



Merkblatt 830

Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern



Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

Die Informations- stelle Edelstahl Rostfrei

Die Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (ISER) ist eine Gemeinschaftsorganisation von Unternehmen und Institutionen aus den Bereichen

- Edelstahlherstellung,
- Edelstahlhandel und Anarbeitung,
- Edelstahlverarbeitung,
- Oberflächenveredelung,
- Legierungsmittelindustrie,
- Marktforschung und Verlage für nichtrostende Stähle.

Die Aufgaben der ISER umfassen die firmenneutrale Information über Eigenschaften und Anwendungen von Edelstahl Rostfrei. Schwerpunkte der Aktivitäten sind

- praxisbezogene, zielgruppenorientierte Publikationen,
- Online-Informationsplattform unter www.edelstahl-rostfrei.de
- Pressearbeit für Fach- und Publikumsmedien,
- Messebeteiligungen,
- Durchführung von Schulungsveranstaltungen,
- Errichtung von Kompetenzzentren „Edelstahl-Rostfrei-Verarbeitung“,
- Informationen über Bezugsmöglichkeiten von Produkten aus Edelstahl Rostfrei,
- individuelle Bearbeitung technischer Anfragen.

Ein aktuelles Schriftenverzeichnis wird auf Anforderung gerne übersandt – oder ist einsehbar unter www.edelstahl-rostfrei.de/ Publikationen.

Impressum

Merkblatt 830
Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen
Wässern

3. überarbeitete Auflage 2012

Herausgeber:

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Postfach 10 22 05
40013 Düsseldorf
Telefon: 0211 / 67 07-8 35
Telefax: 0211 / 67 07-3 44
Internet: www.edelstahl-rostfrei.de
E-Mail: info@edelstahl-rostfrei.de

Autor:

Dr.-Ing. Ulrich Heubner, Werdohl

Herausgeber und Autor danken den
Herren

Dr.rer.nat. Norbert Arlt, Thyssen-
Krupp Nirosta GmbH, Düsseldorf

Dr.rer.nat. Hubertus Schlerkmann,
Salzgitter Mannesmann Forschung
GmbH, Duisburg

für die kritische Durchsicht des Manu-
skripts und vielerlei Hinweise zu sei-
ner Ausgestaltung.

Titelfoto:

Huber SE, Berching

Die in dieser Broschüre enthaltenen
Informationen vermitteln Orientie-
rungshilfen. Gewährleistungsansprü-
che können hieraus nicht abgeleitet
werden. Nachdrucke aus dieser Doku-
mentation bzw. Veröffentlichungen im
Internet, auch auszugsweise, sind nur
mit schriftlicher Genehmigung des
Herausgebers und mit deutlicher Quel-
lenangabe gestattet.

Inhalt

	Seite
1 Einführung	2
2 Beständigkeit von Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern und maßgebende Einflussgrößen	2
2.1 Allgemeines	2
2.2 Werkstoffbedingte Einfluss- größen	3
2.3 Wasserseitige Einflussgrößen	5
2.3.1 Chloridionen	5
2.3.2 Andere gelöste oder zuge- setzte Wasserinhaltsstoffe	6
2.4 Bauseitige Einflussgrößen	7
2.4.1 Konstruktive Vorgaben	7
2.4.2 Fertigungsseitige Einflussgrößen	7
2.5 Betriebliche Einflussgrößen	9
3 Anwendungsfälle	9
3.1 Trinkwasser-Installation	9
3.1.1 Allgemeine Hinweise	9
3.1.2 Bemerkungen zur Werkstoff- auswahl	10
3.1.3 Besonderheiten warm gehender Bereiche	10
3.2 Abwasserbehandlung	11
3.2.1 Allgemeine Hinweise	11
3.2.2 Besonderheiten bei der Behandlung von Abwässern	11
3.2.3 Typische Anwendungen von Edelstahl Rostfrei im Bereich der Abwasserbe- handlung	11
3.3 Kühlwässer	11
3.3.1 Gesichtspunkte für die Werkstoffauswahl	11
3.3.2 Besonderheiten bei der Handhabung von Kühlwäs- sern	12
3.3.3 Anwendungen von Edelstahl Rostfrei im Kühl- wasserbereich	13
3.4 Schwimmbadwässer	13
4 Umrechnungen	14
5 Literatur	14

1 Einführung

Edelstahl Rostfrei ist ein Sammelbegriff für die nichtrostenden Stähle. Sie enthalten mindestens 10,5 % Chrom und weisen gegenüber unlegierten Stählen eine deutlich bessere Korrosionsbeständigkeit auf [1]. In der Tat führt das Legierungselement Chrom in diesem Mindestanteil zur Ausbildung einer sehr dünnen, aber fest haftenden und bei Verletzung auch selbstheilenden so genannten Passivschicht, die das darunter liegende Metall vor dem Angriff durch die umgebenden Medien schützt [2].

Die traditionelle Namensgebung „nichtrostende Stähle“ hat ihren Ursprung darin, dass diese Werkstoffe nicht rosten, wenn sie üblicher Raumluft ausgesetzt sind. Sie bedeutet jedoch nicht, dass diese Werkstoffe beliebigen Medien ohne Korrosionserscheinungen ausgesetzt werden können. Mit einer Erhöhung des Chrom (Cr)-Gehalts über den oben genannten Mindestgehalt hinaus und dem Hinzufügen weiterer Legierungsbestandteile wie z.B. von Nickel (Ni) und von Molybdän (Mo) kann die Korrosionsbeständigkeit in Anpassung an die jeweils umgebenden Medien, wie beispielsweise die hier zu betrachtenden chloridhaltigen Wässer, deshalb weiter erhöht werden. Darüber hinaus kann ein Hinzulegen bestimmter anderer Elemente erfolgen, wie zum Beispiel von Stickstoff (N), um damit die Festigkeit ohne Beeinträchtigung der Duktilität zu erhöhen. Zugleich erhöht Stickstoff die Beständigkeit gegenüber Lochkorrosion auch in chloridhaltigen Wässern.

Daneben ist als herstellungsbedingte Beimengung immer etwas Kohlenstoff (C) vorhanden. Dieser kann insbesondere nach dem Schweißen zu interkristalliner Korrosion führen, sofern er nicht sehr niedrig gehalten wird oder durch die Zugabe von Titan (Ti) oder alternativ Niob (Nb) abgebunden ist. Man bezeichnet diese Werkstoffe dann als stabilisiert. Umgekehrt dient Kohlenstoff jedoch auch als Legierungselement, um mittels einer Wärmebehandlung (Vergütung) eine besonders hohe Festigkeit erzielen zu können [1].

Nichtrostende Stähle sind unentbehrliche Werkstoffe für alle Einsatzbereiche, in denen es insbesondere auf Beständigkeit gegenüber unterschiedlichen Korrosionsbeanspruchungen und auf hygienisch einwandfreie Oberflächen ankommt. Ihr ansprechendes Erscheinungsbild prädestiniert sie darüber hinaus auch für zahlreiche dekorative Anwendungen. Bei sachgerechter Werkstoffwahl und sorgfältiger Verarbeitung sind nichtrostende Stähle in der hier zu betrachtenden Anwendung in Wässern [3] wartungsarm und langlebig. Sie sind darüber hinaus vollständig recyclingfähig und damit ausgesprochen nachhaltige Werkstoffe.

Um die Erwartungen an die besondere Korrosionsbeständigkeit der nichtrostenden Stähle in chloridhaltigen Wässern sicher zu erfüllen, sollen nachstehend einige Voraussetzungen hierfür erläutert werden, ebenso wie die Gesichtspunkte, die für eine anwendungsgerechte Werkstoffauswahl und eine werkstoffgerechte Bauteilauslegung und -fertigung zu beachten sind.

Anschließend wird in Auswahl auf einige häufige Anwendungsfälle eingegangen und über die dort bisher vorliegenden Erfahrungen berichtet. Die entsprechenden Referenzen sowie die einschlägigen Normen, Richtlinien und vertiefende Publikationen werden im Literaturnachweis aufgeführt.

2 Beständigkeit von Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern und maßgebende Einflussgrößen

2.1 Allgemeines

Für die Beständigkeit der nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle in chloridhaltigen Wässern sind einige uneingeschränkt positive Aussagen möglich: Edelstahl Rostfrei ist mit den in **Tabelle 1** aufgeführten Sorten in Trinkwasser und Wässern ähnlicher chemischer Zusammensetzung, in Oberflächenwässern einschließlich Meerwasser, Heizungs- und Kühlwässern **gegen Flächenkorrosion**, wie man sie von unlegierten Stählen, Kupfer, Zink etc. kennt, **beständig**. Abgesehen von möglichen Verschmutzungen bleibt das metallisch-blanke Aussehen der nichtrostenden Stähle im Betrieb erhalten. Die Beständigkeit wird auch durch saure Wasserinhaltsstoffe in weiten Bereichen nicht beeinträchtigt. So ist Edelstahl Rostfrei beispielsweise in kohlenstaurereichen Mineralwässern mit einem pH-Wert von etwa 4 beständig. Aufgrund der sicheren Beständigkeit gegen Flächenkorrosion spielt diese in der Praxis beim Einsatz von nichtrostenden Stählen in Wässern keine Rolle [4]. Auch ist **Interkristalline Korrosion** bei den nichtrostenden korrosionsbeständigen Stählen im Fall geeigneter Werkstoffauswahl und korrekter Verarbeitung sicher vermeidbar. So gilt, dass die austenitischen nichtrostenden Stähle mit einem niedrigen Kohlenstoffgehalt ($\leq 0,03\%$ C) und die mit Titan oder Niob stabilisierten Stähle auch bei größeren Wanddicken (> 6 mm) hier ohne Wärmenachbehandlung beständig sind. Diese Edelstahlsorten sollten deshalb für geschweißte Bauteile bevorzugt werden [5]. Auch die in **Tabelle 1** aufgeführten ferritischen nichtrostenden Stähle 1.4509, 1.4510, 1.4511 und 1.4521 und ebenso die dort genannten austenitisch-ferritischen Duplexstähle 1.4062, 1.4162, 1.4362, 1.4462, 1.4501 und 1.4410 sind gemäß DIN EN 10088-2 [6] im geschweißten bzw. sensibilisierten Zustand (siehe

Abschnitt 2.4.2) in den dort genannten Erzeugnisformen und Abmessungen gegen interkristalline Korrosion bei Prüfung nach EN ISO 3651-2 [7] beständig. Gegenüber **Erosionskorrosion** weisen nichtrostende Stähle in Wässern eine vergleichsweise hohe Beständigkeit auf, so dass ihre Anwendung auch im Fall hoher Fließgeschwindigkeiten bis herauf zu beispielsweise 30 m/s [8] in Betracht gezogen werden kann.

In den hier zu betrachtenden chloridhaltigen Wässern wird **Spannungsrisskorrosion** an austenitischen nichtrostenden Stählen der Gruppen 1 und 2 in **Tabelle 1** in der Regel, d.h. bei korrekter Verarbeitung und unter Vermeidung extremer Kaltverformungsgrade,

im Allgemeinen nur oberhalb von Temperaturen von etwa 50 bis 60 °C beobachtet [9]. Als beständigere Alternativen kommen höher legierte austenitische nichtrostende Stähle, also solche der Gruppen 3 und 4 in **Tabelle 1**, austenitisch-ferritische oder ferritische nichtrostende Stähle in Betracht [9].

Zur Vermeidung von **örtlicher Korrosion in der Form von Loch- und Spaltkorrosion** in chloridhaltigen Wässern ist jedoch eine Vielzahl von Einflussgrößen zu betrachten. Es sind im Einzelnen:

- werkstoffbedingte Einflussgrößen,
- wasserseitige Einflussgrößen,
- bauseitige Einflussgrößen, getrennt nach den konstruktiven Vorgaben und den fertigungsseitigen Ein-

- flussgrößen,
- betriebliche Einflussgrößen.

2.2 Werkstoffbedingte Einflussgrößen

Einige der für die Handhabung chloridhaltiger Wässer zu betrachtenden nichtrostenden Stähle sind in **Tabelle 1** genannt. Wie man erkennt, sind die Stähle dabei neben ihrer jeweiligen EN Werkstoff-Nummer mit einem Kurznamen (z.B. X5CrNi18-10) bezeichnet [10]. Dieser Kurzname setzt sich aus dem Kennbuchstaben für legierte Stähle X, einer Zahl, die dem Hundertfachen des mittleren Massenanteils an Kohlenstoff entspricht, den chemischen Symbolen der den Stahl

Stahlgruppe	Gefüge	EN Werkstoff-Nr.	EN Kurzname	WS/ PRE(N)
1	Ferritisch	1.4016	X6Cr17	17
		1.4510	X3CrTi17	17
		1.4511	X3CrNb17	17
		1.4509	X2CrTiNb18	18
	Martensitisch	1.4057	X17CrNi16-2	16
		1.4122	X39CrMo17-1	20
	Austenitisch (V2A)	1.4541	X6CrNiTi18-10	18
		1.4301	X5CrNi18-10	19
		1.4307	X2CrNi18-9	19
		1.4306	X2CrNi19-11	19
2	Ferritisch	1.4521	X2CrMoTi18-2	26
	Duplex	1.4062	X2CrNiN22-2	27
		1.4162	X2CrMnNiN21-5-1	27
		1.4362	X2CrNiN23-4	26
		Austenitisch (V4A)	1.4401	X5CrNiMo17-12-2
	1.4404		X2CrNiMo17-12-2	25
	1.4571		X6CrNiMoTi17-12-2	25
	1.4435		X2CrNiMo18-14-3	27
3	Duplex	1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	34
	Austenitisch	1.4439	X2CrNiMoN17-13-5	38
		1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	35
4	Superduplex	1.4501	X2CrNiMoCuWN25-7-4	41
		1.4410	X2CrNiMoN25-7-4	42
	Austenitisch (Superaustenit)	1.4547	X1CrNiMoCuN20-18-7	48
		1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	47
		1.4565	X2CrNiMnMoN25-18-6-5	53
		1.4562	X1NiCrMoCu32-28-7	54

Tabelle 1: Für die Handhabung chloridhaltiger Wässer zu betrachtende nichtrostende Stähle und ihre Wirksumme. Zur Errechnung dieser gerundet angegebenen Wirksummen wurden mittlere Werte, vorzugsweise aus den in den einschlägigen Regelwerken, wie beispielsweise DIN EN 10088-1 [10] genannten Zusammensetzungen angenommen.

kennzeichnenden Legierungselemente, sowie Zahlen, die in der Reihenfolge der kennzeichnenden Legierungselemente deren mittlere Massenanteile angeben, zusammen. Die in **Tabelle 1** vorgenommene Einteilung der Edelstähle in Gruppen wird in den nachfolgenden Ausführungen erläutert.

In der rechten Spalte von **Tabelle 1** ist die so genannte Wirksumme WS (englisch Pitting Resistance Equivalent Number PRE oder PREN) angegeben, die sich gemäß der Formel

$$WS = \% Cr + 3,3 \% Mo + x \% N$$

aus den Massenanteilen der Legierungselemente Chrom, Molybdän und Stickstoff errechnet. Im Gegensatz zu den Wirksummenfaktoren für Chrom und Molybdän hängt derjenige für Stickstoff stark von der Stahlgrundzusammensetzung ab. Ein Wert von 30 kommt nur bei sehr hochlegierten austenitischen nichtrostenden Stählen zum Tragen. Bei austenitischen nichtrostenden Standardstählen der Typen 18/8-CrNi oder 17/12/2-CrNiMo ließ sich dagegen kein nutzbarer Stickstoffeffekt zur Erhöhung der Loch- und Spaltkorrosionsbeständigkeit feststellen. Bei austenitisch-ferritischen nichtrostenden Stählen wird dem Stickstoff meist ein Wirksummenfaktor 16 zugeordnet [9].

Die Zunahme der Beständigkeit gegenüber Loch- und Spaltkorrosion mit der Wirksumme gilt auch für chloridhaltige Wässer. Es sei aber betont, dass es sich dabei um eine empirisch gefundene Regel handelt, von der Abweichungen möglich sind. Sie ist deshalb nicht mehr als eine Orientierungshilfe und keine Gesetzmäßigkeit mit definierten Randbedingungen [11]. Die Beziehung gilt auch nur für Werkstoffe mit einem im Lieferzustand üblichen homogenen Gefüge ohne Defekte oder Ungängen, welche Lochkorrosion begünstigen könnten. Sie hat insbesondere auch einen sich nicht in einem nennenswerten Ausmaß von Sulfideinschlüssen äußern den geringen Schwefelgehalt zur Voraussetzung. Es hat sich in diesem Zusammenhang bewährt, bei besonders hohen Anforderungen an Loch- und Spaltkorrosionsbeständigkeit den Schwefelgehalt der hier zur Verwen-

dung kommenden Werkstoffe auf maximal 0,005 % (50 g/t) zu begrenzen [12]. Die bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse [12] lassen jedenfalls erwarten, dass darüber hinaus gehende Schwefelgehalte bereits zu einer messbaren Verminderung der Lochkorrosionsbeständigkeit führen können.

Betrachtet man unter dem Aspekt der Wirksummen die vier verschiedenen Stahlgruppen in **Tabelle 1**, so erkennt man, dass die Stahlgruppe 1 mittlere Wirksummen von 16 bis 20 umfasst, Stahlgruppe 2 dagegen Wirksummen von 25 bis 27, Stahlgruppe 3 von 34 bis 38 und Stahlgruppe 4 von 41 bis 54. Dementsprechend ist zu erwarten, dass mit steigender Gruppennummer die Beständigkeit gegen Loch- und Spaltkorrosion in chloridhaltigen Wässern zunimmt.

Die Stahlgruppe 1 enthält neben dem heute in vielen Anwendungen zu findenden ferritischen nichtrostenden Stahl 1.4016 und dem stabilisierten ferritischen nichtrostenden Stahl 1.4509 die beiden stabilisierten ferritischen Chromstähle 1.4510 und 1.4511, die sich laut Anhang A zu DIN EN 10312 [13] für geschweißte Rohre aus nichtrostenden Stählen für den Transport wässriger Flüssigkeiten verwenden lassen, und die damit unter Berücksichtigung der in DIN EN 12502-4 [14] hierfür genannten Einschränkungen für Wasserverteilungs- und Speichersysteme in Betracht gezogen werden können. Danach sind in **Tabelle 1** beispielhaft zwei nichtrostende martensitische korrosionsbeständige Stähle genannt, die als Langprodukte beispielsweise für Pumpenwellen, Spindeln, Ventile und Armaturen Verwendung finden. Der Stahlgruppe 1 gehören auch die in **Tabelle 1** dort aufgeführten vier molybdänfreien austenitischen nichtrostenden Stähle an. Die Stahlgruppe 2 enthält neben einem molybdänlegierten ferritischen nichtrostenden Stahl die in **Tabelle 1** genannten molybdänhaltigen austenitischen nichtrostenden Stähle, daneben sind drei Duplexstähle benannt. Die Stahlgruppe 3 enthält zwei höher legierte Austenite und mit 1.4462 einen Duplexstahl. Die Stahlgruppe 4 umfasst die sehr hoch legierten austenitischen nichtrostenden Stähle und

mit 1.4501 sowie 1.4410 zwei Superduplexstähle.

Die Unterschiede zwischen ferritischem Gefüge, austenitisch-ferritischem Duplexgefüge und austenitischem Gefüge sind für die Beständigkeit gegenüber Loch- und Spaltkorrosion nicht maßgebend, denn diese folgt im Fall homogener und störungsfreier Gefüge (s.o.) ausschließlich der chemischen Zusammensetzung gemäß der Wirksumme WS.

Nichtrostende Stähle der **Stahlgruppe 1** sind für Trinkwässer und Industrierwässer mit mäßigem Chloridionengehalt geeignet. Aus DIN EN 12502-4 [14] lässt sich für die molybdänfreien ferritischen und austenitischen nichtrostenden Stähle in Wasserverteilungs- und Speichersystemen für Lochkorrosionsanfälligkeit im Kaltwasserbereich ein bei ungefähr 200 mg/l liegender Chloridionengehalt als Grenzwert ableiten. Dieser gilt auch für den Abwasserbereich. Oberhalb dieses Grenzwerts ist in Kaltwasser die Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion hoch. In Warmwasser ist der Grenzwert niedriger und liegt dort gemäß [14] eher im Bereich von etwa 50 mg/l. Es sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass diese Aussagen für die Lochkorrosion gelten, während die kritischen Gehalte für das Auftreten von Spaltkorrosion deutlich niedriger liegen als diejenigen für Lochkorrosion (vgl. Abschnitt 2.3.1). Die in **Tabelle 1** für die Stahlgruppe 1 angegebenen Wirksummen weisen darauf hin, dass man von den ferritischen nichtrostenden Stählen dieser Gruppe im Mittel eine etwas geringere Beständigkeit gegen Loch- und Spaltkorrosionsangriff erwarten könnte als von den austenitischen nichtrostenden Stählen dieser Gruppe. Vor allem aber ist darauf hinzuweisen, dass bei den nickel- und molybdänfreien ferritischen nichtrostenden Stählen ein einmal begonnener Loch- oder Spaltkorrosionsangriff rascher fortschreitet als bei den mit Nickel legierten austenitischen nichtrostenden Stählen dieser Gruppe [15].

Die Edelstähle der **Stahlgruppe 2** eignen sich für Trink- und Industrierwässer mit erhöhtem Chloridionengehalt im Kaltwasserbereich oder mit mäßi-



Bild 1: Edelstahl Rostfrei in Einrichtungen zur Abwasserbehandlung (Foto: Huber SE, Berching)

gem Chloridionen-Gehalt bei erhöhten Temperaturen, also beispielsweise für Trinkwasser im Warmwasserbereich.

Die Edelstähle der **Stahlgruppe 3** mit den zwischen 34 und 38 liegenden Werten für die Wirksumme eignen sich für Brauch- und Kühlwässer mit verhältnismäßig hohen Chloridionen-Gehalten.

Die Edelstähle der **Stahlgruppe 4** mit den über 40 liegenden Werten für die Wirksumme eignen sich für die Handhabung von Meerwasser, Solen und Brackwasser, wobei die Beständigkeit gegenüber Loch- und Spaltkorrosion mit zunehmender Wirksumme in diesem Bereich ansteigt, beispielsweise zu höheren Temperaturen, wie nachfolgend noch gezeigt wird. Unter besonders kritischen Anwendungsbedingungen wie beispielsweise in meerwassergekühlten Plattenwärmetauschern reichen jedoch auch diese Stähle vielfach nicht aus, und es muss auf hochkorrosionsbeständige Nickellegierungen wie NiCr23Mo16Al (2.4605) oder Titan übergegangen werden.

Aus den eingangs erwähnten erforderlichen Einschränkungen für den Gehalt an Schwefel folgt zwangsläufig, dass so genannte Automatenstähle mit erhöhten Anteilen an Schwefel wie beispielsweise der nichtrostende korrosionsbeständige Stahl 1.4305 nicht ständig Wässern ausgesetzt werden dürfen.

Den mit Titan stabilisierten austenitischen nichtrostenden Stählen 1.4541 und 1.4571 wird zuweilen eine etwas geringere Lochkorrosionsbeständigkeit nachgesagt als vergleichbaren, aber nicht mit Titan stabilisierten Werkstoffen [16]. Tatsächlich besagt die technische Literatur [17,18], dass die Anwesenheit von Titan in nichtrostendem Stahl die Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion erhöhen kann. Allerdings lehrt die Erfahrung, dass für die Praxis in der Regel von einer Gleichwertigkeit des Lochkorrosionsverhaltens der mit Titan stabilisierten und der nicht mit Titan stabilisierten Werkstoffe ausgegangen werden kann.

2.3 Wasserseitige Einflussgrößen

2.3.1 Chloridionen

Bei der Auswahl nichtrostender Stähle für die Anwendung in Wässern ist der Gehalt an Chloridionen (Cl^-) das wichtigste Kriterium. Die jeweils zulässigen Höchstwerte hängen nicht nur werkstoffseitig wie vorstehend beschrieben vom Typ des Stahls ab, sondern zugleich auch wasserseitig von den Einflussgrößen 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^{2-} , ClO_4^- abnimmt [19].

In der neueren Literatur [20] vorzufindende Angaben für die zulässigen Cl^- -Höchstwerte in reinem Wasser sollten zunächst immer nur als Anhaltswerte aufgefasst 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. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Lochkorrosion und Spaltkorrosion. In beiden Fällen sinken die Grenzen für die zulässigen Temperaturen in den meisten Wässern mit steigendem Chloridionen-Gehalt. Im Fall der Spaltkorrosion ist die Spaltform ebenfalls von Bedeutung. Enge Spalte sind problematisch. Sie können zwischen Metall und Kunststoff, unter eingetragenen Sedimenten oder unter Ablagerungen von Korrosionsprodukten entstehen.

Eine Auswertung jahrzehntelanger praktischer Erfahrung [21] deutet darauf hin, dass nichtrostende Stähle der Stahlgruppe 1, also beispielsweise der in **Tabelle 1** aufgeführte nichtrostende Stahl 1.4307, im Kaltwasserbereich für die Handhabung von Wässern mit Chloridionen-Gehalten bis etwa 200 mg/l hinreichend beständig gegen Lochkorrosionsangriff sind. Das spiegelt sich wider in DIN EN 12502-4 [14]. Diese Norm besagt unter anderem, dass bei molybdänfreien ferritischen und austenitischen Sorten in Kaltwasser die Korrosionswahrscheinlichkeit für Lochkorrosion erhöht ist, wenn die Konzentration an Chloridionen über etwa

6 mmol/l (ca. 200 mg/l) liegt, und dass in erwärmtem Wasser diese kritische Konzentration niedriger liegt, etwa im Bereich von 1,5 mmol (ca. 50 mg/l), abhängig auch von anderen Einflussgrößen.

Spaltkorrosion kann gemäß DIN EN 12502-4 [14] allerdings bei molybdänfreien Sorten in kaltem Wasser selbst bei Chloridionen-Gehalten deutlich unter 200 mg/l auftreten. 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 [14], 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 in **Tabelle 1**, also beispielsweise der nichtrostende Stahl 1.4307, nicht in allen Wässern, die nach der europäischen Richtlinie 98/83/EG als Trinkwasser gelten, und die bis zu 250 mg/l Chloridionen enthalten können, vollkommen beständig gegen Loch- und Spaltkorrosion. Daher dürfen in Deutschland in der Trinkwasser-Hausinstallation nur Stähle aus **Tabelle 1**, Gruppe 2, d.h. beispielsweise der nichtrostende Stahl 1.4404 eingesetzt werden.

Für die Werkstoffe der Stahlgruppe 2 in **Tabelle 1** im Kaltwasserbereich lässt sich auf Grund der Auswertung [21] von Literaturangaben für den Einfluss des Chloridionen-Gehalts vermuten, dass bis zu einer Obergrenze von wenigstens 1000 mg/l die Wahrscheinlichkeit von Lochkorrosion gering sein dürfte. Im Fall von Betriebsbedingungen wie bei einer Trinkwasserinstallation, das heißt unter anderem beim Vorhandensein von Flanschdichtungen, Steckverbindern oder Pressfittings sowie Stagnation als vorherrschendem Betriebszustand sowohl im Kalt- als auch im Warmwasserbereich ist für eine hinreichend geringe Wahrscheinlichkeit von Loch- und Spaltkorrosion dagegen eher eine Obergrenze von etwa 500 mg/l anzunehmen [4]. Darüber ist die Verwendung höher legierter Werkstoffe in Betracht zu ziehen, wie in den Abschnitten 3.3.1 und 3.3.2 im Einzelnen erörtert wird.

2.3.2 Andere gelöste oder zugesetzte Wasserinhaltsstoffe

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 beispielsweise in Abwasserbehandlungsanlagen anzutreffen sind, beständig [22]. Chlorgehalte von 2 mg/l in gechlortem Süßwasser führten bei nichtrostenden Stählen der Sorten 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 nichtrostenden Stählen der Sorten 1.4301 und 1.4307 (AISI 304 und 304L) Spaltkorrosion aus; bei der Sorte 1.4404 (AISI 316 L) hingegen in weit geringerem Maße [23]. Daher liegt die Sorte 1.4404 (316L) in derartigen Anwendungen eher auf der sicheren Seite [23].

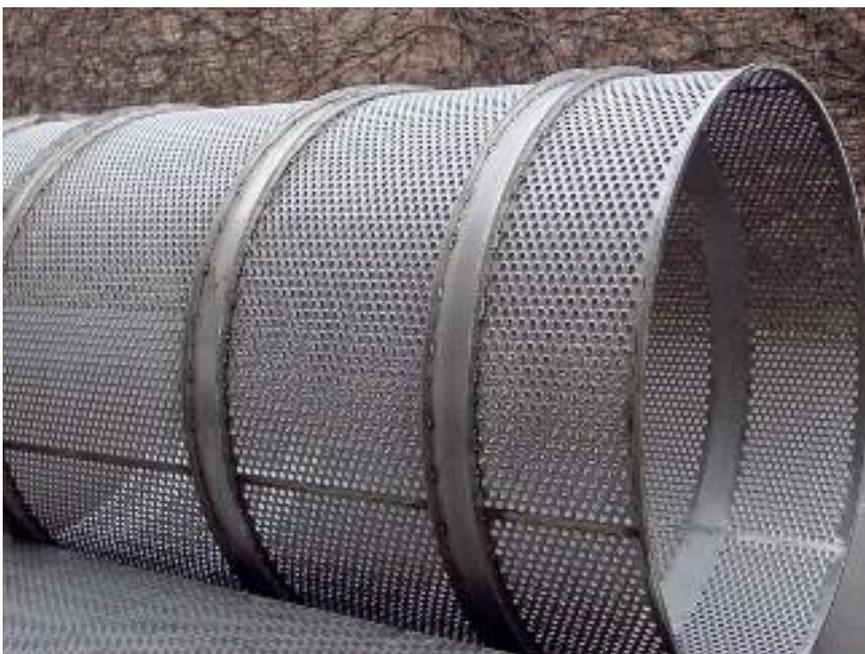


Bild 2: Auflösetrommel aus nichtrostendem Stahl zur Aufbereitung von graphischem Altpapier (Foto: Heinz Gothe GmbH, Mönchengladbach)

Auf Wasserinhaltsstoffe, die für Abwasserbehandlung typisch sind, wird in den diesen Anwendungsfall behandelnden Schriften [3,21,24] und in Abschnitt 3.2.2 eingegangen.

2.4 Bauseitige Einflussgrößen

2.4.1 Konstruktive Vorgaben

Für die Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle gegenüber Wässern ist die Vermeidung von Spalten wichtig. Sind sie unvermeidbar, sollten sie möglichst weit sein. Spalte mit einer Weite von mehr als 0,5 mm gelten gemäß DIN EN 12502-4 [14] im Allgemeinen als unkritisch. Auch sind Metall/Metall-Spalte in der Regel weniger kritisch als Metall/Kunststoff-Spalte. Sind Spalte unvermeidbar, lässt sich die erhöhte Korrosionsgefahr in der Regel durch Wahl eines beständigeren Werkstoffs auffangen.

In Hinblick auf die Vermeidung von Spaltkorrosion ist die Vermeidung von Ablagerungen wichtig. Deshalb sollten die konstruktiven Vorgaben erforderlichenfalls eine hierfür ausreichende Mindest-Strömungsgeschwindigkeit vorschreiben. Im Fall der Handhabung von Schlämmen sollte die Konstruktion keine strömungstechnischen Toträume vorsehen, in denen sich Ablagerungen ansammeln könnten.

Für die Handhabung chloridhaltiger Wässer werden nichtrostende Stähle häufig gemeinsam mit anderen Werkstoffen verbaut, so dass sich die Frage nach der Verträglichkeit stellt [25]. Sobald zwei metallische Materialien 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, - zu den wenigen Ausnahmen gehören beispielsweise Grafit in Dichtungen sowie Aktivkohle in Filtern, - und korrodiert daher selbst nicht. Das unedlere Part-

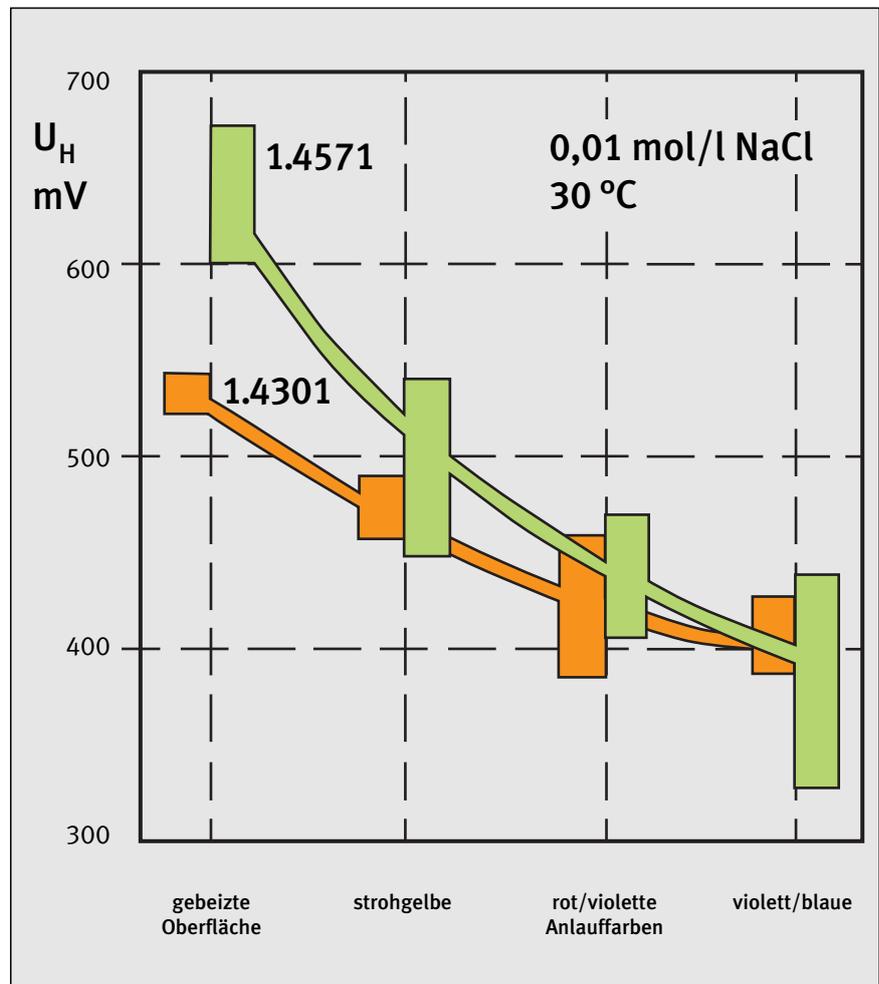


Bild 3: Lochkorrosionspotential als Funktion des Oberflächenzustands für zwei nichtrostende austenitische Stähle, nach A.S.M. Diab u. W. Schwenk, *Werkstoffe und Korrosion* 44 (1993) 367-372 [27].

nermetall kann z.B. der Zinküberzug bei 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 [20,25].

Bei Verbindungselementen aller Art, wie Flanschen, Klemm- und Pressfittingen oder Muffen ist ferner darauf zu achten, dass Dichtungswerkstoffe gewählt werden, aus denen keine oder nur geringe Mengen an Chlorid freigesetzt werden können.

2.4.2 Fertigungsseitige Einflussgrößen

In der Fertigung kann es unter anderem zu einer Erhöhung der Korrosionswahrscheinlichkeit von Lochkorrosion als Folge einer Sensibilisierung kommen. Unsachgemäße Wärmebehand-

lungen oder Schweißprozesse, bei denen der Werkstoff für eine längere Zeit im Temperaturbereich von 500 °C bis 800 °C verbleibt, führen zur Ausscheidung chromreicher Karbide auf den Korngrenzen und einer entsprechenden Chromverarmung in den korngrenzennahen Bereichen. Diese Werkstoffveränderung wird als Sensibilisierung bezeichnet. Eine Sensibilisierung kann mit einer Prüfung nach DIN EN ISO 3651-2 als interkristalline Korrosion nachgewiesen werden. Im Fall einer Beanspruchung durch chloridhaltige Wässer kann die Sensibilisierung aber auch eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion in den korngrenzennahen Bereichen zur Folge haben. Wie aus den Bemerkungen zur interkristallinen Korrosion in Abschnitt 2.1 hervorgeht, wird eine Sensibilisierung der nichtrostenden austenitischen korrosionsbeständigen Stähle in der Regel vermieden, wenn beim Schweißen dicker Querschnitte, - über 6 mm Blechdicke, - oder anderweitigem entsprechenden Wärmeeinbringen wäh-

rend der Verarbeitung Werkstoffe mit max. 0,03 % Kohlenstoff verwendet werden, also beispielsweise die Edelstähle 1.4307 und 1.4404, oder wenn hier alternativ die mit Titan stabilisierten Edelstähle 1.4541 und 1.4571 Verwendung finden. Wie aus Abschnitt 2.1 gleichfalls hervorgeht, sollten hier auch die in **Tabelle 1** aufgeführten ferritischen nichtrostenden Stähle 1.4509, 1.4510, 1.4511 und 1.4521 und ebenso die dort genannten austenitisch-ferritischen Duplexstähle 1.4062, 1.4162, 1.4362, 1.4462, 1.4501 und 1.4410 gemäß DIN EN 10088-2 [6] im geschweißten oder durch anderweitige Wärmebehandlung sensibilisierten Zustand in den dort genannten Erzeugnisformen und Abmessungen beständig sein.

Ferner hat die Oberflächenbeschaffenheit einen wesentlichen Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit. Die höchste Beständigkeit wird mit einer sauberen und metallisch blanken Oberfläche erzielt, die darüber hinaus frei ist von Spalten und spaltähnlichen Erscheinungen wie Einbrandkerben und Poren als Schwachstellen für das Entstehen von Spaltkorrosion. Unter anderem ist also besonders auf werkstoffgerechtes Schweißen zu achten. Erfahrungsgemäß weisen mechanisierte Schweißungen mit ausreichender Schutzgashinterführung und Vermeidung von Kantenversatz größere Korrosionsbeständigkeit auf als Handschweißungen. An Schweißverbindungen sind jegliche Anlauffarben, Verzunderungen, Spritzer und Schlackenreste sorgfältig zu entfernen, und es ist auf einwandfreie Wurzel-durchschweißung zu achten. Die Bildung von Oxid- und Zunderschichten ist durch angepasste Schutzgaszufuhr möglichst zu verhindern. Oxidfilme mit dunkleren Farben als strohgelb erhöhen laut DIN EN 12502-4 [14] die Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion. Sie können durch Beizen (mit Beizsubstanzen, die keine Salzsäure enthalten), Feinschleifen oder Kugelstrahlen, z.B. mit Glasperlen, entfernt werden. Unter kritischen Bedingungen (abhängig z.B. von Werkstoff, Wasserzusammensetzung und Temperatur) können laut DIN EN 12502-4 [14] jedoch auch strohgelbe Oxidfilme schon die Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion erhöhen.

In diesem Sinn zeigt **Bild 3** das Lochkorrosionspotential zweier nichtrostender austenitischer Stähle in einem chloridhaltigen Wasser in Abhängigkeit von der Intensität der Anlauffarben [26]. Dieses Lochkorrosionspotential ist ein Maß für die Lochkorrosionsbeständigkeit. Man erkennt, dass das Lochkorrosionspotential mit zunehmender Intensität der Anlauffarben hier zunächst stark und sodann schwächer abfällt. Aus dieser Darstellung wird zugleich deutlich, dass bereits gelbe Anlauffarben ausreichen, um die Lochkorrosionsbeständigkeit des Edelstahl 1.4571 auf diejenige des Edelstahl 1.4301 zu vermindern. Ob gelbe Anlauffarben noch zulässig sind oder nicht, hängt demnach alleine von der Höhe der jeweiligen Korrosionsbeanspruchung ab.

Im Sinne der vorstehenden Ausführungen versteht es sich, dass Heftschweißstellen ebenfalls Bereiche erhöhter Korrosionswahrscheinlichkeit darstellen, sofern nicht nach dem Schweißen in ausreichendem Maß gebeizt wird.

Auch die mikrobiologisch beeinflusste Korrosion nichtrostender Stähle in chloridhaltigen Wässern setzt in der Regel dort ein, wo eine verarbeitungsbedingte Schwächung der Korrosionsbeständigkeit durch Anlauffarben auf und neben den Schweißverbindungen vorliegt [28]. Charakteristisch für die mikrobiologisch beeinflusste Korrosion nichtrostender Stähle ist eine Begünstigung insbesondere der Loch- und in geringerem Umfang auch der Spaltkorrosion. Das Ausmaß der durch mikrobiologische Beeinflussung hervorgerufenen Verschärfung dieser Korrosionsbeanspruchungen kann sehr unterschiedlich sein. Die Maßnahmen zur Vermeidung mikrobiologisch beeinflusster Korrosion nichtrostender Stähle sind im Prinzip jedoch die gleichen wie diejenigen für die Vermeidung von Loch- und Spaltkorrosion auch ohne die Anwesenheit von Mikroben, sie müssen allerdings mit bedeutend mehr Konsequenz angewendet werden. Wie die Praxis zeigt, gilt es vor allem, die Bildung von Anlauffarben beim Schweißen nichtrostender Stähle unnachlässig und kompromisslos zu vermeiden oder diese vollständig und gründlich zu entfernen, am besten durch eine Beizung im Vollbad.

Flanschverbindungen sind erfahrungsgemäß weniger gefährdet als unvollkommene Schweißverbindungen, jedoch sollen auch diese so wenig an engen Spalten wie möglich und geflechtfreie Dichtungen aufweisen.

Die Entfernung der Anlauffarben und die Vermeidung von Spalten erhöhen den Widerstand gegen mikrobiologisch beeinflusste Korrosion und andere Formen örtlicher Korrosion in chloridhaltigen Wässern in bedeutendem Ausmaß [22,28]. In gleicher Weise müssen Metallabrieb, der beim Bearbeiten vom Werkzeug auf die Metalloberfläche gelangt ist, und alle fest haftenden Ablagerungen anderer Art wie z.B. Fremdstoffe sorgfältig entfernt werden. Art und Umfang ggf. zu ergreifender Reinigungsmaßnahmen hängen von der Art der Oberflächenbeeinträchtigung ab und können sehr unterschiedlich ausfallen [29].

Entfernt man Oxidfilme oder Zunderschichten im Bereich von Schweißnähten jedoch durch grobes Schleifen, werden in einer oberflächennahen Schicht des Werkstoffs Aufhärtungen und Zugeigenspannungen erzeugt. Diese führen in chloridhaltigen Wässern dann zu einer erhöhten Korrosionswahrscheinlichkeit für transkristalline Spannungsrisskorrosion. Die durch grobes Schleifen geschädigte oberflächennahe Schicht kann durch Beizen abgetragen werden.

Durch Kugelstrahlen werden in einer oberflächennahen Schicht Druckeigenspannungen erzeugt und Zugeigenspannungen verringert. Dadurch wird die Korrosionswahrscheinlichkeit für Spannungsrisskorrosion verringert. Wenn jedoch das Strahlgut Verunreinigungen aus Kohlenstoffstahl enthält, werden diese in die Oberfläche des nichtrostenden Stahles eingedrückt und erhöhen die Korrosionswahrscheinlichkeit. In Zweifelsfällen ist ein nochmaliges Strahlen mit frischem Strahlgut nicht hilfreich; der geeignete Weg, die Oberfläche zu reinigen, ist, sie zu beizen.

Es ist stets im Auge zu behalten, dass nicht nur die Anlauffarben, sondern auch die unmittelbar darunter liegende, an Chrom verarmte metallische Oberflächenschicht mit entfernt werden muss. Höchste Lochkorrosions-

beständigkeit kann mit elektrochemischem Polieren erzielt werden. Für eine weitergehende Erörterung der erforderlichen Oberflächenbehandlung nach dem Schweißen sei auf [26] verwiesen.

Löten kann für Bauteile, die bestimmungsgemäß ständig Wässern ausgesetzt sind, wegen der Gefahr der Messerschnittkorrosion nicht empfohlen werden [4]. Aus diesem Grunde sind auch Lötverbindungen bei nichtrostendem Stahl in der Trinkwasser-Hausinstallation gemäß dem hier gültigen Regelwerk (vgl. Abschnitt 3.1.1) untersagt.

2.5 Betriebliche Einflussgrößen

Eine wichtige betriebliche Einflussgröße ist der Strömungszustand. In strömenden Wässern ist die Korrosionsbeständigkeit immer relativ hoch, während in Stagnationsphasen Lochkorrosion eingeleitet werden kann. Somit empfiehlt es sich, bei Wasserverteilungs- und Speichersystemen die Zeiten zwischen Druckprüfung und Inbetriebnahme möglichst kurz zu halten. Auf jeden Fall sollten die Systeme nach einer Dichtheitsprüfung vollständig mit Wasser gefüllt gelassen werden [30].

Mit der Strömungsgeschwindigkeit in Zusammenhang stehen kann darüber hinaus die Bildung von Ablagerungen, unter denen die Gefahr von Spaltkorrosion gegeben ist. Wirksame Vorkehrungen bestehen hier vor allem in einer regelmäßigen gründlichen Reinigung und Spülung der Anlagenteile und Abwasserleitungen. Wo Schlämme zu handhaben sind, sollte zur Vermeidung von Ablagerungen die Strömungsgeschwindigkeit hinreichend hoch gehalten werden und über beispielsweise etwa 1 m/s liegen [22].

Im Fall sehr hoher Mediengeschwindigkeiten kann die Strömungsgeschwindigkeit sogar zu einem dominierenden Faktor für die Beständigkeit der nichtrostenden Stähle in chloridhaltigen Wässern werden. Der Einfluss sehr hoher Mediengeschwindigkeiten wurde in Versuchen mit rotierenden Scheiben am nichtrostenden Stahl

1.4301 in 1 n und 3 n NaCl-Lösung ermittelt [31]. Dabei zeigte sich, dass sehr hohe Fließgeschwindigkeiten das Lochkorrosionspotential des nichtrostenden Stahls in chloridhaltigen Wässern derartiger Konzentrationen erheblich erhöhen können. Eine solche Abhängigkeit des Lochkorrosionspotentials von der Fließgeschwindigkeit kann im Fall von Pumpenkomponenten ein entscheidender Faktor für die Beständigkeit der dort eingesetzten nichtrostenden Stähle in chloridhaltigen Wässern sein [32].

Von Einfluss ist darüber hinaus die Temperatur. Generell nimmt die Lochkorrosionsbeständigkeit mit ansteigender Temperatur ab. Nimmt aber durch die Temperaturerhöhung die Konzentration der Oxidationsmittel ab, liegt auch eine relativ geringe Temperaturabhängigkeit der Lochkorrosionsbeständigkeit vor.

Da die Initiierung von Lochkorrosion vom Potential abhängt, nimmt die Korrosionswahrscheinlichkeit nichtrostender Stähle bei Erhöhung des Redoxpotentials des Wassers zu, z.B. als Folge einer Chlorung oder einer oxidierenden Desinfektion neuer Rohrleitungssysteme. In Abschnitt 2.3.2 finden sich hierzu einige praxisrelevante Angaben. Umgekehrt kann die Korrosionsbeständigkeit der nichtrostenden Stähle in chloridhaltigen Wässern durch eine kathodische Polarisation erhöht werden. Dabei muss das Potential unter das Loch- oder Spalt-

korrosionspotential abgesenkt werden. Dazu genügt unter Umständen schon ein einbaubedingter Kontakt mit unlegiertem Stahl. Ein solcher kann dann beispielsweise einen nichtrostenden austenitischen Stahl aus der Gruppe 2 in **Tabelle 1** in Meerwasser mit seinem sehr hohen Chloridionen-Gehalt von etwa 20000 mg/l beständig gegen Spaltkorrosion machen oder erscheinen lassen [33].

3 Anwendungsfälle

3.1 Trinkwasser-Installation

3.1.1 Allgemeine Hinweise

Die Trinkwasser-Installation unterliegt hygienischen Anforderungen, die aus der EU-Richtlinie 98/83/EG über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch [34] hervorgehen. Diesen Anforderungen trägt das in Deutschland gültige technische Regelwerk Rechnung. Dieses Regelwerk besteht aus dem umfangreichen DIN 1988-Normenbündel [35], welches durch Teile der EN 806 ersetzt wurde bzw. wird [35], mit den DVGW-Arbeitsblättern W 534 [36] und W 541 [37], den Normen DIN EN 12502-1 [30] und 12502-4 [14] sowie der Norm DIN 50930-6 [38].

Trinkwasser muss einen zwischen 6,5 und 9,5 liegenden pH-Wert aufweisen. Für die hier interessierenden Anionen



Bild 4: Trinkwasserinstallation und Warmwasserbereitung mit Rohren und Pressfittings aus Edelstahl Rostfrei (Foto: Esta Rohr GmbH, Siegen / Installationsunternehmen Siegfried Bruni)



Bild 5: Abwasserbehandlungsanlage aus Edelstahl Rostfrei zum Abscheiden feinsten Feststoffe (Foto: Huber SE, Berching)



Bild 6: Siebanlage aus Edelstahl Rostfrei zur Abwasseraufbereitung in einer Kläranlage (Foto: Ugitech GmbH, Renningen / Ondeo IS, Paris la Défense(F))

werden in der Trinkwasserrichtlinie ≤ 250 mg/l Chlorid, ≤ 250 mg/l Sulfat und ≤ 50 mg/l Nitrat als Höchstwerte angegeben.

3.1.2 Bemerkungen zur Werkstoffauswahl

Anders als beispielsweise im Fall von Pumpen ist in Rohrleitungen einer Trinkwasser-Hausinstallation die Stagnationsphase der überwiegende Betriebszustand, während der Fließzustand nur einen geringen Anteil der Betriebsdauer ausmacht. Unter solchen Bedingungen und vor allem auch wegen des ungünstigen Verhältnisses von Wasservolumen zur Werkstoffoberfläche bei Rohren sind Fragen der Wechselwirkung Werkstoff/Trinkwasser im Hinblick auf eine mögliche Wasserbeeinträchtigung durch Produkte einer Flächenkorrosion von besonderem hygienischem Interesse. Davon ist Edelstahl Rostfrei wegen seiner Beständigkeit gegen Flächenkorrosion jedoch nicht betroffen. Flächenbezogene Massenverluste sind praktisch nicht messbar [39].

Wie in anderen Fällen auch ist wesentlich für die Werkstoffwahl letztlich die Verbindungstechnik. Bewährt haben sich Pressfittings aus Edelstahl Rostfrei, wenn Fittings und Rohr aus einem molybdänhaltigen Edelstahl der Stahlgruppe 2 hergestellt werden. Dem entsprechend sind für den Bereich der Trinkwasserinstallation in Deutschland nur molybdänhaltige nichtrostende Stähle zugelassen [36,37], für die hinsichtlich der Wasserbeschaffenheit keine Grenzwerte bestehen [39]. Bewährt haben sich auch Fittings aus Rotguss.

3.1.3 Besonderheiten warm gehender Bereiche

Im Fall warm gehender Bereiche einer Trinkwasserinstallation kann sich die Frage der Beständigkeit gegenüber Spannungsrisskorrosion stellen. Hierfür gibt es für molybdänfreie austenitische Chrom-Nickel-Stähle eine Grenztemperatur von 50 °C. Molybdänhaltige austenitische Chrom-Nickel-Stähle sind unter den Bedingungen der Trinkwasserinstallation gegen Spannungsrisskorrosion beständig [39]. Es besteht allerdings in warm gehenden Bereichen immer

eine erhöhte Gefährdung durch Außenkorrosion in Form von Loch-, Spalt- und Spannungsrisskorrosion, wenn salzhaltige Wässer beliebiger Art ständig von außen einwirken und durch Wasserverdampfen eine Salzanreicherung eintritt (Aufsalzen). Derartige Bedingungen müssen deshalb durch geeignete konstruktive Maßnahmen vermieden werden.

3.2 Abwasserbehandlung

3.2.1 Allgemeine Hinweise

Abwasser ist nicht so eng definiert wie es bei Trinkwasser mit der Trinkwasserrichtlinie 98/83/EG gegeben ist, vielmehr kann die Zusammensetzung des Abwassers erheblichen zeitlichen Schwankungen unterworfen sein und in Abwasserbehandlungsanlagen der Gehalt an Chloridionen beispielsweise im Winterhalbjahr infolge des Eintrags von Streusalz stark ansteigen. Als Richtwert für die Werkstoffwahl gilt dann die in DIN EN 12502-4 genannte Konzentration an Chloridionen von etwa 6 mmol/l (ca. 200 mg/l), oberhalb derer bei molybdänfreien ferritischen und austenitischen nichtrostenden Stählen in Kaltwasser gemäß dieser Norm die Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion erhöht ist. Es ist dann die Verwendung von Edelstählen der Stahlgruppe 2 in **Tabelle 1** in Betracht zu ziehen [3]. Darüber hinaus sind jedoch auch hier unbedingt die in Abschnitt 2.4 genannten bauseitigen und die in Abschnitt 2.5 aufgeführten betrieblichen Einflussgrößen sorgfältig zu beachten [24].

3.2.2 Besonderheiten bei der Behandlung von Abwässern

Im Fall des in Abwasserbehandlungsanlagen häufig als Fällungsmittel zugesetzten Eisen(III)-chlorids wurden bei Gegenwart von 250-300 mg/l bei den austenitischen nichtrostenden Stählen der Stahlgruppen 1 und 2 (s. **Tabelle 1**) Anzeichen von Loch- und Spaltkorrosion beobachtet [22]. Gegenüber dem gleichfalls häufig zugesetzten Eisen(II)-sulfat sind die austenitischen nichtrostenden Stähle der Stahlgruppen 1 und 2 in **Tabelle 1** beständig [22]. Sondereinflüsse, welche in abwasserbeaufschlagten Anlagen möglich sind, betreffen dort die zusätzlichen Belastungen durch feuch-

tes Schwefelwasserstoffgas und durch feuchte Chlordämpfe. Die austenitischen nichtrostenden Stähle der in **Tabelle 1** genannten Stahlgruppen 1 und 2 sind gegenüber dem in abwasserbeaufschlagten Anlagen möglichen Angriff durch feuchtes Schwefelwasserstoffgas nicht beständig [3]. Sie zeigen auch Oberflächenangriff und Lochfraß in Atmosphären, in denen sich feuchte Chlordämpfe ansammeln und kondensieren können. Es ist dort dann eine angemessene Belüftung erforderlich [3] oder ein regelmäßiges Abwaschen und Reinigen mit Wasser.

3.2.3 Typische Anwendungen von Edelstahl Rostfrei im Bereich der Abwasserbehandlung

Im Bereich der Abwasserbehandlung findet Edelstahl Rostfrei Verwendung in einer Vielzahl maschineller Einrichtungen wie Rechen und Siebanlagen, Waschpressen, Sandklassierer, Sandfänge, Räumer und Rotoren, Schlamm-entwässerungsausrüstung, Rohrleitungen und Armaturen, ferner in Form von Ventilen, Rückschlagklappen, Befestigungselementen, Belüftungseinrichtungen, aber auch großvolumigen Misch- und Ausgleichbehältern, Belebungs- und Nachklärbecken, anderen Apparaten und installations-technischen Einrichtungen wie Flammrückschlagsicherung, Kondensatabscheider, Gashauben und Faulraum [24]. Dabei kann die Sorte EN 1.4307 sowohl unter Beständigkeits- als auch unter Kostengesichtspunkten für viele Anwendungen oberhalb der Wasserlinie eine optimale Lösung sein. Kaltverfestigte austenitische nichtrostende Stähle und die in **Tabelle 1** genannten Duplexstähle bieten Potential für gewichtsoptimierte Konstruktionen, die wegen des geringeren Materialbedarfs erhebliche Kosteneinsparungen mit sich bringen können [24].

3.3 Kühlwässer

3.3.1 Gesichtspunkte für die Werkstoffauswahl

In Chemie-, Energie- und Umwelttechnik ist häufig eine korrosive Beanspruchung nicht nur durch die jeweiligen Prozessmedien, sondern auch durch Kühlwässer gegeben und erfordert dann gleichfalls Beachtung. Ohne

andersartige Vorgabe seitens der Prozessmedien wird man für die Durchlaufkühlung mit Frischwasser für den Rohrwerkstoff in der Regel zunächst die Verwendung der austenitischen nichtrostenden Stähle der Stahlgruppen 1 und 2 in Betracht ziehen, also beispielsweise die in **Tabelle 1** genannten Edelstähle 1.4307 oder 1.4404. Die Entscheidung für den einen oder den anderen Typ wird dann in erster Linie durch den Gehalt des Wassers an Chloridionen bestimmt [11], in Verbindung mit der baulichen Ausführung gemäß Abschnitt 2.4 und Betriebsweise der Anlagen gemäß Abschnitt 2.5. Die VGB-Kühlwasserrichtlinie R 455 [40] macht hierzu ausführliche kraftwerkspezifische Angaben. Ist bei Kühlung mit Flusswasser mit höheren Belastungen durch Chloridionen von beispielsweise > 1500 bis < 5000 mg/l zu rechnen, empfiehlt die VGB-Kühlwasserrichtlinie als Rohrwerkstoff den austenitischen nichtrostenden Stahl X2CrNiMoN17-13-5 (1.4439) als Alternative zur Verwendung von Titan. In der Chemietechnik kann es darüber hinaus auch zum Kühlbetrieb mit erhöhten Wandtemperaturen kommen, die dann beispielsweise zwischen 35 und 45 °C oder sogar noch darüber liegen. Hier ist bei der Werkstoffauswahl zu berücksichtigen, dass sich das kritische Lochkorrosionspotential der nichtrostenden Stähle in der Regel mit zunehmender Temperatur vermindert. Es sind deshalb entsprechend höher legierte Edelstähle in Betracht zu ziehen. Für die Durchlaufkühlung mit Flusswasser werden für solche Fälle als Rohrwerkstoffe deshalb die höher legierten nichtrostenden Stähle X1NiCrMoCu25-20-5 (1.4539) und X1CrNiMoCuN20-18-7 (1.4547) genannt [41].

Muss für die Kühlung Meerwasser verwendet werden, sind einfache molybdänfreie austenitische nichtrostende Stähle nur unter Inkaufnahme kurzer Lebensdauer oder infolge einbaubedingten kathodischen Schutzes durch Aluminium oder Kohlenstoffstahl brauchbar. Ein solcher stellt sich bei näherem Zusehen auch häufig als Ursache positiver Erfahrungen mit den austenitischen Edelstählen der Stahlgruppe 2 in Meerwasser heraus, soweit nicht ein gewisses Ausmaß an Spaltkorrosion einfach in Kauf genom-

men oder besondere Maßnahmen ergriffen werden, wie vollständige Entleerung während Stillstandszeiten. Letzteres gilt auch im Fall austenitisch-ferritischer Duplex-Stähle wie 1.4462 [33]. Bessere Loch- und Spaltkorrosionsbeständigkeit bei zugleich noch höherer 0,2 %-Dehngrenze zeigen die Superduplex-Stähle, für die in **Tabelle 1** beispielhaft die Edelstähle 1.4501 und 1.4410 genannt sind. Tatsächlich sind die Superduplexstähle aus der auf den Offshore-Plattformen gegebenen Notwendigkeit gewichtssparender Bauweisen in Verbindung mit einer ausreichenden Meerwasserbeständigkeit entstanden. Dabei waren gegossene Hochdruck-Meerwasser-Pumpengehäuse die ersten Anwendungen. In der Folge wurden die Superduplexstähle dann auch als Knetwerkstoffe zu den zugehörigen Rohren und Armaturen verarbeitet [42]. Bei den Superduplexstählen wird eine Wirksumme von > 40 für die Anforderungen der Offshore-Industrie in der Regel als ausreichend angesehen [42].

Einen ausgesprochenen Durchbruch als Werkstoff für die Anwendung in Meerwasser haben seit den 1980er Jahren die nichtrostenden austenitischen 6 % Molybdän-Stähle erlebt. Als typische und technisch weit entwickelte Vertreter für diese Werkstoffgruppe sind in **Tabelle 1** die Edelstähle 1.4547 und 1.4529 aufgeführt.

3.3.2 Besonderheiten bei der Handhabung von Kühlwässern

Die Qualität des für die Durchlaufkühlung verwendeten Frischwassers aus den großen Flüssen und ihren Einzugsbereichen hat sich in den vergangenen 30 Jahren entscheidend verbessert, so dass dort wieder organisches Leben möglich ist und stattfindet. Dieses organische Leben wird mit dem den Flüssen entnommenen Kühlwasser in die industriellen Kühlanlagen eingebracht. Dabei siedelt sich das bakterielle Leben auf den dort vorhanden Oberflächen in Form so genannter Biofilme an und führt zur

Verminderung der Kühlleistung. Die eingebrachten höheren Lebewesen wie Muscheln und Schnecken können diesen Effekt zudem noch durch eine Verminderung des Wasserdurchflusses verstärken. Daneben kann es zu der in Abschnitt 2.4.2 erörterten mikrobiologisch beeinflussten Korrosion kommen. Zur Abhilfe sind entsprechende Reinigungsmaßnahmen erforderlich, die mechanisch oder im Rahmen des jeweils gesetzlich möglichen auch chemisch erfolgen können, letzteres in der Regel durch eine Chlorung. Aus Sicherheits- und Praktikabilitätsgründen wird dabei kein gasförmiges Chlor eingeleitet, sondern hypochlorige Säure als aktive Substanz aus Natriumhypochloritlösung durch Umsetzung mit Wasser hergestellt. Eine solche Chlorung kann beispielsweise 2 bis 3 Stunden pro Tag mit Hilfe transportabler Konditionierungsgeräte erfolgen. Eine Konzentration von 1 mg/l (gerechnet als freies Chlor) hat sich in solchen Fällen als ausreichend erwiesen, um die Bildung neuer Biofilme auf ursprünglich sauberen Wärmetauscheroberflächen zu vermeiden und damit den Wärmedurchgang zu verbessern [41]. In anderen Fällen kann gemäß der VGB-Kühlwasser-richtlinie R 455 [40] die Chlordosierung geringer sein oder es bedarf zuweilen auch deutlich höherer Chlorkonzentrationen. Allerdings ist Chlor ein starkes Oxidationsmittel, so dass eine solche Chlorung auch zu einem entsprechenden Potentialanstieg führt. Dieser darf nicht über das Loch- oder Spaltkorrosionspotential der jeweils verwendeten nichtrostenden Stähle hinausführen und sollte besser noch unter dem jeweiligen Repassivierungspotential bleiben. Das gilt auch dann, wenn für die Kühlung Brackwasser oder Meerwasser verwendet wird, welches ohne Chlorung zu mehr oder weniger starkem Bewuchs der Wärmetauscheroberflächen aus nichtrostendem Stahl führen würde. Maßgebend für die Beständigkeit der Werkstoffe sind dabei die Stellen, welche konstruktions- oder fertigungsbedingt eine herabgesetzte Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Das sind häufig die Lochkorrosionsbeständigkeit der Schweißverbindungen und die Spaltkorrosionsbeständigkeit von beispielsweise Flanschverbindungen.

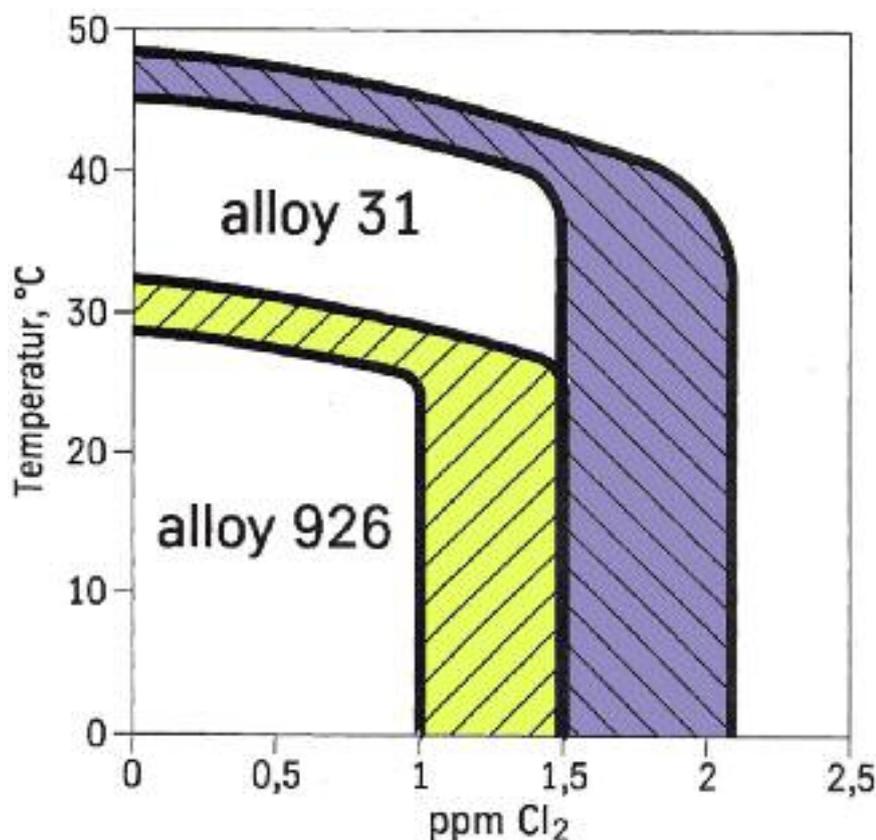


Bild 7: Beständigkeitsgrenzen des hochlegierten austenitischen nichtrostenden Stahls 1.4529 (alloy 926) bei Verwendung als Flanschwerkstoff in gechlortem Meerwasser bis zum Einsetzen von Spaltkorrosion und ihre Erweiterung bei Verwendung des austenitischen nichtrostenden Stahls 1.4562 (alloy 31), ermittelt in praxisnahen Tests (Nordsee, Norwegen), nach M. Jasner u. U. Heubner, CORROSION 95, Paper N° 279, NACE International, Houston, Texas, 1995 [43].

Bild 7 zeigt beispielhaft die in praxisnahen Tests (Nordsee/Norwegen) ermittelten Beständigkeitsgrenzen von praxisüblichen Flanschverbindungen aus den meerwasserbeständigen nichtrostenden 6 % Molybdänstählen 1.4529 (alloy 926) und 1.4562 (alloy 31) [43]. Man erkennt, dass bei dem nichtrostenden Stahl 1.4529 im Fall mäßig hoher Chlorgehalte oberhalb von etwa 30 °C mit Spaltkorrosion gerechnet werden muss. Gemäß der VGB-Kühlwasserrichtlinie [40] sollte im vorliegenden Fall bei kontinuierlicher Dosierung ein freier Chlorgehalt von etwa 0,25 mg/l in der Regel ausreichend sein. Ein solcher Chlorgehalt ist gemäß **Bild 7** noch nicht kritisch, die Begrenzung der Betriebstemperatur auf weniger als 30 °C ist damit das maßgebende Kriterium. Das entspricht recht genau den praktischen Erfahrungen. **Bild 7** macht zugleich deutlich, dass der Beständigkeitsbereich der nichtrostenden 6 % Molybdänstähle in gechlortem Meerwasser unter derartigen Betriebsbedingungen durch Verwendung des höher legierten Edelstahl 1.4562 bis zu etwa 45 °C erweitert werden kann. Unter anderen Spaltbedingungen [44] kann der Grenztemperaturbereich auch noch etwas höher liegen [45]. Noch höhere Grenztemperaturen lassen sich jedoch mittels dünnwandiger Auflagen aus der Nickellegierung NiCr23Mo16Al (2.4605) auf den Flanschflächen erreichen [11].

3.3.3 Anwendungen von Edelstahl Rostfrei im Kühlwasserbereich

Edelstahl Rostfrei hat sich für die Herstellung von Wärmetauschern vielerlei Art wie insbesondere Rohrbündelwärmetauschern und Plattenwärmetauschern im Wettbewerb mit anderen Werkstoffen wie zum Beispiel Titan sehr bewährt und findet auch für andersartige Kühlanordnungen wie Spiralwärmetauschern und Außenschlangen auf Behältern seine Anwendung. Dabei müssen für einen zufrieden stellenden Betrieb die in Abschnitt 2.4 genannten bauseitigen Einflussgrößen und die in Abschnitt 2.5 aufgeführten betrieblichen Einflussgrößen sehr sorgfältig beachtet werden. Positive Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden sind dabei insbesondere

- Optimierung der konstruktiven Gegebenheiten (Vermeidung von Spalten soweit möglich, u.a. sind Punktschweißungen diesbezüglich kritisch),
- Berücksichtigung der Betriebs- und Anlagenbedingungen (ungestörte Strömungsgeschwindigkeiten insbesondere an Eintrittsstutzen, Vermeidung von Toträumen),
- Einsatz von Filtern zur Vermeidung von Ablagerungen,
- Edeltahlgerechte Apparatefertigung (Verbindungstechnik: Weitgehende Vorfertigung in der Werkstatt mit Vollbadbeizung und nur noch wenigen und von innen gut zugänglichen verbleibenden Flanschverbindungen auf der Baustelle, Verwendung geeigneter Dichtungen und fachgerechte Montage),
- Systematisch geplante und durchgeführte Reinigungsarbeiten.

Im Übrigen sei hier auf die umfangreichen Angaben in der weiterführenden Literatur zu Wärmeübertrager-Rohren [46] und Kompakt-Wärmeübertragern [47] sowie in der VGB-Kühlwasserrichtlinie [40] verwiesen.

3.4 Schwimmbadwasser

Schwimmbad- und Badebeckenwasser können ähnlich niedrige Chloridionen-Gehalte aufweisen wie Trinkwasser. Je mehr das Wasser aber unter dem Gesichtspunkt der Wassereinsparung im Kreislauf geführt wird, steigen die Chloridionen-Gehalte an und können leicht einige 100 mg/l erreichen. In Solebädern kann der Chloridionen-Gehalt auch wesentlich höhere Werte über 10.000 mg/l erreichen. Die Wassertemperatur liegt je nach der Art des Bades etwa zwischen 26 und 32 °C. Aus hygienischen Gründen werden Wässern in öffentlichen Schwimmbädern immer Desinfektionsmittel wie Natriumhypochlorit oder Chlorgas zugesetzt. Nichtrostende Stähle werden entweder als selbständige Becken oder für Beckenauskleidungen und für andere vom Schwimmbadwasser umspülte Bauteile wie Einstiegleitern, aber auch für Geländer, Treppen, Duschanlagen, Sprunganlagen, Startsockel und Rutschen seit langer Zeit in großem Umfang eingesetzt und sind zu einer ausgesprochenen Erfolgsgeschichte geworden.

Bei richtiger Auswahl und Verarbeitung sind nichtrostende Stähle als Konstruktions-Werkstoffe in Schwimmbadwässern dauerhaft korrosionsbeständig. In der Regel werden austenitische nichtrostende Stähle der Stahlgruppe 1 (1.4301, 1.4307, 1.4541) oder der Stahlgruppe 2 (1.4401, 1.4404, 1.4571) verwendet. Die Entscheidung für den einen oder den anderen Typ wird in erster Linie durch den Chloridionen-Gehalt des Wassers in Verbindung mit der baulichen Ausführung und der Betriebsweise der Anlagen bestimmt. Bei spaltfreier Ausführung können im Kaltwasserbetrieb die austenitischen nichtrostenden Stähle der Stahlgruppe 1 bis zu Chloridionen-Gehalten von ca. 200 mg/l Anwendung finden. Da Schwimmbadanlagen aber zum einen Spalte enthalten können (z.B. an Schraubverbindungen), und zum anderen die im Beckenwasser enthaltenen Chloride in Zukunft eher noch zunehmen dürften, ist in der Regel der Einsatz von austenitischen nichtrostenden Stählen der Stahlgruppe 2 (zum Beispiel 1.4404) anzuraten. Diese können entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 2.3.1 im Kaltwasserbetrieb bis herauf zu Chloridionen-Gehalten von vielleicht etwa 1000 mg/l in Betracht gezogen werden, bei Vorliegen sehr enger Spalte jedoch nur bis herauf zu Chloridionen-Gehalten von vielleicht etwa 500 mg/l. Es versteht sich, dass derartige Angaben nur sehr ungefähre Orientierungswerte sein können. Bauteile, die vom Beckenwasser nur gelegentlich berührt, aber nicht ständig umspült werden, wie beispielsweise Überlauf-rinnen und beckennahe Geländer, erfordern eine ausreichende Reinigung, um Korrosionserscheinungen infolge von Chloridaufkonzentrierungen im austrocknendem Wasser zu vermeiden. Im Fall von tragenden Bauteilen ist für die Werkstoffwahl die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [48] zu beachten.

Wo in Thermal-, Sole- und Meerwasserschwimmbädern mit höheren Salzkonzentrationen und Warmwassertemperaturen gearbeitet wird, können auch für die ständig vom Beckenwasser umspülten Bauteile höher legierte nichtrostende Stähle wie 1.4462 oder 1.4529 und 1.4547 und gegebenenfalls sogar 1.4562 erforderlich werden.



Bild 8: Vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten mit Edelstahl Rostfrei in Schwimmbädern (Foto: Berndorf Metall- und Bäderbau GmbH, Berndorf(A) / Hotel Aquarius, Kolobrzeg(PL))

Über die beim Betrieb von Schwimmbadanlagen im Zusammenhang mit der Auswahl geeigneter nichtrostender Stähle zu beachtenden Einflussgrößen gibt das ISER-Merkblatt 831 „Edelstahl Rostfrei in Schwimmbädern“ [49] weitere Auskünfte. Dieses Merkblatt geht sowohl ein auf die Bauteile in Schwimm- und Badebeckenwasser als auch auf die Bauteile in Schwimmbadhallenatmosphäre und die dabei zu beachtende allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [48].

4 Umrechnungen

Eine 1 %ige NaCl-Lösung entspricht einem Chloridgehalt von ca. 6.100 mg/l.

Eine 1 %ige CaCl-Lösung entspricht einem Chloridgehalt von ca. 6.400 mg/l.

1 mmol Chlorid pro Liter = 1 mol/m³ entspricht 36 mg Chlorid pro Liter.

1 ppm Chlorid entspricht 1 mg Chlorid pro Liter.

5 Literatur

- [1] „Edelstahl Rostfrei - Eigenschaften“
ISER-Merkblatt 821, 4. Auflage, 2006
- [2] “The Self-Passivation of Stainless Steels”
CD-ROM, Euro Inox, 1997/2001

- [3] „Edelstahl Rostfrei für die Wasserwirtschaft“
ISER-Merkblatt 893, 1. Auflage, 2007
- [4] N. Arlt, W. Boehle, D. Hirschfeld, T. Meyer, M. Renner, H. Schlerkemann, W. Schulte, W. Schwenk, I. Stellfeld
„Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern“
Merkblatt 830 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, vorhergehende 2. Auflage, Düsseldorf, 1997
- [5] „Schweißen von Edelstahl Rostfrei“
ISER-Merkblatt 823, 4. überarbeitete Auflage, 2004
- [6] DIN EN 10088-2, Ausgabe 2005
Nichtrostende Stähle – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung
- [7] EN ISO 3651-2, Ausgabe 1998
Ermittlung der Beständigkeit nichtrostender Stähle gegen

interkristalline Korrosion - Teil 2: Nichtrostende ferritische, austenitische und ferritisch-austenitische (Duplex-) Stähle; Korrosionsversuch in schwefelsäurehaltigen Medien (ISO 3651-2 :1998)

- [8] **„Applications of Stainless Steel in the Water Industry“**
Water Industry Information & Guidance Note, IGN 4-25-02, The Steel Construction Institute, Silwood Park, Ascot, Berkshire SL5 7QN, England, 1999
- [9] N. Arlt, H. Kiesheyer
„Korrosionsverhalten von nichtrostenden Stählen in wässrigen Medien“
in P. Gümpel und 6 Mitautoren: Rostfreie Stähle, 3. Auflage, Renningen-Malmsheim: expert-Verlag, 2001, S. 38-100
- [10] **DIN EN 10088-1, Ausgabe 2005**
Nichtrostende Stähle – Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle
- [11] U. Heubner
„Nickellegierungen und hochlegierte Sonderedelstähle - Werkstoffübersicht und metallkundliche Grundlagen“
in Ulrich Heubner, Jutta Klöwer und 5 Mitautoren: Nickelwerkstoffe und hochlegierte Sonderedelstähle, 4., völlig neu bearbeitete Auflage, Renningen-Malmsheim: expert-Verlag, 2009, S. 1-40
- [12] U. Heubner, M. Rockel
„Entwicklung neuer korrosionsbeständiger Werkstoffe für den Chemieapparatebau“
Werkstoffe und Korrosion 37 (1986) 7-12
- [13] **DIN EN 10312, Ausgabe 2002**
Geschweißte Rohre aus nichtrostenden Stählen für den Transport wässriger Flüssigkeiten einschließlich Trinkwasser – Technische Lieferbedingungen
- [14] **DIN EN 12502-4, Ausgabe 2005**
Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen, Teil 4: Einflussfaktoren für nichtrostende Stähle
- [15] **The Nickel Advantage - Nickel in Stainless Steel**
Publikation des Nickel Institute: www.nickeladvantage.org
- [16] A. van Bennekom, F. Wilke
“Comparison Between Stabilised And LowCarbon Austenitic Stainless Steels“
Euro Inox, 2009
- [17] S.C. Srivastava, M.B. Ives
“The Role of Titanium in the Pitting Corrosion of Commercial Stainless Steels“
Corrosion NACE 45 (1989) 488-493
- [18] L.H. Boulton, A.J. Betts
“Corrosion performance of titanium and titanium stabilised stainless steels“
British Corrosion Journal 26 (1991) 287-292
- [19] N. Flint
“Resistance of Stainless Steel to Corrosion in Naturally Occurring Waters“
NiDI Publication 1262, 1976
- [20] **SGK Arbeitsblatt C6, Ausgabe 2010**
Richtlinien zum Korrosionsschutz in Abwasseranlagen
Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich, www.sgk.ch
- [21] U. Heubner
„Leistungsfähigkeit nichtrostender Stähle in Abwasseranlagen“
KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 48 (2001) Nr. 3, 321-332
- [22] A.H. Tuthill, S. Lamb
“Stainless steels in municipal waste treatment plants“
NiDI Technical Series N° 10 0076, 1998, www.nickelinstitute.org
- [23] A.H. Tuthill, R.E. Avery, S. Lamb, G. Kobrin
“Effect of Chlorine on Common Materials in Fresh Water“
CORROSION'98, Paper N° 708, NACE International, Houston, Texas, 1998
- [24] U. Heubner
„Einsatz nichtrostender Stähle in Abwasseranlagen“
Erste Ausgabe 2010, Euro Inox, Brüssel, 2011
- [25] **„Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen“**
ISER-Merkblatt 829, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, 2005
- [26] U. Heubner
„Das Korrosionsverhalten von Nickellegierungen und hochlegierten Sonderedelstählen im geschweißten Zustand“
in Ulrich Heubner, Jutta Klöwer und 5 Mitautoren: Nickelwerkstoffe und hochlegierte Sonderedelstähle, 4., völlig neu bearbeitete Auflage, Renningen-Malmsheim: expert-Verlag, 2009, S. 65-74
- [27] A.S.M. Diab, W. Schwenk
„Beeinträchtigung der Lochkorrosionsbeständigkeit von CrNi-Stählen durch dünne Oxidschichten“
Werkstoffe und Korrosion 44 (1993) S. 367-372
- [28] U. Heubner
„Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion nichtrostender Stähle und ihre Vermeidung“
Chemie Ingenieur Technik 72, 2000, S. 1439-1444
- [29] **„Die Reinigung von Edelstahl Rostfrei“**
ISER-Merkblatt 824, 1. Auflage, 1995
- [30] **DIN EN 12502-1, Ausgabe 2005**
Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen, Teil 1: Allgemeines
- [31] F. Franz, E. Heitz, G. Herbsleb, W. Schwenk
„Strömungsabhängigkeit der Lochkorrosion eines Cr-Ni-Stahles in NaCl-Lösung, Teil 1: Versuche mit der rotierenden Scheibe“
Werkstoffe und Korrosion 24 (1973) 97-105

- [32] B. Heisterkamp
„Werkstoffe im Pumpenbau: Edeltähle in der Trinkwasser-Hausinstallation“
 Vortrag anlässlich der Sitzung des GfKORR-Arbeitskreises Korrosion und Korrosionsschutz von Eisen und Stahl am 17.12.2009 in Duisburg
- [33] A. Tuthill
„Usage and Performance of Nickel Containing Stainless Steels in Both Saline and Natural Waters and Brines“
 Materials Performance 26 (1988) No° 7, 47-50
- [34] **Richtlinie 98/83/EG**
 des Rates vom 03. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 330/32 vom 05.12.1998
- [35] **DIN 1988-1 bis 8, DIN 1988-20, DIN 1988-400, DIN 1988-500, DIN 1988-600**, daraus beispielsweise **DIN 1988-7**, Ausgabe 2004
 Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen (TRWI) - Teil 7; Vermeidung von Korrosionsschäden und Steinbildung; Technische Regel des DVGW. Die Teile 1 bis 4 wurden mittlerweile (Juli 2012) durch die entsprechenden Teile der DIN EN 806 ersetzt. DIN 1988-7 wird demnächst zurückgezogen, da nahezu der gesamte Inhalt dieser Norm in den Teilen 1 bis 4 der EN 806 zitiert wurde.
- [36] **DVGW-Arbeitsblatt GW 541**, 10/2004
 Rohre aus nichtrostenden Stählen für die Gas- und Trinkwasser-Installation; Anforderungen und Prüfungen
- [37] **DVGW-Arbeitsblatt W 534**, 05/2004
 Rohrverbinder und -verbindungen für Rohre in der Trinkwasser-Installation; Anforderungen und Prüfungen
- [38] **DIN 50930-6**, Ausgabe 2001
 Korrosion metallischer Werkstoffe im Inneren von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wasser - Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit
- [39] H. Schlerkmann
„Verzinkter Stahl und nichtrostende Stähle in Kontakt mit Trinkwasser“
 Beitrag zum 8. Korrosionum „Werkstoffe für die Trinkwasserinstallation - Korrosion und Korrosionsschutz“, Berlin, 24. März 2011, GfKORR - Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V., Frankfurt/Main 2011, S. 25-45
- [40] **VGB-Kühlwasserrichtlinie R 455 - Wasserbehandlung und Werkstoffeinsatz in Kühlsystemen**
 zweite überarbeitete Ausgabe, VGB PowerTech e.V., Essen, 2000
- [41] J.T. Titz, W. Wied
„Enhancing Heat Transfer of Heat Exchangers by Biofouling Mitigation with Transportable Biocide Conditioning Units“
 International Conference on Biofouling and Materials, 10-13 June 2001, Frankfurt/Main
- [42] U. Heubner
„Hochlegierte korrosionsbeständige Stähle für Chemie-, Energie- und Meerestechnik - Rückblick und Ausblick“
 Materials and Corrosion 53 (2002) 756-764
- [43] M. Jasner, U. Heubner
„Alloy 31, a New 6 Moly Stainless Steel with Improved Corrosion Resistance to Seawater“
 CORROSION 95, Paper N° 279, NACE International, Houston, Texas, 1995
- [44] **ASTM G 48 - 03** (Reapproved 2009)
 Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution
- [45] H. Alves, M. Schmitz-Niederer
„Successful Applications of Nickel Alloys and High-Alloyed Stainless Steels in Seawater Service“
 CORROSION 2008, Paper N° 08259, NACE International, Houston, Texas, 2008
- [46] **„Wärmeübertrager-Rohre: Rohrtypen-Werkstoffe-Eigenschaften-Verarbeitung“**
 Hrsg.: J. Mitrovic, Publico Publications, Essen, 2002
- [47] **„Kompakt-Wärmeübertrager: Bauarten-Materialien-Instandhaltung“**
 Hrsg.: H.-O. Demski, Publico Publications, Essen, 2005
- [48] **„Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 20. April 2009: Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen“**
 ISER-Sonderdruck 862, mit Ergänzung gemäß Änderungsbescheid vom 02.05.2011
- [49] **„Edelstahl Rostfrei in Schwimmbädern“**
 ISER-Merkblatt 831, 2. überarbeitete Auflage und aktualisierter Nachdruck, 2004



Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Postfach 10 22 05
40013 Düsseldorf
www.edelstahl-rostfrei.de

