16,5–18,5	12,5–14,5	4,0–5,0	0,03	0,12–0,22 N
5	X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	19,5–20,5	17,5–18,5	6,0–7,0	0,02	0,18–0,25 N 0,5–1,0 Cu
	X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	19,0–21,0	24,0–26,0	6,0–7,0	0,02	0,15–0,25 N 0,5–1,5 Cu

Rohrleitungen und Geländeranlagen aus nichtrostendem Stahl in einer Abwasserbehandlungsanlage
Foto: Cedinox, Madrid (E)

Während die Tabellen 1 und 2 die chemische Zusammensetzung gemäß EN 10088 Teil 1 [1] angeben, beschreibt Teil 2 dieser Norm die technischen Lieferbedingungen für Blech und Band, Teil 3 für Halbzeuge, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse. Diese Normen umfassen auch die Auslieferungszustände und Oberflächen. Darüber hinaus sind noch die Europäischen Normen EN 10312 für geschweißte Rohre aus nichtrostendem Stahl für den Transport wässriger Flüssigkeiten einschließlich Trinkwasser [2] sowie EN 10217-7 „Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 7: Rohre aus nichtrostendem Stahl“ [3] zu beachten. Darüber hinaus bestehen noch zahlreiche nationale Regelwerke.

2 Anforderungen an nichtrostende Stähle in Abwasseranlagen

In der Abwasserreinigung ist die Beständigkeit gegen die Wässer selbst und die zu ihrer Behandlung eingesetzten Mittel die primäre Anforderung, welche von den für die Handhabung von Abwässern verwendeten nichtrostenden Stählen erfüllt werden muss. Die im hereinkommenden Abwasser gelösten Substanzen, vor allem Chloride, stehen hierbei im Vordergrund, gefolgt von den Stoffen, die dem Abwasser während seiner Behandlung zugesetzt werden, um Oxidation und Flockung zu bewirken. Chlor, das zur Desinfektion eingesetzt werden kann, wirkt stark oxidierend. Auch die Beständigkeit gegen atmosphärische Korrosion ist zu beachten, einschließlich der Beständigkeit gegenüber den gasförmigen Substanzen, welche während der Abwasserbehandlung entstehen können. Ferner spielt die Verträglichkeit mit anderen Werkstoffen innerhalb desselben Anlagenteils eine Rolle, bei unterirdischen Teilen ebenso die Beständigkeit in Erdböden. Mechanische Beanspruchungen sind häufig nicht nur statisch, sondern auch dynamisch, z.B. bei der Belüftung. Schließlich ist die Beständigkeit gegen Erosion zu beachten, die eine Folge der vom Abwasser mitgeführten Feststoffe sein kann.

Contiflow-Sandfilter und Zulaufleitungen aus nichtrostendem Stahl in einer Abwasserbehandlungsanlage
Foto:
Huber SE, Berching (D)

3 Korrosionsbeständigkeit gegenüber Wässern

3.1 Allgemeines

Korrosionsbeständigkeit – das wichtigste Auswahlkriterium bei nichtrostendem Stahl – ist nicht eine Werkstoffeigenschaft, sondern ergibt sich aus der Wechselwirkung zwischen dem Werkstoff und dem umgebenden Medium, die an der Werkstoffoberfläche vor sich geht. Aus diesem Grund müssen nicht nur die korrosiven Eigenschaften des Abwassers und die Werkstoffauswahl aufeinander abgestimmt werden, sondern auch Verarbeitung und Verbindungstechnik sind mitentscheidend, da sie Einfluss auf die Beschaffenheit der Oberflächen haben. Gleichwohl kann die Korrosionsbeständigkeit der nichtrostenden Stähle [4] gegenüber Wässern zusammenfassend folgendermaßen beschrieben werden:

- Die in Tabelle 1 aufgeführten nichtrostenden Stähle sind gegen *gleichmäßige Flächenkorrosion* in Trinkwässern und Wässern ähnlicher Zusammensetzung wie Oberflächenwasser einschließlich Meerwasser beständig und damit normalerweise auch gegen Abwässer. Abgesehen von möglichen Schmutzablagerungen bleibt die blanke metallische Oberfläche während der Nutzungsdauer erhalten. Die Beständigkeit gegen gleichmäßige Flächenkorrosion wird durch Säuren bis hinab zu einem pH-Wert von etwa 4 nicht beeinträchtigt und ist daher für nichtrostende Stähle in Kontakt mit den meisten Wässern unkritisch [5].

Vorderansicht zweier Gegenstrom-Grobrechen aus nichtrostendem Stahl
Foto: Werkstoff + Funktion Grimmel Wassertechnik GmbH, Ober-Mörlen (D)

- *Interkristalline Korrosion* lässt sich vermeiden, wenn bei Wanddicken oberhalb 6 mm oder Durchmessern von über 20 mm [6] Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt von nicht mehr als 0,03 % eingesetzt werden, z.B. EN 1.4307 bzw. 1.4404 oder titanstabilisierte Sorten wie z.B. EN 1.4541 oder 1.4571.

- *Spannungsrisskorrosion* wird bei austenitischen nichtrostenden Stählen in chloridhaltigen Wässern in der Regel erst bei Temperaturen oberhalb von 60 °C bis 70 °C beobachtet [7]. Duplexstähle wie EN 1.4462 sind gegen diese Korrosionsart noch weniger empfindlich [8]. Bei sachgerechter Verarbeitung ohne Sensibilisierung oder extreme Umformungen [7] kommt Spannungsrisskorrosion in Abwasseranlagen normalerweise nicht vor.

Im Klärwerk Lavis (I) wird nichtrostender Stahl sowohl mit blanker als auch mit lackierter Oberfläche eingesetzt. Foto: Centro Inox, Mailand (I)

- Demgegenüber gibt es zwei Korrosionsformen, die im Fall nichtrostender Stähle in Wässern besondere Aufmerksamkeit verdienen: *Lochkorrosion* und *Spaltkorrosion*. Für beide ist der Chloridgehalt des Wassers maßgebend. Dem muss durch Wahl eines geeigneten Werkstoffs sowie andere Maßnahmen Rechnung getragen werden. Zum besseren Verständnis wird auf Lochkorrosion und Spaltkorrosion nachstehend noch näher eingegangen.

- *Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion (Microbiologically Influenced Corrosion, MIC)*, die zumeist den Schweißnahtbereich betrifft, ist in Abwasseranlagen nur selten anzutreffen [9]. Die wichtigste Vorsichtsmaßnahme gegen mikrobiologisch beeinflusste Korrosion ist die sorgfältige Entfernung von Anlauffarben nach dem Schweißen [9]. Am wirksamsten ist hierfür eine Tauchbeizbehandlung; allerdings stehen auch andere Verfahren zur Verfügung [10].

3.2 Einfluss der Legierungszusammensetzung

Die Beständigkeit nichtrostender Stähle gegenüber Lochkorrosion und Spaltkorrosion ist von der chemischer Zusammensetzung abhängig und erhöht sich gemäß der sogenannten Wirksumme, die im englischen Sprachgebrauch als Pitting Resistance Equivalent Number (PRE oder PREN) bezeichnet wird. Die Wirksumme berechnet sich nach der Formel % Cr + 3,3 × % Mo + X × % N. Diese Gleichung gilt für den jeweiligen homogenen Werkstoff im Lieferzustand. Offensichtlich hat der Molybdängehalt mit dem Faktor von 3,3 einen großen Einfluss. Auch Stickstoff ist wichtig; bei Duplex-Stählen wie EN 1.4462 wird der Faktor X üblicherweise mit 16 angesetzt, für besonders hochlegierte Sorten mit 30 [7]. Stickstoff hat bei den Stählen der Gruppen 1 und 2 (Tabelle 1) nur geringen Einfluss. Dementsprechend können folgende allgemeine Empfehlungen für den Einsatz nichtrostender Stähle in chloridhaltigen Wässern gegeben werden [5]:

- Nichtrostende Stähle der Gruppe 1 in Tabelle 1 eignen sich für den Einsatz bei Trinkwässern und industriellen Wässern mit geringem Chloridgehalt. Stähle der Gruppe 2 sind eine richtige Wahl für Trinkwässer und industrielle Wässer mit mäßigem Chloridgehalt, während Stähle der Gruppe 3 für Prozess- und Kühlwässer mit vergleichsweise hohem Chloridgehalt geeignet sind. Für den Einsatz in Brackwasser und in Meerwasser müssen Stähle der Gruppen 4 und 5 verwendet werden. Abschnitt 3.3.1 enthält hierzu weitere Erläuterungen.

- Den titanstabilisierten Sorten EN 1.4541 und 1.4571 wird zuweilen eine etwas geringere Beständigkeit gegen Lochkorrosion nachgesagt als anderen Stählen innerhalb derselben Gruppe [11]. Diese Aussage wird in der Literatur unterstützt [12,13], was darauf hindeutet, dass Titan bei nichtrostendem Stahl die Wahrscheinlichkeit von Lochkorrosion erhöhen kann.

- Die sogenannten Automatenstähle mit verbesserter Zerspanbarkeit wie z.B. EN 1.4305 weisen erhöhte Schwefelgehalte auf und eignen sich nicht für den dauerhaften Kontakt mit Wasser, weil die in ihnen enthaltenen Sulfid-Einschlüsse die Beständigkeit gegenüber Lochkorrosion vermindern.

Rohrsystem aus nichtrostendem Stahlunterhalb der Sandfilter-Becken in einer Abwasserbehandlungsanlage in Stockholm (S) Foto: Outokumpu, Avesta (S)

3.3 Einfluss der Wasserzusammensetzung

3.3.1 Chloridionen

Aus Abschnitt 3.2 ergibt sich, dass bei der Auswahl nichtrostender Stähle für die Anwendung in Wässern einschließlich des Abwassers der Gehalt an Chlorid (Cl^-) das wichtigste Kriterium ist. Aufgrund der Vielzahl von Faktoren, die in die Werkstoffauswahl eingehen, ist es nicht möglich, die in [5] für den Chloridgehalt genannten Begriffe „mäßig“, „erhöht“, „verhältnismäßig hoch“ und „hoch“ aufgrund der Konzentration zu definieren. Die jeweils zulässigen Höchstwerte hängen ab von pH-Wert, Temperatur, Anwesenheit von oxidierenden Stoffen sowie vom Gehalt an anderen gelösten Substanzen wie Nitraten, Sulfaten usw. Letztere können auch als Inhibitoren wirken, wobei die günstige Wirkung dieser Anionen bei OH^- am größten ist und in der Reihenfolge NO_3^-, CH_3COO^-, SO_4^-, ClO_4^- abnimmt [14].

Die in der Literatur, z.B. [15], vorzufindenden Angaben für die zulässigen Cl^--Höchstwerte sollten nicht allzu wortwörtlich interpretiert werden. Die dort für reines Wasser genannten Werte sind für die hier interessierenden, in der Praxis vorkommenden Wasserzusammensetzungen nicht notwendigerweise gültig. Die dabei anzutreffenden weiteren Anionen lassen in Trink- und Süßwasser deutlich höhere Chloridkonzentrationen zu als in reinem Wasser. Die Grenzen für die zulässigen Temperaturen sinken in den meisten Wässern mit steigendem Chloridgehalt. Im Fall der Spaltkorrosion ist die Spaltform ebenfalls von Bedeutung. Enge Spalte sind problema-

Sachgerechte Werkstoffauswahl dient auch der Reduzierung der Anlagenkosten
Foto: H. Butting, Knesebeck (D)

tisch. Sie können zwischen Metall und Kunststoff, unter eingetragenen Sedimenten oder unter Ablagerungen von Korrosionsprodukten entstehen.

Jahrzehntelange praktische Erfahrung [14] deutet darauf hin, dass Stähle der AISI 304-Familie, also beispielsweise EN 1.4301 (Gruppe 1 in Tabelle 1), für die Handhabung von Wässern mit Chloridgehalten bis etwa 200 mg/l hinreichend korrosionsbeständig sind. Im Bereich zwischen 200 und 1000 mg/l sind sie gerade noch ausreichend; für den praktischen Einsatz sind dann andere Faktoren mitentscheidend, z.B. ob andere Anionen vorliegen (siehe oben), wie vorhandene Spalte beschaffen sind oder ob in der jeweiligen Anwendung ein gewisses Ausmaß von Spaltkorrosion toleriert werden kann [16]. In anspruchsvollen Anwendungen werden allerdings bevorzugt Stähle der Gruppe 2 in Tabelle 1 eingesetzt, wenn der Chloridgehalt 200 mg/l übersteigt oder andere ungünstige Faktoren vorliegen, z.B. niedriger Sulfatgehalt oder enge Spalte [14]. Die empfohlene Obergrenze liegt dabei bei 1000 mg/l [16]. Aussagen aus dem Jahr 1990 [17] und später [18] kommen zu dem Ergebnis, dass nichtrostende Stähle der Gruppe 1 (AISI 304-Familie) bis zu einem Chloridgehalt von 200 mg/l korrosionsbeständig sind und dass Spaltkorrosion an Stählen wie EN 1.4301/1.4307 (AISI 304/304L) in Süßwasser, bei dem der Chloridgehalt in der Regel zwischen 20 mg/l und 100 mg/l liegt, selten ist. Dahingegen ist nichtrostender Stahl vom Typ 316, d.h. beispielsweise EN 1.4404, unterhalb eines Chloridgehalts von etwa 1000 mg/l beständig. Jüngere Literatur über Abwasser [9] stützt die Auffassung, dass die Sorte EN 1.4404 (AISI 316L) dem Stahl 1.4307 (304L) überlegen ist, wenn der Chloridgehalt 200 mg/l übersteigt. Praktische Erfahrungen mit Trinkwässern [19] zeigen, dass nichtrostende Stähle der 304-Familie für Trinkwässer mit Choridgehalten bis zu 200 mg/l geeignet sind. Gemäß der europäischen Norm EN 12502-4 [20] besteht bei molybdänfreien ferritischen und austenitischen Sorten in kaltem Wasser mit einem Chloridgehalt von mehr als 6 mmol/l (ca. 200 mg/l) eine erhöhte Wahrscheinlichkeit von Lochkorrosion, während diese Grenze in heißem Wasser auf 1,5 mmol (ca. 50 mg/l) herabgesetzt ist.

Allerdings kann bei molybdänfreien Sorten Spaltkorrosion in kaltem Wasser selbst bei Chloridgehalten deutlich unter 200 mg/l auftreten [20]. Voraussetzung für das Auftreten von Spaltkorrosion ist, dass die Spalte eng sind, z.B. konstruktionsbedingt oder unter Ablagerungen. In aller Regel sind Spalte mit einer Weite von mehr als 0,5 mm unkritisch [20]; jedoch spielt auch die Tiefe des Spalts eine Rolle. Die Verbindungstechnik ist wichtig für die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit

von Spaltkorrosion. Beim Einsatz von Pressverbindungen sind die Stähle der Gruppe 1 (AISI 304-Familie, also beispielsweise EN 1.4301) nicht in allen Wässer, die nach der europäischen Richtlinie 98/83/EG als Trinkwasser gelten, und die bis zu 250 mg/l Chlorid enthalten können, vollkommen beständig gegen Spaltkorrosion. In diesem Fall sind Stähle aus Tabelle 1, Gruppe 2 (AISI 316-Familie, d.h. beispielsweise EN 1.4404) einzusetzen, für die unter Bedingungen, die solchen in einer Trinkwasserinstallation vergleichbar sind, eine Chlorid-Obergrenze von 500 mg/l gilt [5].

3.3.2 Andere gelöste oder zugesetzte Wasser-inhaltsstoffe

Neben Chloriden kann eine Reihe weiterer Stoffe die Korrosivität des Wassers beeinflussen. Besondere Aufmerksamkeit ist erforderlich, wenn neben Chloriden andere Halogenide anwesend sind wie beispielsweise Bromide und Iodide. Ein anderer wichtiger Faktor ist der Gehalt an oxidierend wirkenden Substanzen, da das Risiko der Lochkorrosion mit der oxidierenden Wirkung des Wassers zunimmt. Chlor ist ein starkes Oxidationsmittel. Nichtrostende Stähle sind in der Regel gegenüber Chlorgehalten, wie sie normalerweise in Abwasserbehandlungsanlagen anzutreffen sind, beständig [9]. Chlorgehalte von 2 mg/l in gechlortem Süßwasser führte bei Stählen der Sorten EN 1.4301 (AISI 304) und 1.4404 (316L) nicht zu Korrosion. Dauerhafter Kontakt mit gechlortem Süßwasser mit 3 bis 5 mg/l Chlorgehalt löste bei Stählen der Sorten EN 1.4301 und 1.4307 (AISI 304 und 304L) Spaltkorrosion aus; bei der Sorte EN 1.4404 (AISI 316 L) hingegen in weit geringerem Maße [21]. Daher liegt die Sorte EN 1.4404 (316L) in derartigen Anwendungen eher auf der sicheren Seite [9]. Als alternatives Oxidationsmittel wird zunehmend Ozon eingesetzt – entweder als Ergänzung oder als Ersatz der Chlorung. Typ 316 (EN 14401) ist ein bevorzugter Konstruktionswerkstoff für Ozongeneratoren [9].

Harken-Umlaufrechen
Foto: Huber SE, Berching (D)

Als Flockungsmittel wird in der Abwasserbehandlung häufig Eisenchlorid verwendet. Nichtrostende Stähle sowohl vom Typ 304 als auch vom Typ 316 können Loch- und Spaltkorrosion erleiden, wenn die Eisenchloridkonzentrationen für die jeweiligen Werkstoffe zu hoch sind. In [9] wird berichtet, dass 250–300 mg/l Eisenchlorid in Belebtschlamm Korrosion ausgelöst haben. Derartige Zusätze müssen gleichmäßig im Abwasser verwirbelt werden, bevor sie Anlagenteile aus nichtrostendem Stahl durchströmen, um schädliche Konzentrationen zu vermeiden. Auch Eisensulfat ist eine in Abwasserbehandlungsanlagen häufig eingesetzte Chemikalie. Nach den vorliegenden Erfahrungen ist die Korrosionsrate von nichtrostendem Stahl in säurefreien eisensulfathaltigen Medien jedoch vernachlässigbar [9].

3.4 Bauseitige Einflussgrößen

3.4.1 Konstruktive Vorgaben

Um die Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle in Wässern sicherzustellen, sollte die Konstruktion so gewählt werden, dass eine möglichst hohe Durchflussgeschwindigkeit erreicht wird. Mindestens sollte sie 1 m/s betragen, um die Wahrscheinlichkeit von Lochkorrosion zu minimieren und Sedimentablagerungen zu verhindern. Zudem ist es wichtig, Spalte nach Möglichkeit zu vermeiden. Wenn sie nicht zu umgehen sind, sollten sie so weit wie möglich sein. Metall/Metall-Spalte sind dabei weniger kritisch als Metall/Kunststoff-Spalte. Einem erhöhten Spaltkorrosionsrisiko kann begegnet werden, indem man höher korrosionsbeständige Sorten auswählt, z.B. Werkstoffe der Gruppe 2 anstelle solcher aus Gruppe 1 in Tabelle 1. Horizontale Leitungen sollten ausreichendes Gefälle haben, um ungehinderten Ablauf zu

Vollständig überdachte Kläranlage in Vallarsa (I) Foto: Centro Inox, Mailand (I)

ermöglichen. Wenn Schlämme zu handhaben sind, ist es wichtig, Toträume und Taschen zu vermeiden, in denen sich Schlamm festsetzen und zu Ablagerungen führen kann.

Nichtrostende Stähle werden in Abwasseranlagen häufig gemeinsam mit anderen Werkstoffen verbaut, so dass sich die Frage nach der Verträglichkeit stellt [22]. Sobald zwei metallische Materialen miteinander in elektrischem Kontakt stehen und sich dabei in einer elektrisch leitenden Flüssigkeit befinden, kommt es zu elektrochemischen Reaktionen, die zur Korrosion des weniger edlen Partnerwerkstoffs führen können. Dieser Vorgang ist in der Praxis unter dem Begriff Kontaktkorrosion bekannt. In der aktuellen Normung wird diese Erscheinung als Bimetallkorrosion bezeichnet, die eine spezielle Form der galvanischen Korrosion ist. In der Regel ist nichtrostender Stahl der edlere Partnerwerkstoff und korrodiert daher selbst nicht. Das unedlere Partnermetall kann z.B. die Zinkauflage von verzinktem Stahl sein. Das Flächenverhältnis der Partnerwerkstoffe zueinander ist entscheidend für das Auftreten von Kontaktkorrosion. Um sie zu vermeiden, müssen die zwei metallischen Werkstoffe voneinander elektrisch getrennt oder andere aktive oder passive Schutzmaßnahmen ergriffen werden [15].

Mikrosiebe zur Entfernung von fein suspendierten Feststoffen aus dem Ablauf des Absetzbeckens
Foto: Huber SE, Berching (D)

In Rohrleitungen ist beim Einsatz von Flanschen und Fittingen darauf zu achten, dass Dichtungen und Dichtstoffe keine Chloride abgeben [5]. Generell müssen Bauteile aus nichtrostenden Stählen vor Kontakt mit chloridhaltigen Baustoffen bewahrt werden. Auch der Kontakt mit Chlor- oder chloridhaltigen Gasen und Dämpfen ist zu vermeiden. Dämmstoffe dürfen einen Chloridgehalt von 0,05 % nicht überschreiten. Im Falle von Mineralwolle darf der Gehalt an wasserlöslichem Chlorid nicht höher sein als 6 mg/kg [5]. Schwingungsdämpfende Teile von Befestigungsmitteln für Rohrleitungen müssen frei von wasserlöslichen Chloriden sein [5].

Detailliertere Informationen finden sich in [15] und [22]. Die Konstruktion muss dabei auch die nachstehenden Fertigungsaspekte berücksichtigen.

3.4.2 Fertigungsseitige Einflussgrößen

Die Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Stählen hängt in großem Umfang von der Oberflächenbeschaffenheit ab [5]. Die beste Korrosionsbeständigkeit wird dann erzielt, wenn die Oberflächen sauber und metallisch blank sowie frei von Fehlern sind, von denen Spaltkorrosion ausgehen kann, wie z.B. vom Schweißen herrührende Schlackenreste, Heißrisse oder Poren.

Deshalb kommt der Abstimmung der Schweißverfahren auf die Anforderungen des nichtrostenden Stahls besondere Bedeutung zu [23]. Erfahrungsgemäß ergeben automatisierte Schweißprozesse mit ausreichendem Schutzgaseinsatz und ohne Kantenversatz korrosionsbeständigere Schweißverbindungen als Handschweißungen. Besonders wichtig ist es, dass Schweißnähte den Werkstoff vollständig durchdringen und

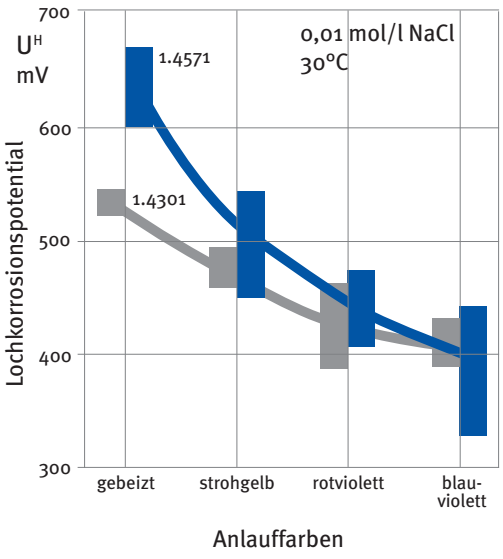


Abbildung 1: Lochkorrosionsbeständigkeit zweier austenitischer nichtrostender Stähle in Abhängigkeit vom Oberflächenzustand [10] nach Diab und Schwenk [24]

frei von Rissen, Überlappungen und Kaltschweißstellen sind. Jegliche Anlauffarben bzw. andere Oxide, Schweißspritzer und Schlackenreste müssen vermieden oder durch Schleifen bzw. Beizen entfernt werden. Sofern es die Korrosionsbedingungen erlauben, können allenfalls strohgelbe Anlauffarben toleriert werden [20]. Unter kritischen Bedingungen können jedoch auch strohgelbe Verfärbungen bereits die Wahrscheinlichkeit von Lochkorrosion erhöhen [20]. Wie in [10] berichtet wird, waren Proben mit einer gebeizten, blanken Oberfläche deutlich besser gegen Lochkorrosion beständig als Proben mit strohgelben Anlauffarben. Demgegenüber waren die Unterschiede zwischen strohgelben und blauvioletten Anlauffarben weitaus geringer. Abbildung 1 zeigt dies anhand eines Beispiels: Das Lochkorrosionspotential der Sorte EN 1.4571 in 0,01 m NaCl bei 30 °C als Maßstab für die Beständigkeit gegen Lochkorrosion ist für den gebeizten Zustand am höchsten, fällt dann zum Strohgelb hin steil ab und verringert sich weiter, wenngleich weniger schnell, in Richtung auf rotviolette und blauviolette Anlauffarben [24]. Dieselbe Beobachtung gilt für das Lochkorrosionspotential der Sorte EN 1.4301. Allerdings verläuft die Kurve flacher, so dass schließlich im Fall blauvioletter Anlauffarben die Lochkorrosionspotentiale beider Werkstoffe zusammenfallen.

Wenn sich Anlauffarben nicht von vornherein vermeiden lassen können, sollten sie durch Beizen [25] oder zunächst durch behutsames Schleifen mit einer rotierenden Faserbürste oder durch Glasperlenstrahlen mit anschließendem Beizen entfernt werden. Allerdings können Bürsten aus Koh-

Fein-Stabrechen für Regenüberläufe und ihre Montage in einem Abwasserkanal-Überlauf. Foto: Steinhardt-Wassertechnik, Taunusstein (D)

lenstoffstahl zu Fremdeisenverunreinigung der Oberfläche des nichtrostenden Stahls führen und dürfen daher nicht benutzt werden. Zu beachten ist, dass sich unter den Anlauffarben häufig eine chromverarmte Oberflächenschicht befindet, die gleichfalls durch Beizen entfernt werden muss, um die volle Korrosionsbeständigkeit des nichtrostenden Stahls zu erzielen. Die Entfernung von Anlauffarben sowie die Vermeidung von Spalten haben sich als die besten Vorkehrungen gegen mikrobiell induzierte Korrosion und andere Formen der Lokalkorrosion erwiesen [9,26]. Auch andere an der Oberfläche anhaftenden Fremdsubstanzen, etwa eingetragenes Eisen oder Rost, müssen entfernt werden. Art und Umfang der notwendigen Reinigung hängen von der vorhandenen Oberflächenschädigung sowie von deren Ursachen ab [27].

Aus diesen Befunden wird deutlich, dass nichtrostender Stahl in Abwässern nur dann seine optimale Korrosionsbeständigkeit erreicht, wenn er sorgfältig verarbeitet wird. Hohe Standards bei Fertigung und Montage sowie bei Schweißarbeiten sind für einen problemlosen Betrieb von zentraler Bedeutung. Nur Unternehmen mit Erfahrung in der Herstellung von Anlagenteilen aus nichtrostendem Stahl können jenes Qualitätsniveau sicherzustellen, das nötig ist, um Korrosionsrisiken während der Betriebsdauer zu vermeiden. Vorfertigung in der Werkstatt bietet optimale Arbeitsbedingungen, nicht zuletzt infolge der dort vorhandenen Reinigungsmöglichkeiten, die häufig ein vollständiges Tauchbeizen der Komponenten einschließen. So lassen sich Schweißungen auf der Baustelle, wo schwierige Zugänglichkeit das Erreichen höchster Qualität oft erschwert, auf ein Minimum reduzieren [28].

Detailansicht einer Abwasserbehandlungsanlage. Foto: Regeneracija, Lesce (SI)

3.5 Betriebliche Einflussgrößen

Viele der Überlegungen, die sich an die Betriebsbedingungen knüpfen, wurden bereits im Zusammenhang mit der Wasserzusammensetzung in Abschnitt 3.3 angesprochen.

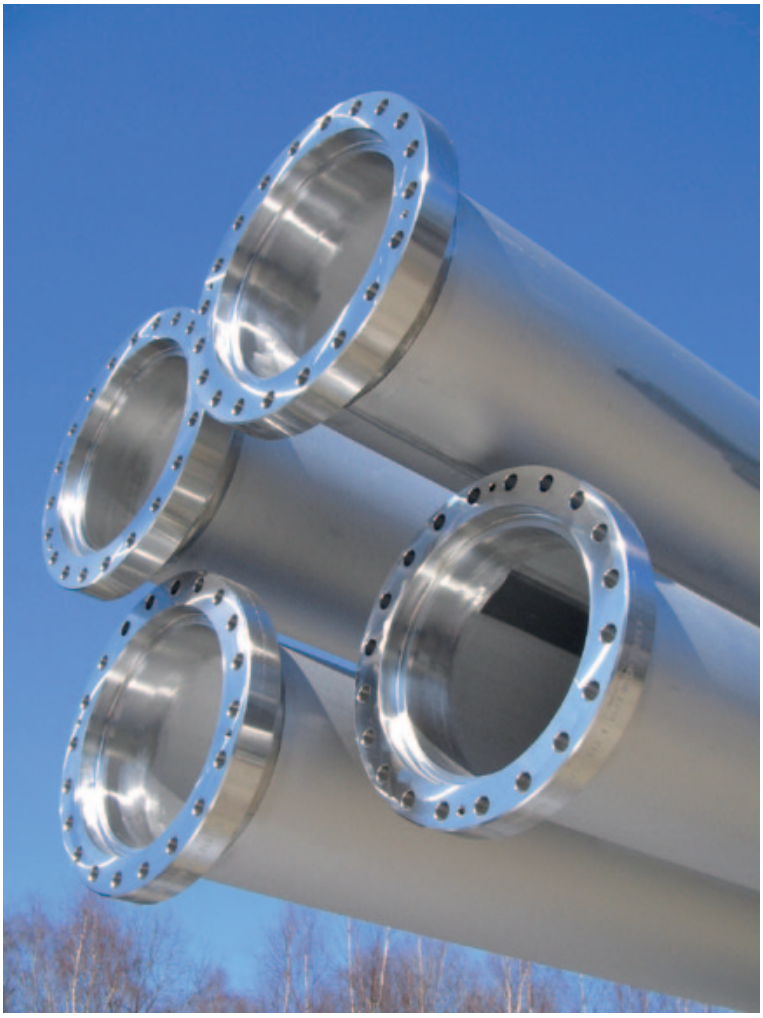
Die Druckprüfung ist ein Standardverfahren, um die Dichtigkeit von Leitungssystemen und Behältern nach deren Fertigstellung festzustellen. Jedoch müssen Anlagenteile aus nichtrostendem Stahl nach einer solchen Prüfung entleert und getrocknet werden, wenn sie nicht unmittelbar im Anschluss an die Prüfung in Betrieb gehen. Diese Forderung stellt sich insbesondere dort, wo Rohwasser für Prüfungszwecke eingesetzt wird, aus dem sich, wenn es stagniert, Bakterien und Sedimente absetzen und im Bereich der Schweißnähte zu ablagerungsbedingter Korrosion führen können. Trinkwasser oder gefiltertes Wasser ist daher für derartige Tests die bessere Wahl. Wenn eine Entleerung nicht möglich ist, kann ein tägliches Durchspülen die potentiellen Probleme [29] abmildern, bis die Inbetriebnahme stattfindet. Auch die Temperatur spielt eine Rolle. In der Regel nimmt die Beständigkeit gegen Loch- und Spaltkorrosion mit steigender Temperatur ab. Wenn allerdings die Konzentration oxidierender Substanzen bei steigender Temperatur sinkt, wie dies bei druckfreien Anlagen typischerweise der Fall ist, ist der Einfluss der Temperatur auf die Lochkorrosion nur gering [5].

Die Fließgeschwindigkeit des Wassers ist ein weiterer wichtiger Parameter. In der Regel ist die Korrosionsbeständigkeit in hinreichend schnell fließendem Wasser (d.h. über 0,5 m/s bis 1 m/s) vergleichsweise hoch, während in stehenden Wässern Lochkorrosion auftreten kann. Langsam fließendes Wasser kann zu Sedimentablagerungen führen, unter denen sich Spaltkorrosion entwickeln kann. Schlammführendes Wasser sollte eine Strömungsgeschwin-

Entwässerungsleitungen einer Klärschlamm-Siloanlage
Foto: Cedinox, Madrid (E)

digkeit von mindestens 0,6 m/s haben, damit sich keine Ablagerungen bilden [9]. Regelmäßiges Reinigen und Durchspülen der Anlage stellt eine wirksame Vorsichtsmaßnahme dar.

Darüber hinaus können in Abwasserbehandlungsanlagen Dämpfe entstehen, die feuchten Schwefelwasserstoff und Chlor enthalten. Obwohl einerseits im Fall der Stähle EN 1.4301 (AISI 304) und 1.4404 (316L) bei Einwirkung von feuchtem Schwefelwasserstoff über eine nur vernachlässigbare Korrosion berichtet wird [9], ist andererseits auch bekannt, dass diese Stähle einen Korrosionsangriff erleiden können, wenn sich in Abwasserbehandlungsanlagen große Mengen von feuchtem Schwefelwasserstoff entwickeln [30]. Der Korrosionsangriff ist möglicherweise mit dem starken Depolarisierungseffekt des Schwefelwasserstoffs zu erklären, der Lochkorrosion begünstigt [31]. Ausreichende Belüftung schafft hier Abhilfe [30]. Nichtrostende Stähle zeigen Oberflächenangriff und Lochkorrosion auch in Umgebungen, in denen sich chlorhaltige Dämpfe sammeln und schließlich kondensieren können. Unter derartigen Betriebsbedingungen sind ausreichende Belüftung und /oder regelmäßiges Abwaschen mit Wasser und Säuberung in regelmäßigen zeitliche Abständen unerlässlich [30].



Metallisch saubere Oberflächen schaffen die Voraussetzungen für langzeitige Betriebssicherheit
Foto: Butting, Knesebeck (D)

4 Korrosionsbeständigkeit an der Atmosphäre

Außenatmosphären können sehr unterschiedlich sein. In küstenfernen Stadt- und Industrieatmosphären sind kohlenstoffhaltige Partikel sowie Schwefeldioxid die häufigsten korrosiven Substanzen. In Meeresnähe – und bei ungünstigen Windbedingungen auch noch in relativ großer Entfernung vom Meer – sind Chlorid-Aerosole die aggressivsten Substanzen. Demgegenüber ist ländliche Atmosphäre in meeresfernen Regionen nicht aggressiv. Erfahrungsgemäß [32] sind die nichtrostenden Stähle der Gruppe 1 in Tabelle 1 (AISI 304-Familie, also beispielsweise EN1.4301) unter Berücksichtigung von Kosten und Korrosionsbeständigkeit in ländlicher, meeresferner Umgebung die beste Wahl. Gleiches gilt aber auch für Standorte in Meeresnähe und in städtischer Umgebung, solange die Korrosivität gering bis mittel ist. Allerdings können auch in solchen Umgebungen Korrosionsbelastungen auftreten, welche den Einsatz eines höher legierten Stahls aus Gruppe 2 (AISI 316-Familie, also beispielsweise EN 1.4404) erfordern. In Industrieatmosphäre sind stets Stähle der Gruppe 2 zu bevorzugen. Wenn besonders ungünstige Umstände vorliegen, z.B. in Meeresnähe und Industrieumgebung bei besonders hoher relativer Luftfeuchtigkeit gepaart mit hoher Temperatur und korrosiven atmosphärischen Verschmutzungen, können selbst Stähle der Gruppe 4 in Tabelle 2 angeraten sein. [32] enthält hierzu weitere Informationen.

5 Korrosionsbeständigkeit in Erdböden

Erdböden können hinsichtlich ihrer Korrosionseigenschaften höchst unterschiedlich sein, abhängig von Chloridgehalt, pH-Wert und elektrischem Widerstand. Nichtrostende Stähle bewähren sich in einer großen Bandbreite von Bodenzusammensetzungen. Gemäß den in [33] genannten Auswahlkriterien empfehlen sich Stähle der Gruppe 1 aus Tabelle 1, wenn der Chloridgehalt unter 500 ppm und der Widerstand über 1000 Ω × cm liegt. Gruppe 2 empfiehlt sich bei Chloridgehalten unterhalb 1500 ppm und einem Widerstand von mehr als 1000 Ω × cm. Stähle der Gruppe 5 eignen sich für Chloridgehalte bis zu 6000 ppm und einem Widerstand von mehr als 500 Ω × cm. Diese Angaben gelten für einen pH-Wert von mehr als 4,5, bei Abwesenheit von Kriechströmen und ohne Beschichtungen bzw. kathodischen Schutz.

Radialspüler in einem Rundbecken
Foto: Steinhardt Wassertechnik, Taunusstein (D)

6 Mechanische Eigenschaften

Einige wichtige mechanische Eigenschaften der infrage kommenden nichtrostenden Stähle der Gruppen 1 bis 4 (siehe Tabellen 1 und 2) werden in Tabelle 3 aufgeführt. Kaltgewalztes Bandmaterial bis zu ein Dicke von 8 mm kann als Beispiel herangezogen werden. Aus diesem Erzeugnis werden z.B. Bleche für den Tank- und Containerbau geschnitten, aber auch längsnahtgeschweißte Rohre für Abwasseranlagen hergestellt. Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, ist die 0,2 %-Dehngrenze für Stähle der Gruppe 1 ≥ 220 N/mm² und für Stähle der Gruppe 2 ≥ 240 N/mm². Diese Werte liegen im unteren Bereich derjenigen für Baustähle [34].

Tabelle 3: Mechanische Eigenschaften nichtrostender Stähle für Abwasseranlagen. Die Angaben gelten gemäß EN 10088-2:2005 für kaltgewalztes Band bis 8 mm Dicke im lösungsgeglühten Zustand

Gruppe	EN Werkstoff-Nr.	0,2 %-Dehngrenze $R_{p\,0,2}$ N/mm² min.	Zugfestigkeit R_m N/mm² min.	Bruchdehnung A % min.
1	1.4301 1.4306 1.4307 1.4541	230 220 220 220	540 520 520 520	45 45 45 40
2	1.4401 1.4404 1.4571	240 240 240	530 530 540	40 40 40
3	1.4435	240	550	40
4	1.4462 1.4439	500 290	700 580	20 35

Vorgefertigte Leitungskomponenten für eine Abwasseranlage in den Niederlanden
Foto: H. Butting, Knesebeck (D)

Die hohe Duktilität der austenitischen nichtrostenden Stähle ist besonders hervorzuheben. Sie liegt bei den Stählen der Gruppen 1, 2 und 3 in Tabelle 3 mit Bruchdehnungen von mindestens 40 % weit oberhalb der Werte für Baustahl. Die leichte Umformbarkeit bedeutet, dass sich nichtrostende Stähle auf der Baustelle leicht verarbeiten lassen und zum Beispiel auch Unebenheiten in Betontragwerken angepasst werden können. In dieser Hinsicht ist nichtrostender Stahl bei Bau und Reparatur leichter zu handhaben als Aluminium oder verzinkter Stahl.

Eine weitere Besonderheit der nichtrostenden austenitischen Stähle ist das mit der hohen Duktilität in Zusammenhang stehende Kaltverfestigungsverhalten. Diese Eigenschaft bedeutet, dass die 0,2 %-Dehngrenze durch eine dem Produkt angepasste Kaltumformung, z.B. Ziehen oder Kaltwalzen, erhöht werden kann. Das wird in Abbildung 2 für den austenitischen nichtrostenden Stahl EN X5CrNi18-10 / 1.4301 gezeigt, im Vergleich zu dem ferritischen nichtrostenden Stahl X5Cr17 / 1.4016 und einem anderen austenitischen nichtrostenden Stahl X10CrNi18-8 /1.4310 , der mit der Zielsetzung einer besonders hohen Kaltverfestigung für die Herstellung von Federn und Messern entwickelt wurde. Die Abbildung [35] zeigt, dass die 0,2 %-Dehngrenze des austenitischen nichtrostenden Stahls 1.4301 durch eine Kaltverformung ohne weiteres bis herauf zu 460 N/mm² gesteigert werden kann – mit einer dann noch verbleibenden beträchtlichen Duktilität. In der Abwassertechnik kann diese Kaltverfestigung konstruktiv genutzt werden [36]. Dünne Bleche z.B. aus den Stählen EN 1.4301 oder 1.4571, die durch Walzen kaltverfestigt wurden, lassen sich im Behälterbau einsetzen. Das erlaubt geringeres Gewicht und dementsprechend verminderte Kosten bei unveränderter baustatischer Stabilität, beispielsweise für Abwassertanks von Brauereien. Der sich aus der Kaltumformung ergebende Festigkeitsgewinn [37] lässt sich zur Reduzierung von Wanddicken einsetzen. Da das Schweißen hierbei die Festigkeit lokal wieder herabsetzen würde, müssen dabei allerdings alternative Verbindungstechniken eingesetzt werden [6].

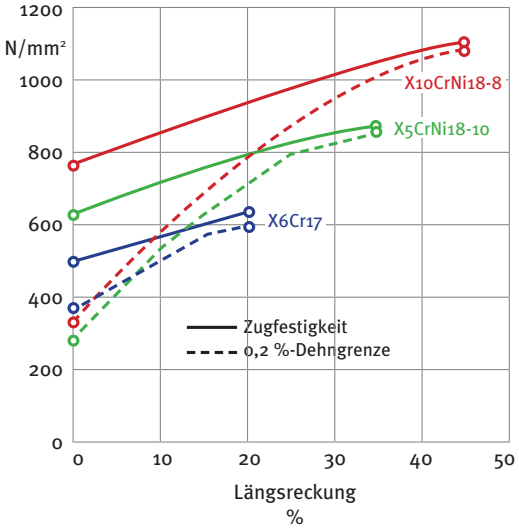


Abbildung 2: Kaltverfestigungsverhalten verschiedener nichtrostender Stähle: die austenitische Standardsorte EN X5CrNi18-10 / 1.4301 im Vergleich zu der stark kaltverfestigenden Sorte X10CrNi18-8 / 1.4310 sowie zur ferritischen Sorte X6Cr17 / 1.4016 aus [35]

Beachtung verdient die hohe 0,2 %-Dehngrenze des nichtrostenden Duplexstahles EN 1.4462 (auch als 2205 bekannt), die gemäß Tabelle 3 im lösungsgeglühten Zustand ≥ 500 N/mm² beträgt. Dieser Wert liegt weiter über der 0,2 %-Dehngrenze allgemeiner Baustähle. In Tabelle 2 gehört diese Sorte zu den Stählen der Gruppe 4, die in den hier betrachteten Medien auch eine erhöhte Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Diese Sorte kann deshalb dann in Betracht gezogen werden, wenn eine leichte Bauweise von Vorteil ist, beispielsweise im Fall großer Rundräumer. Wenn auf Schweißverbindungen verzichtet werden kann, kommen hier auch kaltverfestigte austenitische Sorten mit 0,2 %-Dehngrenzen von bis zu 460 N/mm² oder sogar 690 N/mm² [37] in Betracht.

Behälterinnenseite mit Auskleidung aus nichtrostendem Stahl. Foto: Centro Inox, Mailand (I)

Bestimmte Leitungssysteme, z.B. solche für Belüftung, sind im Betriebszustand Schwingungen ausgesetzt. In diesem Fall wird die zulässige Betriebsspannung von der Dauerschwingfestigkeit bestimmt, die unterhalb der 0,2 %-Dehngrenze liegt. Auch wenn die Stähle der 304- und 316-Familie eine sehr hohe Dauerschwingfestigkeit aufweisen, kommt es bei der Konstruktion darauf an, im Fall von Verbindungen zwischen einzelnen Bauteilen diese möglichst glatt und ohne spannungserhöhende Kerbstellen ineinander übergehen zu lassen, da diese Bereiche den schwächsten Punkt der Konstruktion darstellen, an dem sich Schwingungsbelastungen konzentrieren können [9].

7 Anwendungen nichtrostender Stähle in Abwasseranlagen

Die Bandbreite der Anwendungen nichtrostender Stähle in Abwasseranlagen ist so groß, dass hier nur einige der wichtigsten angesprochen werden sollen. Ein Haupteinsatzgebiet sind Rohrleitungen, z.B. für die Belüftung. Auf Behälter aus kaltverfestigtem nichtrostendem Stahl wurde bereits eingegangen. Darüber hinaus können auch Absetzausrüstungen sowohl für runde als auch für rechteckige Behälter, wie beispielsweise die Unterwasser-Einrichtungen von Absetzbecken, vorteilhaft aus nichtrostendem Stahl gefertigt werden. Auch eine Vielzahl maschineller Einrichtungen für die Abwasserbehandlung wie Rechen und Siebanlagen, Waschpressen, Sandklassierer, Sandfänge, Räumer und Rotoren und Schlammentwässerungsausrüstung wird verbreitet aus nichtrostendem Stahl hergestellt, z.B. für Rückhaltung, Spülung, Eindickung, Entwässerung und Filterung, Öl- und Fettabscheidung, Eindickung und Entwässerung verschiedener Schlämme, Siebfiltration usw. Nichtrostender Stahl ist auch das bevorzugte Material für Hilfseinrichtungen, z.B. Steigleitern, Treppen [38], Handläufe und Umwehrungen, Mannlochdeckel, andere bauliche Anlagen und Dächer [39].

Längsnahtgeschweißte Großrohre für eine Abwasserbehandlungsanlage in Griechenland Foto: H. Butting, Knesebeck (D)

Sofern keine erschwerenden wasserseitige oder atmosphärische Faktoren vorliegen, kann die Verwendung der Sorte EN 1.4404 (AISI 316L) als vernünftige Standard-Empfehlung für Leitungen und Unterwasseranwendungen dienen. Selbst wenn diese Sorte für die heutige Abwasserzusammensetzung gar nicht erforderlich ist, gibt sie jedoch Spielraum für eine nicht auszuschließende spätere Verschlechterung der Abwasserzusammensetzung. Die Sorte EN 1.4307 (AISI 304L) kann sowohl unter Beständigkeits- als auch unter Kostengesichtspunkten für viele Anwendungen oberhalb der Wasserlinie eine optimale Lösung sein. Auf das Potential des hochfesten Duplex-Stahls 1.4462 und der kaltverfestigten austenitischen nichtrostenden Stähle in gewichtsoptimierten Konstruktionen, die wegen des geringeren Materialbedarfs erhebliche Kosteneinsparungen mit sich bringen können, wurde bereits eingegangen.

Leitungssystem nach dem Zusammenbau in einer Abwasseranlage Foto: CDA La Rochelle (F)

8 Wirtschaftliche Aspekte

8.1 Lebensdauerbezogene Kostenrechnung

Nichtrostender Stahl ist ein werthaltiger Werkstoff. Bauteile aus verzinktem Stahl sind häufig preisgünstiger, solange allein die Anschaffungskosten betrachtet werden. Bezieht man dagegen Unterhalts- und Reparaturaufwendungen während der Gesamt-Lebensdauer ein, ist nichtrostender Stahl häufig die wirtschaftlichere Alternative [40]. Der wichtigste Faktor ist dabei die Korrosionsbeständigkeit des nichtrostenden Stahls, die zu einer längeren Nutzungsdauer führt. Außerdem trägt diese Eigenschaft zu niedrigeren Reinigungs- und Unterhaltskosten bei. Am Ende ihrer Nutzungsdauer sind Teile aus nichtrostendem Stahl vollständig recyclingfähig.

Leitungssystem einer Abwasseranlage vor dem Zusammenbau
Foto: Cedinox, Madrid (E)

Es wurde berichtet [41], dass zum Beispiel eine Schachtabdeckung aus verzinktem Stahl um 20 % preiswerter angeboten worden war als eine entsprechende Schachtabdeckung aus dem Stahl EN 1.4301 (AISI 304). Aufgrund der deutlich höheren Unterhaltskosten für die verzinkte Stahlausführung war jedoch der Deckel aus nichtrostendem Stahl über eine mit 25 Jahren angenommene Gesamtlebensdauer um 24 % kostengünstiger, wobei der Umkehrpunkt schon nach 13 Jahren liegt.

Sofern die erwartete Lebensdauer unterschiedlich ist, müssen die Kosten als Kosten pro Jahr ermittelt werden, um einen Vergleich zu ermöglichen. Ein solcher Vergleich wurde 1998 für einen Feinrechen angestellt [41]. Wenn der Feinrechen aus verzinktem Stahl hergestellt wurde, waren die Investitionskosten um 15 % niedriger als im Fall von nichtrostendem Stahl, wobei jedoch die Lebensdauer auf 12 Jahre abgeschätzt war. Demgegenüber sollte die Lebensdauer des Rechens aus dem Werkstoff EN 1.4301 (AISI 304) 18 Jahre betragen. Demgemäß wäre der Feinrechen aus nichtrostendem Stahl um 19 %/Jahr billiger als der gleiche Feinrechen aus verzinktem Stahl. Eine ähnliche Relation ergibt sich für eine Schlamm-Eindickpresse [41]. Wenn für die Ausführung in nichtrostendem Stahl eine Lebensdauer von 20 Jahren in Ansatz gebracht wird gegenüber nur 10 Jahren für ein Modell aus verzinktem Stahl, sind die Kosten pro Jahr im Fall des nichtrostenden Stahls um 20 % niedriger.

Ein weiteres Beispiel ist die Auswahl der zur Gruppe 2 in Tabelle 1 gehörigen Sorte EN 1.4401 (AISI 316) für eine Leitung zur Schwefelwasserstoff-Entlüftung in einem Klärwerk im Nordwesten Englands. Die geringeren Wanddicken und der Entfall von Beschichtungen beim nichtrostenden Stahl hatten zum Ergebnis, dass der Kostenunter-

schied zum beschichteten unlegierten Stahl weitaus geringer war als zunächst erwartet. Die Gesamtkosten lagen nach 5 Jahren mit Eintreten des ersten Instandsetzungsfalles gleichauf. Der Grund war, dass eine Beschichtung vor Ort für den nichtrostenden Stahl nicht benötigt wurde. Nach 15 Jahren, als der beschichtete Stahl zur Erneuerung angestanden hätte, ergab sich sogar ein erheblicher Kostenvorteil für den nichtrostenden Stahl [29]. In ähnlicher Weise wurde nichtrostender Stahl für Ersatz und Neuplanung der Verteiler eines biologischen Abwasserbehandlungsprozesses in einem Klärwerk von Yorkshire Water in Großbritannien gewählt. Die pyramidenförmige Konstruktion umfasste die in Gruppe 1 von Tabelle 1 aufgeführte Sorte EN 1.4301 (AISI 304) für den Haupt-Rahmen und EN 1.4401 (316) für das tragende Gestell. Die Prozessverfügbarkeit wurde mit 97 % angesetzt; die Einsparung mit 50 % über 20 Jahre gegenüber der zu ersetzenden verzinkten Konstruktion. Nach zwei Jahren waren die in den nichtrostenden Stahl gesetzten Erwartungen bereits übertroffen worden, weil sich mit ihm der Wartungsaufwand um mehr als 90 % vermindert hatte [29].

8.2 Weitere Aspekte der Kosteneinsparung

Im Rohrleitungsbereich können sich Rohre aus nichtrostenden Stählen deshalb von vorneherein kostengünstiger rechnen als solche aus verzinktem Stahl, weil sich die Rohre aus den nichtrostenden Stählen in ihrer Wanddicke nach dem tatsächlichen Betriebsdruck auslegen lassen, während Rohre aus verzinktem Stahl eine erheblich größere genormte Wanddicke haben und meistens nur in dieser beziehbar sind. So beträgt bei DN 200 die Wanddicke bei Stahl mindestens 4,5 mm, für Lagerdimensionen meistens jedoch 6,3 mm. Alternativ können aus nichtrostendem Stahl dann Rohre in den Abmessungen 204 mm × 2 mm oder 219 mm × 2,5 mm eingesetzt werden. Der sich ergebende Gewichtsunterschied führt dazu, dass die Leitungen aus nichtrostendem Stahl kostengünstiger sind [42].

Belüftungstanks aus nichtrostendem Stahl Foto: Centro Inox, Mailand (I)

Zusätzliche Kosteneinsparungen lassen sich erzielen, wenn die Durchflussgeschwindigkeit mit in Betracht gezogen wird. Der in [43] genannte hohe maximal zulässige Wert von 30 m/s ermöglicht u.U. geringere Durchmesser, die sich wiederum in geringerem Gewicht und niedrigeren Kosten gegenüber anderen Werkstoffen niederschlagen.

Literatur

[1] EN 10088:2005 – *Nichtrostende Stähle – Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle; Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung; Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeuge, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung*

[2] EN 10312:2002 – *Geschweißte Rohre aus nichtrostenden Stählen für den Transport wässriger Flüssigkeiten einschließlich Trinkwasser – Technische Lieferbedingungen*

[3] prEN 10217-7:2009 – *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen – Technische Lieferbedingungen – Teil 7: Rohre aus nichtrostendem Stahl*

[4] *The Self-Passivation of Stainless Steels*, CD-ROM, Euro Inox, 1997/2001, www.euro-inox.org

[5] *Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern, Merkblatt 830 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei*, 2. Auflage, Düsseldorf, 1997, www.edelstahl-rostfrei.de

[6] *Die Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei, Merkblatt 822 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei*, 3. überarbeitete Auflage, Düsseldorf 2001, www.edelstahl-rostfrei.de

[7] Arlt, N.; Kiesheyer, H.: „*Korrosionsverhalten von nichtrostenden Stählen in wässrigen Medien*“, in Gümpel, P. und 6 Mitautoren: Rostfreie Stähle, expert-Verlag, 3. Auflage, 2001, (Reihe Kontakt und Studium, Band 493), S. 38 - 100

[8] *Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steels, London: International Molybdenum Association*, 2009, www.imoa.info

[9] Tuthill, A.H.; Lamb, S.: *Stainless steel in municipal waste water treatment plants*, NiDI Technical Series N° 10 0076, 1998, www.nickelinstitute.org

[10] Heubner, U.: *Das Korrosionsverhalten von Nickellegierungen und hochlegierten Sonderedelstählen im geschweißten Zustand*, Kapitel 2.4 aus Ulrich Heubner, Jutta Klöwer und 5 Mitautoren*: Nickelwerkstoffe und hochlegierte Sonderedelstähle*, 4., völlig neu bearbeitete Auflage, Renningen-Malmsheim: expert-Verlag, 2009

[11] van Bennekom, A.; Wilke, F.: *Comparison Between Stabilised And Low Carbon Austenitic Stainless Steels*, Euro Inox, 2009, www.euro-inox.org

[12] Srivastava, S.C.; Ives, M.B.: „*The Role of Titanium in the Pitting Corrosion of Commercial Stainless Steels*”, Corrosion NACE 45 (1989) 488- 493

[13] Boulton, L.H.; Betts, A.J.: „*Corrosion performance of titanium and titanium stabilised stainless steels*”, British Corrosion Journal 26 (1991) 287-292

[14] Flint, N.: *Resistance of Stainless Steel to Corrosion in Naturally Occurring Waters*, NiDI Publication 1262, 1976, www.nickelinstitute.org

[15] *Richtlinien zum Korrosionsschutz in Abwasseranlagen,* SGK Arbeitsblatt C6, Ausgabe 2010, Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich, www.sgk.ch

[16] *Guidelines for Selection of Nickel Stainless Steels for Marine Environments, Natural Waters and Brines*, A Nickel Development Institute Reference Book, Series N° 11 003, 1987, www.nickelinstitute.org

[17] Tuthill, A.H.: *Design, water factors affect service water piping materials*, NiDI Technical Series N° 10 043, reprinted from Power Engineering, July 1990, www.nickelinstitute.org

[18] *Nickel-containing materials for water control applications*, A Nickel Development Institute Reference Book Series N° 11 010, 1993, www.nickelinstitute.org

[19] Lewus, M.; Tupholm K.; Hobson, S.; Lee, B.; Dulieu, D.: *Properties and in-service performance - Stainless steels for water systems*, Report EUR 17867 EN, Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities, 1997, p. 15

[20] DIN EN 12502-4, Ausgabe 2005: *Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen, Teil 4: Einflussfaktoren für nichtrostende Stähle*

[21] Tuthill, A.H.; Avery, R.E.; Lamb, S.; Kobrin, G.: „*Effect of Chlorine on Common Materials in Fresh Water*", CORROSION'98, Paper N° 708, NACE International, Houston, Texas, 1998

[22] Arlt, N.; Burkert, A.; Isecke, B.: *Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen,* Merkblatt 829 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, Düsseldorf, 2005, www.edelstahl-rostfrei.de

[23] *Schweißen von Edelstahl Rostfrei,* Merkblatt 823 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 4. Auflage, Düsseldorf, 2004, www.edelstahl-rostfrei.de

[24] Diab, A.S.M.; Schwenk, W.: „*Beeinträchtigung der Lochkorrosionsbeständigkeit von CrNi-Stählen durch dünne Oxidschichten*", Werkstoffe und Korrosion 44 (1993), 367-372

[25] Crookes, R.: *Beizen und Passivieren nichtrostender Stähle*, Euro Inox, 2. Auflage 2007 (Reihe Werkstoff und Anwendungen, Band 4), www.euro-inox.org

[26] Heubner, U.: „*Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion nichtrostender Stähle und ihre Vermeidung*", Chemie Ingenieur Technik 72 (2000) 1439-1444

[27] *Die Reinigung von Edelstahl Rostfrei,* Merkblatt 824 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 1995, www.edelstahl-rostfrei.de

[28] Schüller, T.: „*Nichtrostende Stähle in Wasserwerken – Sortenauswahl und Verarbeitung*", Vortrag anlässlich der Fachveranstaltung Edelstahl Rostfrei in Städtischen Werken, Düsseldorf, 16. November 1999

[29] Fassina, L.; Powell, C.: „*Waste Water Stainless Steel Equipment in Italy and Abroad; Applications, Guidelines and Life Cycle Cost Analysis*", Vortrag anlässlich der Veranstaltung „*Stainless Steel for the Municipal Companies*", Cadriano in Bologna, 14. June 2001

[30] *Edelstahl Rostfrei für die Wasserwirtschaft*, Merkblatt 893 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2007, www.edelstahl-rostfrei.de

[31] Newman, R.C.; Isaacs, H.S.; Alman, B.: „*Effects of Sulfur Compounds on the Pitting Behaviour of Type 304 Stainless Steel in Near-Neutral Chloride Solutions*", CORROSION-NACE Vol. 38, No. 5, May, 1982, pp. 261-265

[32] *Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle an der Atmosphäre*, Merkblatt 828 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 2. Auflage, Düsseldorf, 1996, www.edelstahl-rostfrei.de

[33] Cunat, P.J.: „*Corrosion Resistance of Stainless Steels in Concrete and Soils*", CEOCOR CONGRESS, Biarritz, 2001

[34] Gramberg, U.; Horn E.M.; Mattern, P.: „*Kleine Stahlkunde für den Chemieapparatebau*, Düsseldorf: Verlag Stahleisen, 2. Auflage, 1993

[35] *Edelstahl Rostfrei – Eigenschaften*, Merkblatt 821 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 4. Auflage, Düsseldorf, 2006, www.edelstahl-rostfrei.de

[36] „*Stallkamp Abwassertechnik – Dünnblechbehälter aus Edelstahl*“, Focus Rostfrei 18/1996

[37] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 20. April 2009, Zulassungsgegenstand: *Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen*, Sonderdruck 862 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, www.edelstahl-rostfrei.de

[38] *Geländer und Treppen aus Edelstahl Rostfrei*, Dokumentation 871 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, aktualisierter Nachdruck, Düsseldorf, 2006, www.edelstahl-rostfrei.de

[39] *Dächer aus Edelstahl Rostfrei*, Luxemburg: Euro Inox, 2002 (Reihe Bauwesen, Band 4), www.euro-inox.org

[40] *Life Cycle Costing (LCC) of Stainless Steels*, Luxemburg: Euro Inox 2005, www.euro-inox.org

[41] Hini, E.: „*Wirtschaftliche und innovative Lösungen mit nichtrostendem Stahl im Abwasserbereich*“, Vortrag anlässlich des Korrosionsschutzseminars „*Korrosionsschutz in Abwasser führenden Anlagen*“, Dresden, 09.12.1998

[42] *Mitteilung H. Butting Edelstahlrohre*, Wittingen/Germany, Januar 2000

[43] *Applications for Stainless Steel in the Water Industry*, Water Industry Information & Guidance Note (IGN) 4–25–02, The Steel Construction Institute, Ascot, 1999

euro inox
The European
Stainless Steel
Development Association

ISBN 978-2-87997-043-1

Diamant Building • Bd. A. Reyers 80 • 1030 Brüssel • Belgien • Tel +32 2 706 82-67 • Fax -69 • e-mail info@euro-inox.org • www.euro-inox.org