



Merkblatt 893

## **Edelstahl Rostfrei für die Wasserwirtschaft**



**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 Anwendung von Edelstahl Rostfrei. Schwerpunkte der Aktivitäten sind

- praxisbezogene, zielgruppenorientierte Publikationen,
- Online-Informationsplattform unter [www.edelstahl-rostfrei.de](http://www.edelstahl-rostfrei.de),
- Pressearbeit für Fach- und Publikumsmedien,
- Messebeteiligungen,
- Durchführung von Schulungsveranstaltungen,
- Errichtung von Kompetenzzentren "Edelstahl Rostfrei-Verarbeitung"
- Information 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](http://www.edelstahl-rostfrei.de)/Publikationen.

## Impressum

Merkblatt 893  
Edelstahl Rostfrei für die  
Wasserwirtschaft  
1. Auflage 2007

### 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](http://www.edelstahl-rostfrei.de)  
E-Mail: [info@edelstahl-rostfrei.de](mailto:info@edelstahl-rostfrei.de)

### Autoren:

Dr.-Ing. U. Heubner, Werdohl  
Dipl.-Ing. E. Hini, Berching

Die Autoren danken den Firmen H. Butting GmbH & Co. KG, Wittlingen Ugitech GmbH, Renningen für die Vorschläge zur Manuskriptgestaltung.

### Titelfoto:

Ugitech GmbH, Renningen

Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen vermitteln Orientierungshilfen. Gewährleistungsansprüche können hieraus nicht abgeleitet werden. Nachdrucke aus dieser Dokumentation bzw. Veröffentlichungen im Internet, auch auszugsweise, sind nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und mit deutlicher Quellenangabe gestattet.

## Inhalt

	Seite
1 Einführung	1
2 Gruppeneinteilung nichtrostender Stähle	1
2.1 Nichtrostende ferritische Stähle	1
2.2 Nichtrostende austenitische Stähle	2
2.3 Nichtrostende austenitisch-ferritische Stähle	3
2.4 Nichtrostende martensitische Stähle	4
2.5 Übergreifende Aussagen zu den mechanischen Eigenschaften	5
3 Korrosionsbeständigkeit gegenüber Wässern und ihre Einflußgrößen	6
3.1 Allgemeines	6
3.2 Werkstoffbedingte Einflußgrößen	7
3.3 Wasserseitige Einflußgrößen	7
3.4 Bauseitige Einflußgrößen	7
3.5 Betriebliche Einflußgrößen	9
4 Praktische Erfahrungen	10
4.1 Gewinnung, Behandlung und Verteilung von Trinkwasser	10
4.2 Abwässer	12
4.3 Andere Anwendungen in der Wasserwirtschaft	15
5 Lebensdauer/ Kostenrechnung	15
6 Häufig gestellte Fragen	15
7 Literatur	16

# 1 Einführung

Edelstahl Rostfrei ist ein Sammelbegriff für nichtrostende Stähle. Sie enthalten mindestens 10,5 % Chrom und weisen gegenüber unlegierten Stählen eine deutlich bessere Korrosionsbeständigkeit auf. Das Legierungselement Chrom (Cr) führt mit diesem Mindestanteil zur Ausbildung einer sehr dünnen, aber fest haftenden und bei Verletzung auch selbst heilenden so genannten Passivschicht, die das darunter liegende Metall vor dem Angriff durch die umgebenden Medien schützt.

Die traditionelle Namensgebung "nichtrostende Stähle" hat ihren Ursprung darin, dass diese Werkstoffe bei Auslagerung an normaler Atmosphäre nicht rosten. Dies bedeutet jedoch nicht, dass sie beliebigen Medien ohne Korrosionserscheinungen ausgesetzt werden können. Mit einer Erhöhung des Chrom-Gehalts über den oben genannten Mindestgehalt hinaus und dem Hinzufügen von Legierungsbestandteilen wie z.B. Nickel (Ni) und Molybdän (Mo) kann die Korrosionsbeständigkeit in Anpassung an das jeweils umgebende Medium weiter verbessert werden. Durch ein Hinzulegen bestimmter anderer Elemente, wie z.B. Stickstoff (N), wird die Festigkeit ohne Beeinträchtigung der Duktilität erhöht. Zugleich erhöht Stickstoff auch die Beständigkeit gegenüber örtlichem Korrosionsangriff.

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 oder durch die Zugabe von Titan (Ti) oder alternativ Niob (Nb) oder Zirkonium (Zr) 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 zu erzielen.

Damit kann die Wasserwirtschaft über Edelstahl Rostfrei in einer Vielzahl unterschiedlicher Sorten für mannigfache Anwendungen verfügen. Bei richtiger Auswahl und Verarbeitung sind nichtrostende Stähle in der Wasserwirtschaft wartungsarm und langlebig. Sie sind zugleich vollständig recyclingfähig.

Aus dem insgesamt sehr weiten und vielfältigen Feld der Wasserwirtschaft betreffen die Anwendungen vor allem die Gewinnung, Speicherung und Verteilung von Trinkwasser und die Behandlung der daraus resultierenden Abwässer, gleichfalls aber auch die zur Wasserwirtschaft von Industriebetrieben gehörende Versorgung mit Prozess-, Kühl- und Feuerlöschwasser. Aus den Möglichkeiten und Erfahrungen mit der Anwendung von Edelstahl Rostfrei im Trink-, Betriebs- und Abwasserbereich lassen sich viele andere Anwendungsmöglichkeiten von nichtrostenden Stählen in der Wasserwirtschaft sinngemäß ableiten.

## 2 Gruppen-einteilung nichtrostender Stähle

### 2.1 Nichtrostende ferritische Stähle

Von der Verarbeitbarkeit her gesehen muß von rein ferritischen Chromstählen ohne Zusätze stabilisierender

Legierungselemente im Anlagenbau und damit auch in der Wassertechnik abgeraten werden. Dagegen findet die Gruppe der stabilisierten ferritischen Chromstähle mit 11 bis 18 % Chrom Anwendung für einfache Anlagenteile, sofern der vergleichsweise geringen Kaltumformbarkeit sowie der Notwendigkeit einer erhöhten Aufmerksamkeit beim Schweißen entsprochen werden kann.

Aus der großen Zahl der in der Europäischen Norm EN 10088-1 genannten stabilisierten ferritischen Chromstähle sind in **Tabelle 1** diejenigen gelistet, die laut EN 10312 für geschweißte Rohre aus nichtrostenden Stählen für den Transport wässriger Flüssigkeiten einschließlich Trinkwasser vorzugsweise verwendet werden sollten, und die damit unter sinngemäßer Orientierung an EN 12502-4 generell für Wasserverteilungs- und -speichersysteme in Betracht gezogen werden können. Man erkennt, dass die Chromgehalte dieser Edelstähle im Mittel bei etwa 17 bzw. 18 % liegen, und dass der Edelstahl 1.4521 zusätzlich rund 2 % Molybdän enthält. Die drei Edelstähle sind ferner mit Titan bzw. Niob stabilisiert.

Stahlgruppe	Kurzname	Werkstoffnummer	Hauptlegierungselemente in Masse-%			
			Cr	Mo	C max.	Titan/Niob
Ferrite	X3CrTi17	1.4510	16,0-18,0		0,05	Ti:[4 x (C+N) + 0,15] bis 0,80
	X3CrNb17	1.4511	16,0-18,0		0,05	Nb:12xC bis 1,00
	X2CrMoTi18-2	1.4521	17,0-20,0	1,8-2,5	0,025	Ti:[4 x (C+N) + 0,15] bis 0,80

**Tabelle 1: Auswahl gebräuchlicher nichtrostender ferritischer Stähle und deren Hauptlegierungselemente gemäß EN 10088-1**

Auf Grund seines zusätzlichen Molybdängehalts bei gleichzeitig angehobenem Chromgehalt hat der Edelstahl 1.4521 eine bessere Beständigkeit gegenüber Lokalkorrosion in chloridhaltigen Medien als die Edelstähle 1.4510 und 1.4511.

Im Vergleich zu den nichtrostenden austenitischen Stählen besitzen

die nichtrostenden ferritischen Stähle jedoch eine deutlich geringere Kaltumformbarkeit, wie es in den in **Tabelle 2** angegebenen Werten zum Ausdruck kommt. Auch das Schweißen erfordert eine erhöhte Aufmerksamkeit in Hinblick auf Schweißzusatz, -verfahren und Wärmeerbringung, um Risse zu vermeiden.

Stahlgruppe	Kurzname	Werkstoffnummer	0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> , min.	Zugfestigkeit $R_m$ N/mm <sup>2</sup> , min.	Bruchdehnung A %, min.
Ferrite	X3CrTi17	1.4510	230	420	23
	X3CrNb17	1.4511	230	420	23
	X2CrMoTi18-2	1.4521	300	420	20

**Tabelle 2: Mechanische Eigenschaften nichtrostender ferritischer Stähle für den geglähten Zustand bei Raumtemperatur an kaltgewalztem Band gemäß EN 10088-2**

## 2.2 Nichtrostende austenitische Stähle

Bei den nichtrostenden austenitischen Stählen nimmt die Gruppe der im deutschen Sprachgebrauch häufig als V2A bezeichneten Edelstähle mengenmäßig den bedeutendsten Anteil ein, gefolgt von der Gruppe der als V4A bezeichneten Edelstähle. Für besondere Korrosionsansprüche gibt es daneben die Vielfalt der hoch legierten austenitischen Edelstähle.

**Tabelle 3** zeigt eine Auswahl aus den als V2A und V4A bezeichneten nichtrostenden austenitischen Stählen. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich dabei nicht um genormte Bezeichnungen handelt. Die Zuordnung ist aber dann sinnvoll, wenn sie sich an die Einteilung in die nichtrostenden Stähle vom Typ 304 und 316 der international weithin gebräuchlichen US-amerikanischen Normung anlehnt. Man erkennt in **Tabelle 3**, dass es sich bei V2A um austenitische

Edelstähle mit im Mittel 18 % Chrom und 10 % Nickel handelt, die im Fall von V4A zusätzlich noch 2 bis 3 % Molybdän enthalten. Die V4A-Stähle weisen eine bessere Beständigkeit gegenüber Lokalkorrosion in chloridhaltigen Medien auf als die V2A-Stähle. Als typische Vertreter sind traditionell die Edelstähle 1.4301 und 1.4571 in Deutschland heute am weitesten verbreitet und in vielerlei Produktformen verfügbar.

Stahlgruppe	Kurzname	Werkstoffnummer	Hauptlegierungselemente in Masse-%				
			Cr	Ni	Mo	C max.	Andere
Austenite (V2A)	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: 5 x C - 0,70
Austenite (V4A)	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: 5 x C - 0,70
	X2CrNiMo18-14-3	1.4435	17,0-19,0	12,5-15,0		2,5-3,0	0,03

**Tabelle 3:** Auswahl gebräuchlicher nichtrostender austenitischer Stähle und deren Hauptlegierungselemente gemäß EN 10088-1

Die Vielfalt der in **Tabelle 3** genannten Werkstoffe darf allerdings nicht darüber hinweg täuschen, dass im Zuge der Globalisierung und einer vereinfachten Lagerhaltung ein Trend zur

Verwendung ausschließlich der Edelstähle 1.4307 und 1.4404 erfolgt, da diese sich mit den international üblicheren Typen der US-amerikanischen Normung AISI 304L und 316L am

besten in Einklang bringen lassen. Für hohe Korrosionsbeanspruchung gibt **Tabelle 4** eine Auswahl höher legierter nichtrostender austenitischer Stähle.

Stahlgruppe	Kurzname	Werkstoffnummer (Alloy)	Hauptlegierungselemente in Masse-%				
			Cr	Ni	Mo	C max.	Andere
Hochlegierte Austenite	X2CrNiMoN17-13-5	1.4439 (317LN)	16,5-18,5	12,5-14,5	4,0-5,0	0,03	0,12-0,22 N
	X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539 (904L)	19,0-21,0	24,0-26,0	4,0-5,0	0,02	1,2-2,0 Cu
	X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547 (254SMO)	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 (926)	19,0-21,0	24,0-26,0	6,0-7,0	0,02	0,15-0,25 N 0,5-1,5 Cu
	X2CrNiMnMoN25-18-6-5	1.4565 (24)	24,0-26,0	16,0-19,0	4,0-5,0	0,03	5,0-7,0 Mn max.0,15 Nb 0,3-0,6 N

**Tabelle 4:** Auswahl gebräuchlicher hoch legierter nichtrostender austenitischer Stähle und deren Hauptlegierungselemente gemäß EN 10088-1

Die wichtigen mechanischen Eigenschaften der nichtrostenden austenitischen Stähle verdeutlicht **Tabelle 5**.

Die in den Bruchdehnungswerten zum Ausdruck kommende Kaltumformbarkeit der austenitischen Edelstähle

ist in allen Fällen sehr viel besser als bei den ferritischen Edelstählen.

Stahlgruppe	Kurzname	Werkstoffnummer	0,2 %-Dehngrenze R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup> , min.	Zugfestigkeit R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup> , min.	Bruchdehnung A %, min.
Austenite (V2A)	X5CrNi18-10	1.4301	230	540	45
	X2CrNi18-9	1.4307	220	520	45
	X2CrNi19-11	1.4306	220	520	45
	X6CrNiTi18-10	1.4541	220	520	40
Austenite (V4A)	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	240	530	40
	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	240	530	40
	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	240	540	40
	X2CrNiMo18-14-3	1.4435	240	550	40

**Tabelle 5: Mechanische Eigenschaften nichtrostender austenitischer Stähle für den lösungsgeglühten Zustand bei Raumtemperatur an kaltgewalztem Band gemäß EN 10088-2**

Im Trinkwasserbereich sind für die Wasser führenden Leitungen häufig die V4A-Stähle, beispielsweise 1.4404, anzuraten, während im Abwasserbereich in der Regel die V2A-Stähle, beispielsweise 1.4307, Anwendung finden können. Bei Chloridwerten größer 200 mg/l wird jedoch der Einsatz der V4A-Stähle empfohlen, wobei die nicht das Medium berührenden Teile aus V2A sein können. Für Fälle besonders hoher Korrosionsbeanspruchung, beispielsweise infolge einer über das Trinkwasser weit hinaus gehenden Belastung des Wassers mit Chlorid-Ionen, haben sich sehr hoch legierte austenitische Edelstähle wie z.B. 1.4529 bewährt. Bei Vorhandensein von Schwefelwasserstoff

in Feuchträumen von Abwasseranlagen helfen allerdings weniger höherwertige Edelstähle als vielmehr geeignete Be- und Entlüftungsmaßnahmen, um Korrosionsschäden zu vermeiden.

### 2.3 Nichtrostende austenitisch-ferritische Stähle

Wenn in die Ferritphase eine Austenitphase eindispersiert wird, gelangt man zu den so genannten Duplex-Edelstählen. Bei den in **Tabelle 6** genannten Duplex-Edelstählen 1.4362 und 1.4462 handelt es sich um diejenigen nichtrostenden austenitisch-ferritischen Stahlsorten, die laut EN 10312

für geschweißte Rohre aus nichtrostenden Stählen für den Transport wässriger Flüssigkeiten einschließlich Trinkwasser vorzugsweise verwendet werden sollten, und die damit unter sinngemäßer Orientierung an EN 12502-4 generell für Wasserverteilungs- und -speichersysteme in Betracht gezogen werden können. Man erkennt, dass die Chromgehalte dieser beiden Duplex-Edelstähle im Mittel bei 23 bzw. 22 % liegen, und dass der Duplex-Edelstahl 1.4462 im Mittel zusätzlich 3 % Molybdän enthält. Beide Duplex-Edelstähle sind ferner mit Stickstoff legiert. Darüber hinaus enthält **Tabelle 6** mit dem Werkstoff 1.4410 ein Beispiel für einen so genannten Superduplex-Edelstahl.

Stahlgruppe	Kurzname	Werkstoffnummer	Hauptlegierungselemente in Masse-%				
			Cr	Ni	Mo	C max.	Andere
Duplex	X2CrNiN23-4	1.4362	22,0-24,0	3,5-5,5	0,1-0,6	0,03	0,10-0,60 Cu 0,05-0,20 N
	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	21,0-23,0	4,5-6,5	2,5-3,5	0,03	0,10-0,22 N
Superduplex	X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	24,0-26,0	6,0-8,0	3,0-4,5	0,03	0,24-0,35 N

**Tabelle 6: Auswahl gebräuchlicher nichtrostender austenitisch-ferritischer Stähle und deren Hauptlegierungselemente gemäß EN 10088-1**

Die Legierungselemente der Duplex-Edelstähle sind so aufeinander abgestimmt, dass sich beim Lösungsglühen ein Austenit/Ferrit-Verhältnis von etwa 50:50 ergibt. Man hat also einen Austenit/Ferrit-Verbundwerkstoff mit einer Eigenschaftskombination dieser beiden Phasen. Das sind u.a. die hohe Beständigkeit der Ferrit-Phase gegenüber Spannungsrisskorrosion und die höhere Festig-

keit der Ferritphase im Raumtemperaturbereich. Obwohl für die Mehrzahl der Anwendungen der hoch legierten Edelstähle in der Wassertechnik die Festigkeit kein primäres Kriterium ist - primäre Kriterien sind hier bestimmungsgemäß die Korrosionsbeständigkeit und Schweißbarkeit - gibt es doch Anwendungen, wo die höhere Festigkeit von Interesse ist, um damit Gewicht und auch Materialkosten zu

sparen. Allerdings bedeutet im Fall der austenitisch-ferritischen Edelstähle die erhöhte Festigkeit auch wieder eine geringere Duktilität für die Kaltumformung, wie die in **Tabelle 7** angegebenen Werte für die Bruchdehnung im Vergleich zu den in **Tabelle 5** für die austenitischen Edelstähle gemachten Angaben verdeutlichen.

Stahlgruppe	Kurzname	Werkstoffnummer	0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> , min.	Zugfestigkeit $R_m$ N/mm <sup>2</sup> , min.	Bruchdehnung A %, min.
Duplex	X2CrNiN23-4	1.4362	450	650	20
	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	500	700	20
Superduplex	X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	550	750	20

**Tabelle 7: Mechanische Eigenschaften nichtrostender austenitisch-ferritischer Stähle für den lösungsgeglühten Zustand bei Raumtemperatur an kaltgewalztem Band gemäß EN 10088-2**

In Hinblick auf seine Korrosionsbeständigkeit liegt der Duplex-Edelstahl 1.4462 oberhalb der austenitischen V4A-Stähle. Auf dieser Basis findet er heute eine recht breite Anwendung. Der Duplex-Edelstahl 1.4362 eignet sich für solche Anwendungen, in denen die Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit etwa denen der V4A-Stähle entsprechen, während der Superduplex-Edelstahl 1.4410 mit seiner Korrosionsbeständigkeit in der Nachbarschaft hoch legierter Austenite liegt, was auch die Bezeichnung Superduplex verdeutlicht. Nichtrostende austenitisch-ferritische Stähle bieten sich in der Abwasser-

behandlung sowohl für den Unterwasser- als auch für den Überwasserbereich an.

## 2.4 Nichtrostende martensitische Stähle

Neben den hier vor allem auf Flacherzeugnisse und längsnahtgeschweißte Rohre abzielenden nichtrostenden ferritischen, austenitischen und austenitisch-ferritischen Stählen sind auch die nichtrostenden martensitischen Stähle zu erwähnen, die als Langprodukte in der Wasserwirtschaft

beispielsweise für Pumpenwellen, Spindeln, Ventile und Armaturen Verwendung finden. Neben ihrer Korrosionsbeständigkeit sind die Verschleißfestigkeit und die hohe Festigkeit im vergüteten Zustand maßgebend für ihre Anwendung. **Tabelle 8** gibt eine Auswahl nichtrostender martensitischer Stähle und **Tabelle 9** benennt deren mechanischen Eigenschaften im vergüteten Zustand. Ihre Korrosionsbeständigkeit in Wässern orientiert sich gemäß der jeweiligen chemischen Zusammensetzung entsprechend an derjenigen der vorstehend genannten ferritischen Edelstähle.

Stahlgruppe	Kurzname	Werkstoffnummer	Hauptlegierungselemente in Masse-%			
			Cr	Mo	C	Andere
Martensite	X20Cr13	1.4021	12,0-14,0		0,16-0,25	
	X17CrNi16-2	1.4057	15,0-17,0		0,12-0,22	1,5-2,5 Ni
	X39CrMo17-1	1.4122	15,5-17,5	0,8-1,3	0,33-0,45	≤1,0 Ni

**Tabelle 8: Auswahl gebräuchlicher nichtrostender martensitischer Stähle und deren Hauptlegierungselemente gemäß EN 10088-1**

Stahlgruppe	Kurzname	Werkstoffnummer	Dicke t oder Ø, mm	Wärmebehandlungszustand	0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> , min.	Zugfestigkeit $R_m$ N/mm <sup>2</sup> , min.	Bruchdehnung A %, min.
Martensite	X20Cr13	1.4021	≤160	+QT800	600	800	12
	X17CrNi16-2	1.4057	60 < t ≤ 160	+QT900	700	900	10
	X39CrMo17-1	1.4122	60 < t ≤ 160	+QT750	550	750	12

Tabelle 9: Mechanische Eigenschaften nichtrostender martensitischer Stähle im wärmebehandelten (vergüteten) Zustand bei Raumtemperatur gemäß EN 10088-3

## 2.5 Übergreifende Aussagen zu den mechanischen Eigenschaften

Wie man den Tabellen 2 und 5 entnehmen kann, liegen die 0,2 %-Dehngrenzen der ferritischen und der austenitischen Edelstähle bei wenigstens 220 bis 240 N/mm<sup>2</sup> und damit eher im unteren Bereich der allgemeinen Baustähle. Bemerkenswert ist aber die hohe Duktilität der nichtrostenden austenitischen Stähle, welche gemäß Bild 1 weit über derjenigen der allgemeinen Baustähle liegt und gemäß Tabelle 5 in der Bruchdehnung von wenigstens 40 % für die Stahlgruppen V2A und V4A ihren Ausdruck findet. Diese hohe Duktilität der austenitischen Edelstähle macht sie besonders verarbeitungsfreundlich.

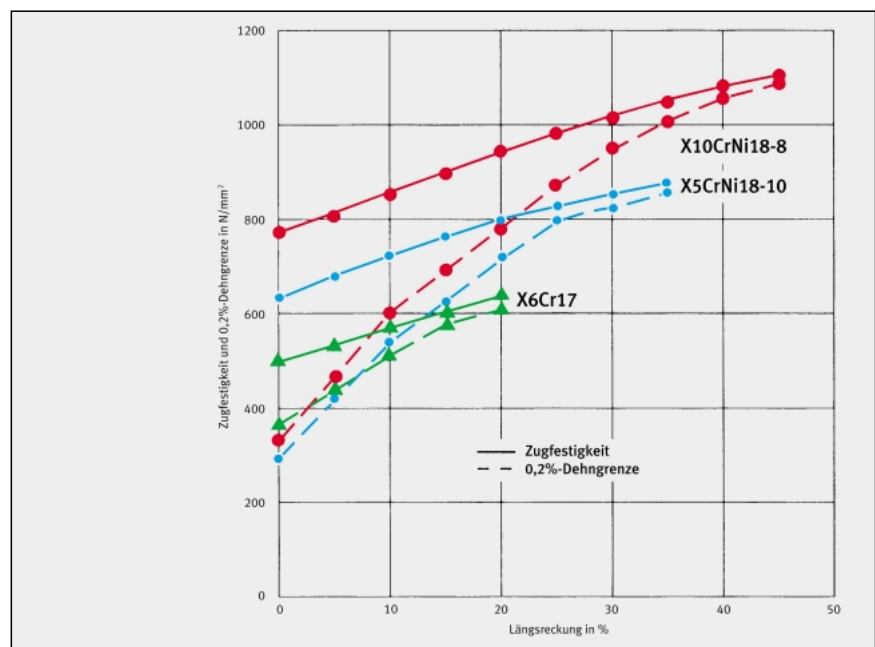


Bild 1: Verfestigungsverhalten einiger nichtrostender Stähle - Austenit X5CrNi18-10 (1.4301) in Vergleich zum stark kalt verfestigenden Austenit X10CrNi18-8 (1.4310) und zum Ferrit X6Cr17 (1.4016) (aus ISER-Merkblatt 821)

Eine weitere Besonderheit der nichtrostenden austenitischen Stähle liegt darin, dass ihre hohe Duktilität mit einer hohen Kaltverfestigung verbunden ist. Diese Besonderheit erlaubt es, die 0,2 %-Dehngrenze mittels einer der Produktform angepassten Kaltformgebung beispielsweise durch Ziehen, Recken oder Walzen, erheblich anzuheben, wie Bild 1 deutlich macht. Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nichtrostender Stähle Z-30.3-6 kann zur Orientierung über die hier bestehenden Möglichkeiten herangezogen werden. Es müssen dann allerdings

andere Füge- und Verbindungstechniken als das Schweißen zur Anwendung kommen. Unter diesem Aspekt ist auf die sich immer noch weiter entwickelnden Möglichkeiten des Klebens von nichtrostendem Stahl hinzuweisen.

Ferner muss auf die von Natur aus sehr hohen 0,2 %-Dehngrenzen der austenitisch-ferritischen Stähle aufmerksam gemacht werden, welche gemäß Tabelle 7 im lösungsgeglühten Zustand mit mindestens 450 N/mm<sup>2</sup> deutlich über derjenigen der allgemeinen Baustähle liegt.

Einige Angaben zur zulässigen Schwingbelastung verschiedener Stähle für unterschiedliche Beanspruchungsformen sind beispielhaft in Bild 2 wiedergegeben, u.a. für den häufig verwendeten austenitischen Edelstahl 1.4571. Technische Regeln für die Berechnung auf Wechselbeanspruchung geben die AD 2000-Merkblätter S 1 und S 2. Insbesondere ist in diesem Zusammenhang auf eine Konstruktion mit glatten Übergängen zu achten.

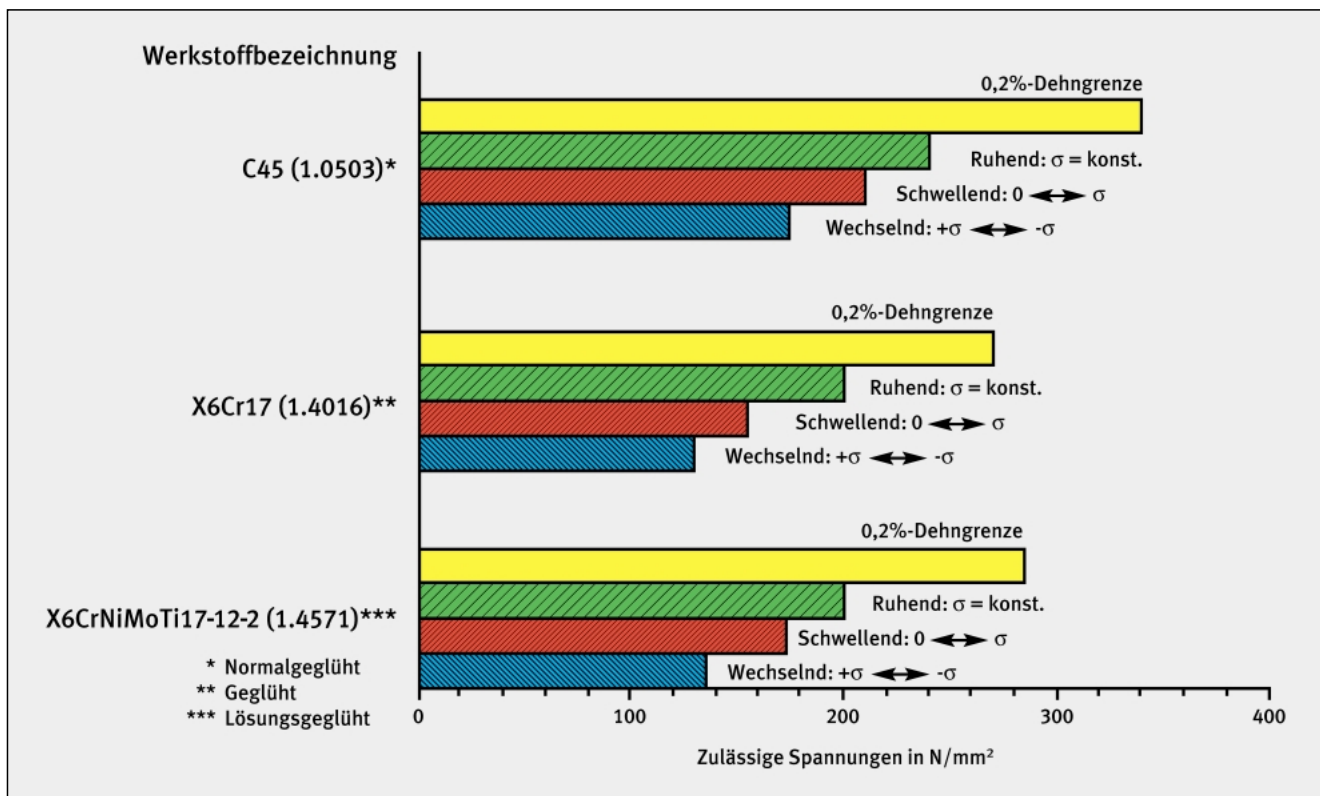


Bild 2: Zulässige Schwingbelastung nichtrostender Stähle in Vergleich mit unlegiertem Stahl (aus U. Gramberg, E.M. Horn, P. Mattern)

### 3 Korrosionsbeständigkeit gegenüber Wässern und ihre Einflussgrößen

#### 3.1 Allgemeines

Die Korrosionsbeständigkeit als das wichtigste Kriterium nichtrostender Stähle ist keine Werkstoffeigenschaft, sondern ergibt sich aus der von der Oberfläche des Werkstoffs ausgehenden Wechselwirkung mit dem jeweils umgebenden Medium. Maßgebend ist deshalb neben der eigentlichen Wahl des Werkstoffs auch seine gesamte Ausführung, d.h. seine Oberflächenbeschaffenheit, die angewendeten Verbindungsverfahren und die korrekte Oberflächenbehandlung. Auf der anderen Seite steht das umgebende Medium, in der Regel gleichfalls mit einer Vielfalt zu beachtender Parameter, in die auch die jeweiligen Betriebsbedingungen eingehen. In Hinblick auf die Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle in der Wasserwirtschaft sind für die unterschiedlichen Arten der Korrosion jedoch einige uneingeschränkt positive Aussagen möglich.

Gemäß EN 12502-4 ist die Geschwindigkeit der gleichförmigen oder Flächenkorrosion der vorstehend genannten nichtrostenden Stähle in Verteilungs- und Speichersystemen für Trinkwasser gemäß der Trinkwasser-Richtlinie 98/83/EG und in Wässern ähnlicher Zusammensetzung wegen ihres passiven Zustandes vernachlässigbar gering. 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 bis herunter zu pH-Werten von etwa 4 nicht beeinträchtigt. Eine Verfärbung der Oberfläche infolge der Ablagerung von Fremdkorrosionsprodukten ist kein Anzeichen für Korrosion des nichtrostenden Stahls. Aufgrund der Beständigkeit gegen Flächenkorrosion spielt diese in der Praxis beim Einsatz von nichtrostenden Stählen in Wässern keine Rolle.

Gegenüber Erosionskorrosion weisen nichtrostende Stähle in Wässern ebenfalls eine vergleichsweise hohe Beständigkeit auf, so dass ihre Anwendung auch im Fall hoher Fließgeschwindigkeiten bis herauf zu beispielsweise 30 m/s in Betracht gezogen werden kann.

Unter den Bedingungen, die in Wasserverteilungssystemen vorliegen, stellen nichtrostende Stähle üblicherweise den edleren Werkstoff dar und sind deshalb selbst nicht durch Kontakt- oder Bimetallkorrosion gefährdet, wohl aber die unedleren Partner.

Laut EN 12502-4 ist auch die Wahrscheinlichkeit für interkristalline Korrosion in Verteilungs- und Speichersystemen für Trinkwasser und in Wässern ähnlicher Zusammensetzung vernachlässigbar gering.

In einigen Fällen kann jedoch die Passivschicht der nichtrostenden Stähle lokal zerstört werden. Dies kann einen lokalen Korrosionsangriff zur Folge haben, welcher zu einem Korrosionsschaden führen kann. Deshalb sind die Korrosionsarten Lochkorrosion und Spaltkorrosion eingehender zu betrachten.

Spannungsrissskorrosion kann für die nichtrostenden Stähle in der Wasserwirtschaft bei korrekter Verarbeitung - Vermeidung von Sensibilisierung und von sehr extremen Kaltverformungsgraden - in den meisten Fällen außer Betracht bleiben.



### 3.2 Werkstoffbedingte Einflussgrößen

Die Beständigkeit der nichtrostenden Stähle gegenüber örtlicher Korrosion in der Form von Loch- und Spaltkorrosion in chloridhaltigen Wässern ist u.a. abhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung und nimmt zu mit der so genannten **Wirksumme  $W = \% Cr + 3,3 \% Mo + x \% N$** . Diese Beziehung gilt für Werkstoffe mit im Lieferzustand üblichem homogenem Gefüge. Wie man erkennt, geht der Molybdängehalt in die Wirksumme mit dem Faktor 3,3 sehr gewichtig ein. Daneben kann auch der Stickstoffgehalt von Einfluss sein, der sich allerdings bei den Stählen der Gruppen V2A und V4A nicht auswirkt, dessen Faktor jedoch für die Duplex-Edelstähle meist mit 16 und für hoch legierte Edelstähle mit 30 angenommen wird.

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Lochkorrosion ist erhöht bei mit Schwefel legierten nichtrostenden Stählen (**Automatenstähle**), vielfach eingesetzt für Ventile und Fittings. Sie sollten deshalb nicht ständig Wässern ausgesetzt werden.

### 3.3 Wasserseitige Einflussgrößen

Die Wahrscheinlichkeit nichtrostender Stähle für Lochkorrosion und Spaltkorrosion steigt mit zunehmendem **Gehalt des Wassers an Chlorid-Ionen**, wenn die anderen Betriebsbedingungen konstant bleiben. Deshalb sind die zulässigen Grenzgehalte an Chlorid-Ionen abhängig von pH-Wert, Temperatur, den Fließbedingungen, dem Ausmaß der Anwesenheit von Oxidationsmitteln sowie anderer Wasserinhaltsstoffe wie Nitrate, Sulfate usw., die gleichfalls einen und zwar meist positiven inhibierenden Einfluss ausüben können.

Man kann auf Grund der bisherigen Erfahrungen und in Anlehnung an EN 12502-4 sagen, dass die Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion bei molybdänfreien nichtrostenden Stählen hoch ist, wenn in Kaltwasser die Konzentration an Chlorid-Ionen über etwa 6 mmol/l (entsprechend etwa 200 mg/l) und in erwärmtem Wasser über etwa 1,5 mmol/l (entsprechend etwa 50 mg/l) liegt.

Die Atmosphäre geschlossener Abwasseranlagen zeichnet sich allgemein durch eine hohe Feuchtigkeit mit Neigung zur Kondenswasserbildung aus. Die Anwesenheit von Schwefelwasserstoff führt an feuchten Stellen oberhalb des Wasserspiegels zur Bildung von Schwefelsäure mit einem entsprechend sehr starken Angriffsgrad bei zementgebundenen und ungeschützten metallischen Werkstoffen. **Die biogene Schwefelsäure-Korrosion (BSK)** wird vorwiegend durch die biologische Umsetzung von Sulfatschwefel zu Sulfiden unter anaeroben Bedingungen im Unterwasserbereich induziert, seltener durch Sulfide ( $H_2S$ ,  $HS^-$  und  $S^{2-}$ ), die von Industriebetrieben eingeleitet wurden. Zur Vermeidung der Bedingungen, die zur biogenen Schwefelsäure-Korrosion führen, gibt das ATV-Merkblatt M 168 Hinweise für eine sinnvolle Planung und einen sachgerechten Betrieb. Vereinfacht lässt sich der Mechanismus des Sulfatumsatzes und der biogenen Schwefelsäure-Korrosion folgendermaßen beschreiben:

- Biologische Reduktion von Sulfaten und anderen Schwefelkomponenten im Abwasser unter anaeroben Bedingungen zu Sulfiden ( $H_2S$ ,  $HS^-$  und  $S^{2-}$ );
- Freisetzung von Schwefelwasserstoffgas in die Kanalatmosphäre, das sich an der feuchten Kanalwand löst;
- Biologische Oxidation des auf Baustoffen oberhalb des Abwasserspiegels gelösten  $H_2S$  zu Schwefelsäure und elementarem Schwefel.

### 3.4 Bauseitige Einflussgrößen

#### 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 im Allgemeinen als unkritisch. Auch sind Metall/Metall-Spalte in der Regel weniger kritisch als Metall/Kunststoff-Spalte. Bei kritischen Spalten lässt sich die erhöhte Korrosionsgefahr in der Regel durch Wahl eines korrosi-

onsbeständigeren Werkstoffs auffangen.

In Hinblick auf die Vermeidung von Spaltkorrosion ist die **Vermeidung von Ablagerungen** wichtig. Deshalb ist bei der Verlegung von Abwasserkanälen und -leitungen gemäß ATV-Arbeitsblatt A 110 ein kritisches Gefälle in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser, z.B. 1,40 ‰ bei DN 500, vorgeschrieben. Im Fall der Handhabung von Schlämmen darf die Konstruktion keine strömungstechnischen Toträume vorsehen, in denen sich Ablagerungen ansammeln könnten.

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. Generell müssen Bauteile aus nichtrostenden Stählen vor Kontakt mit chloridhaltigen Baustoffen bewahrt werden. Ebenso ist die Einwirkung chlor- bzw. chloridhaltiger Gase oder Dämpfe zu vermeiden oder ggf. bei der Werkstoffauswahl zu berücksichtigen. **Dämmstoffe** dürfen einen Massenanteil an wasserlöslichen Chlorid-Ionen von 0,05 % nicht überschreiten. Bei Mineralwolle darf der Massenanteil an wasserlöslichen Chlorid-Ionen nicht mehr als 6 mg/kg betragen. Die Isoliereinslagen der Befestigungselemente für Rohrleitungen müssen frei von auslaugbaren Chloriden sein.

#### Fertigungsseitige Einflussgrößen

Hier kann es unter anderem zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion als Folge einer **Sensibilisierung** kommen. Unsachgemäße Wärmebehandlungen 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 korngrenznahen Bereichen. Diese Werkstoffveränderung wird als Sensibilisierung bezeichnet. Sie kann mit einer Prüfung nach EN ISO 3651-2 nachgewiesen werden. Eine Sensibilisierung der nichtrostenden austenitischen Stähle wird in der Regel vermieden, wenn beim

Schweißen dicker Querschnitte - über 6 mm Blechdicke oder 20 mm Durchmesser - oder bei anderweitigem entsprechenden Wärmeeinbringen während der Verarbeitung, Edelstähle mit max. 0,03 % Kohlenstoff verwendet werden, beispielsweise 1.4307 oder 1.4404. Alternativ finden auch die mit Titan stabilisierten Edelstähle 1.4541 oder 1.4571 Verwendung.

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. Von besonderer Bedeutung ist daher auch das werkstoffgerechte Schweißen. Erfahrungsgemäß weisen mechanisierte Schweißungen mit ausreichender Schutzgashinterführung und Vermeidung von Kantenversatz

eine größere Korrosionsbeständigkeit auf als Handschweißungen. An Schweißverbindungen sind jegliche Anlauffarben, Verzunderungen, Spritzer und Schlackenreste sorgfältig zu entfernen, und es ist auf einwandfreie Wurzelfurchenschweißung zu achten. Die Bildung von Oxid- und Zunderschichten ist durch angepasste Schutzgaszufuhr möglichst zu verhindern.

Oxidfilme mit dunkleren Farben als strohgelb erhöhen laut EN 12502-4 die Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion. Sie können durch Beizen, Feinschleifen oder Kugelstrahlen, z.B. mit Glasperlen, entfernt werden. Unter kritischen Bedingungen (abhängig z.B. von Werkstoff, Wasserzusammensetzung und Temperatur) können laut EN 12502-4 jedoch auch strohgelbe Oxidfilme die Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion erhöhen.

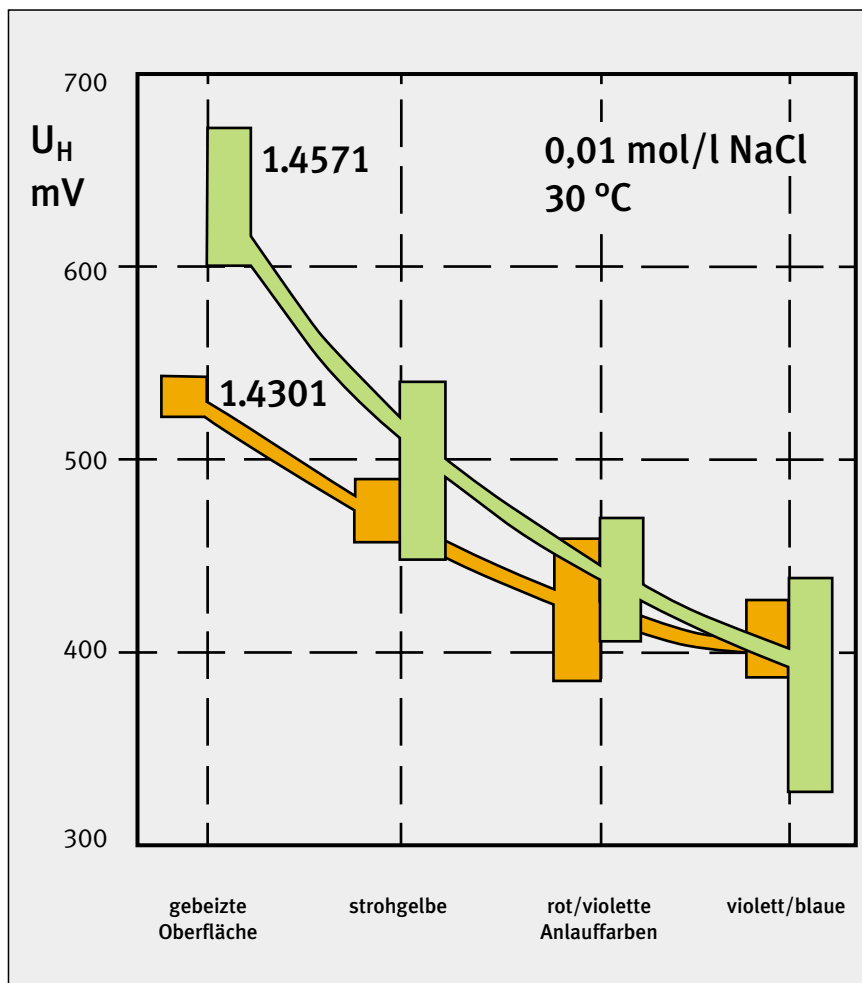
**Bild 3** zeigt das Lochkorrosionspotential zweier austenitischer Edelstähle in

Abhängigkeit von der Intensität der Anlauffarben. Dieses Lochkorrosionspotential ist ein Maß für die Lochkorrosionsbeständigkeit. Man erkennt, dass das Lochkorrosionspotential mit zunehmender Intensität der Anlauffarben zunächst stark und sodann schwächer abfällt. Aus dieser Darstellung wird zugleich deutlich, dass bereits gelbe Anlauffarben ausreichen, um die Lochkorrosionsbeständigkeit des Edelstahls 1.4571 auf diejenige des Edelstahls 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 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 setzt in der Regel dort ein, wo eine verarbeitungsbedingte Schwächung der Korrosionsbeständigkeit durch Anlauffarben auf und neben den Schweißverbindungen vorliegt. 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. 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. Flanschverbindungen sind erfahrungsgemäß weniger gefährdet als unvollkommene Schweißverbindungen, jedoch sollen auch diese so wenig wie möglich an engen Spalten und geflechtfreie Dichtungen aufweisen.

Durch grobes **Schleifen** zur Entfernung von Oxidfilmen oder Zunderschichten im Bereich von Schweißnähten werden in einer oberflächennahen Schicht



**Bild 3:** Lochkorrosionspotential als Funktion des Oberflächenzustands (nach A.S.M. Diab, W. Schwenk)

des Werkstoffs Aufhärtungen und Zugeigenspannungen erzeugt. Diese führen zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für transkristalline Spannungsrisskorrosion bei nichtrostenden Stählen. 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 Wahrscheinlichkeit für Spannungsrisskorrosion verringert. Wenn jedoch das Strahlgut Verunreinigungen aus ferritischem Material enthält, werden diese in die Oberfläche des nicht-

rostenden 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. **Bild 4** zeigt einige Beispiele für Nachbehandlungen und ihren Einfluss bei einer Laborklimaprüfung.



**Bild 4: Verarbeitungsbedingte Oberflächendefekte: Einfluss von Schweißnahtanlauffarben und verschiedener Nahtnachbehandlungen auf das Korrosionsverhalten des nichtrostenden austenitischen Stahls 1.4401 (Oberfläche 2R) über 60 Zyklen einer Laborklimaprüfung (Foto: ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld)**

Verarbeitungstechnische Maßnahmen, die dazu führen, dass **Zugspannungen** auf den nichtrostenden Stahl aufgebracht werden, beeinflussen das Langzeitverhalten in Bezug auf Spannungsrisskorrosion. Bei der Installation eines Wasserverteilungssystems können Zugspannungen in einzelnen Bauteilen entstehen, welche im Zusammenhang mit spezifischen korrosiven Medien Spannungsrisskorrosion auslösen können. Kritische Zugspannungen können niedrig gehalten werden z.B. durch sorgfältiges Verschrauben von Gewinden und durch Beachtung der entsprechenden Installationsempfehlungen.

**Hartlöten** kann für Bauteile aus nichtrostenden Stählen, die bestimmungsgemäß ständig Wässern ausgesetzt sind, wegen der Gefahr der Messerschnittkorrosion nicht empfohlen werden.

Um eine qualitativ hochwertige Verarbeitung sicherzustellen und Baustellennähte auf ein Minimum zu reduzieren, ist ein Vorfertigungsgrad von 95-100 % zwingend anzustreben. Voraussetzung ist eine optimale Planung, Projektierung und Ausschreibung der Gesamtanlage in Zusammenarbeit mit Fachfirmen im Bereich der Edelstahlverarbeitung und Montage.

### 3.5 Betriebliche Einflussgrößen

Edelstahl Rostfrei ist in der Wasserwirtschaft korrosionsbeständig bei einem konzeptionellen Ansehen aller Korrosionsschutzfragen bereits in der Planungs- und Projektierungsphase. Ein Korrosionsschutzkonzept, das in die Qualitätssicherung eingebettet ist, ermöglicht Kosteneinsparungen und Kostentransparenz bei Bau und Unterhalt und enthält klare Qualitätsvor-

gaben für alle Projektphasen. Basis für die Bewertung und richtige Werkstoffauswahl ist die Analyse der Auswirkung aller hier wichtigen Einflussgrößen und Maßnahmen auf die Korrosionswahrscheinlichkeit, wie beispielsweise der Chloridgehalt des Wassers, die Konzentration des Schwefelwasserstoffes in Feuchträumen von Abwasser führenden Anlagen, die vorbeugende Wartung und Reinigung und anderes mehr.

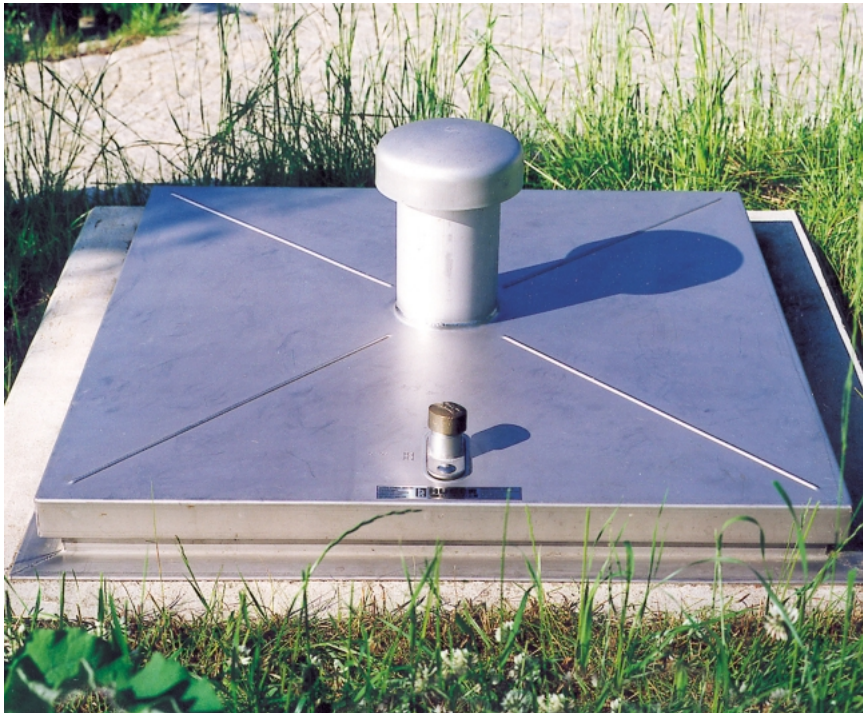
Mit den in Abschnitt 3.3 aufgeführten wasserseitigen Einflussgrößen ist auch ein großer Teil der betrieblichen Einflussgrößen bereits genannt worden.

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 oxidierenden Desinfektion neuer Rohrleitungssysteme. Wenn eine erstellte Anlage für einen begrenzten Zeitraum mit oxidierenden Desinfektionsmitteln behandelt werden muss, ist keine zusätzliche Korrosionsgefährdung zu erwarten, sofern die Empfehlungen, die in den entsprechenden Normen enthalten sind, befolgt werden.

Eine weitere betriebliche Einflussgröße ist neben der Temperatur der Strömungszustand. In strömenden Wässern ist die Korrosionsbeständigkeit immer relativ hoch, während in Stagnationsphasen Lochkorrosion eingeleitet werden kann. 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 sowie der normgerechten Lüftung der 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.



**Bild 5:** Verschließbare Schachtabdeckung aus Edelstahl Rostfrei mit Belüftungsstutzen über einem Brunnen (Foto: Hans Huber AG, Berching)



**Bild 6:** Sicherheitstüren aus Edelstahl Rostfrei für den Objektschutz eines Trinkwasser-Hochbehälters, darüber Geländer aus Edelstahl Rostfrei (Foto: U. Heubner, Werdohl)

## 4 Praktische Erfahrungen

### 4.1 Gewinnung, Behandlung und Verteilung von Trinkwasser

Im Bereich der Gewinnung, Behandlung und Verteilung von Trinkwasser wird Edelstahl Rostfrei für Verrohrungen, Einbauteile und Auskleidungen in Trinkwasserbehältern verwendet, daneben für eine Vielzahl peripherer Ausrüstungen wie Schachtabdeckungen, Einsteigleitern, Treppen, Geländer, Handläufe, Gitterroste, Loch- und Riffelbleche. **Bild 5** zeigt eine im Außenbereich häufig zur Abdeckung von Brunnen anzutreffende Schachtabdeckung aus Edelstahl Rostfrei und **Bild 6** einen Trinkwasser-Hochbehälter, der für den Objektschutz mit Einbruch hemmenden Türen aus Edelstahl Rostfrei versehen ist.

Wichtig für die Werkstoffwahl ist in diesen Fällen die Korrosionsbeständigkeit an der Atmosphäre. In ländlicher Umgebung oder in normaler Stadtmosphäre dürften die in **Tabelle 3** genannten nichtrostenden austenitischen Stähle der Gruppe V2A, beispielsweise 1.4301 oder 1.4307, wahrscheinlich die beste Werkstoffwahl im Hinblick sowohl auf die Korrosionsbeständigkeit als auch auf die Kosten sein. Bei höherer korrosiver Belastung, wie sie in Industrie- oder Meeresatmosphäre möglich ist, kann es jedoch erforderlich werden, Werkstoffe der Gruppe V4A, die Duplex-Edelstähle 1.4362 bzw. 1.4462 oder den hoch legierten Austenit 1.4439 zu verwenden. Mehr Angaben hierzu sind dem ISER-Merkblatt 828 zu entnehmen.

Auskleidungen von Trinkwasser-Hochbehältern mit Edelstahl Rostfrei kommen zur Anwendung sowohl im Fall von Neubauten als auch um damit Undichtigkeiten dauerhaft zu sanieren. **Bild 7** zeigt ein Beispiel für eine derartige Auskleidung eines Trinkwasser-Hochbehälters mit Edelstahl Rostfrei. In den meisten Fällen sind hier die nichtrostenden austenitischen Stähle der V4A-Gruppe beständig, so dass für derartige Auskleidungen beispielsweise 1,5 mm dicke Bleche der Edelstähle 1.4404 oder 1.4571 mit 2B-Oberfläche verwendet werden können.

Auch für Rohrleitungen und Einbauteile in Wasserkammern wird nichtrostender Stahl aus der V4A-Gruppe empfohlen, der dann nicht nur gegenüber den Wässern, sondern auch im Fall einer Desinfektion und Reinigung hinreichend beständig ist.

Bei der Trinkwasseraufbereitung ist zu beachten, dass das Einleiten von Sauerstoff eine starke Sauerstoffübersättigung zur Folge haben kann. Wie **Bild 8** am Beispiel eines Oxidators aus dem Edelstahl 1.4571 deutlich macht, ist nichtrostender Stahl der V4A-Gruppe hier beständig.

Ozon ist ein zunehmend verwendetes alternatives Oxidationsmittel, welches entweder allein oder in Verbindung mit Chlor für die Wasseraufbereitung zur Anwendung kommt. Nichtrostende Stähle der V4A-Gruppe sind hier beständig. So wird beispielsweise der Edelstahl 1.4404 vorzugsweise für den Bau von Ozongeneratoren verwendet. Ferner ist Chlor, auch als hypochlorige Säure oder Hypochlorit ion aus chlorhaltigen Desinfektionsmitteln als starkes Oxidationsmittel zu nennen.

Ebenso werden Druckrohre für eine bei der Trinkwasseraufbereitung erforderlich werdende Membranfiltration aus Edelstahl Rostfrei hergestellt. So sind austenitische nichtrostende Stähle für die in einem Wasserwerk bestehenden Anforderungen nicht zuletzt auch wegen ihrer hervorragenden Verarbeitbarkeit zu vielfältigen geometrischen Formen bei zugleich hohem Widerstand gegenüber Erosionsbeanspruchung infolge hoher Strömungsgeschwindigkeiten hervorragend geeignet.



**Bild 7:** Auskleidung eines Trinkwasser-Hochbehälters mit Edelstahl Rostfrei (Foto: Noell Service und Maschinentechnik GmbH, Würzburg)



**Bild 8:** Oxidator aus nichtrostendem austenitischen Stahl 1.4571 im Wasserwerk Curslack für die Anreicherung von Rohwasser mit technischem Sauerstoff zur vollständigen Oxidation von zweiwertigem Eisen und Mangan sowie des Ammoniums, mit Einbindung an die Rohwasserleitung. Die wasserführenden Leitungen bestehen bis zur Nennweite kleiner DN 200 gleichfalls aus nichtrostendem austenitischen Stahl 1.4571 (Foto: Hamburger Wasserwerke GmbH, Unternehmen von Hamburg Wasser, Hamburg)

Trinkwasser wird nicht nur aus natürlichen Quellen, Grundwasser oder Oberflächenwässern gewonnen und anschließend soweit wie erforderlich behandelt und aufbereitet. Auch die

Meerwasserentsalzung kann der Gewinnung von Trink- und Brauchwasser dienen. Hierfür stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. **Bild 9** zeigt als Beispiel eine Anlage für

die Meerwasserentsalzung mittels Umkehrosmose. Als Werkstoffe für die Rohrleitungen sind hier hochlegierte Austenite wie die in **Tabelle 4** genannten Edelstähle 1.4529 oder 1.4547

in Betracht zu ziehen. Auch der in **Tabelle 6** aufgeführte Superduplex-Edelstahl 1.4410 kann eine für derartige Anwendungen hinreichende Korrosionsbeständigkeit aufweisen.

In anderen Fällen der Meerwasserentsalzung hat sich der ebenfalls in **Tabelle 4** genannte Edelstahl 1.4565 bewährt.



**Bild 9:** Meerwasserentsalzung mittels Umkehrosmose, gebaut von Preussag Noell Wassertechnik GmbH (Foto: ThyssenKrupp VDM GmbH, Werdohl)



**Bild 10:** Technische Gebäudeausrüstung im Euregio Outlet Center Ochtrup mit Edelstahl Rostfrei-Rohren und Edelstahl Rostfrei-Pressfittings in Verbindung mit Rotguss-Ventilen (Foto: Geberit Vertriebs GmbH, Pfullendorf)

Edelstahl Rostfrei ist auch ein bewährter Werkstoff für die Verteilung von Trink- und anderen Wässern in Gebäuden und Fabrikanlagen.

**Bild 10** zeigt einen Ausschnitt aus der Installation von Rohrleitungen und Pressfittings aus Edelstahl Rostfrei mit Rotguss-Ventilen für das Trink- und Betriebswasser-Verteilungssystem im Euregio Outlet Center Ochtrup. Als Rohrwerkstoff kommt der nichtrostende austenitische Stahl 1.4401 zur Anwendung, der alle Anforderungen an die Loch-, Spalt- und Spannungsrisskorrosionsbeständigkeit unter derartigen Betriebsbedingungen erfüllt.

## 4.2 Abwässer

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 Ausgleichsbehältern, Belebungs- und Nachklärbecken und anderen Apparaten und installations-technischen Einrichtungen wie Flammrückschlagsicherung, Kondensatabscheider, Gashauben und Faulraum.

Im Fall des in Abwasserbehandlungsanlagen häufig als Fällungsmittel zugesetzten Eisen(III)-chlorids wurden bei Gegenwart von 250-300 mg/l bei nichtrostenden Stählen der Gruppen V2A und V4A Anzeichen von Loch- und Spaltkorrosion beobachtet. Gegenüber dem gleichfalls häufig zugesetzten Eisen(II)-sulfat sind nichtrostende Stähle der V2A- und V4A-Gruppe beständig. Sondereinflüsse, welche in abwasserbeaufschlagten Anlagen möglich sind, betreffen dort die zusätzlichen Belastungen durch feuchtes Schwefelwasserstoffgas und durch feuchte Chlordämpfe.



Bild 11: Edelstahl Rostfrei in der Abwasserbehandlung (Foto: H. Butting GmbH & Co. KG, Knesebeck)



Bild 12: Verteilerrohre aus Edelstahl Rostfrei in einer Abwasserbehandlungsanlage (Foto: H. Butting GmbH & Co. KG, Knesebeck)



Bild 13: Schieber aus Edelstahl Rostfrei zwischen zwei Abwasserbecken (Foto: Nickel Institute, Toronto)

Die nichtrostenden Stähle der in **Tabelle 3** genannten Gruppen V2A und V4A sind gegenüber dem in abwasserbeaufschlagten Anlagen möglichen Angriff durch feuchtes Schwefelwasserstoffgas nicht beständig (ATV-Merkblatt M 168). Sie zeigen auch Oberflächenangriff und Lochfraß in Atmosphären, in denen sich feuchte Chlordämpfe ansammeln und kondensieren können. Es ist dort eine Belüftung notwendig oder ein regelmäßiges Abwaschen und Reinigen mit Wasser.

Die **Bilder 11, 12, 13 und 14** zeigen Praxisbeispiele der Abwasserreinigung. Bei Chloridgehalten höher als 200 mg/l sollten nichtrostende Stähle der V4A-Gruppe eingesetzt werden. 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 der Gehalt an Chlorid-Ionen beispielsweise im Winterhalbjahr infolge des Eintrags von Streusalz stark ansteigen.



Bild 14: Siebanlagen aus Edelstahl Rostfrei im Zulauf einer Kläranlage (Foto: Hans Huber AG, Berching)



### 4.3 Andere Anwendungen in der Wasserwirtschaft

Wie beim Trink- und Abwasser bestimmt auch bei den **Kühlwässern** deren Zusammensetzung gemeinsam mit den Betriebsbedingungen die Werkstoffwahl. Das werden in der Regel nichtrostende austenitische Stähle der V2A- oder V4A-Gruppe sein. Höhere Belastungen der Kühlwässer mit Chloriden verlangen jedoch hoch legierte Edelstähle. So empfehlen beispielsweise das ISER-Merkblatt 830 und die VGB-Richtlinie VGB-R 455 P den Edelstahl X2CrNiMoN17-13-5 (1.4439) für den Fall von Belastungen des Kühlwassers mit Chlorid-Ionen von  $> 1500$  bis  $< 5000$  mg/l. Noch höhere Belastungen mit Chlorid-Ionen, wie sie beispielsweise bei der Kühlung mit Brack- oder Meerwasser vorkommen, können die Anwendung entsprechend höher legierter Austenite wie beispielsweise X1NiCrMoCu25-20-5 (1.4539), X1NiCrMoCuN25-20-7 (1.4529) oder des Superduplex-Edelstahls X2CrNiNoN25-7-4 (1.4410) erforderlich machen.

Kommen für Kühl-, aber auch für Feuerlöschwässer keine vorbehandelten Wässer, sondern aus Oberflächengewässern stammende Rohwässer zur Anwendung, kann neben einer Verminderung des Wärmedurchgangs infolge biologischen Bewuchses auch die Wahrscheinlichkeit für mikrobiologisch beeinflusste Korrosion deutlich erhöht sein. Die Betriebsbedingungen sind entsprechend auszulegen und müssen erforderlichenfalls ein von vorn herein einzuplanendes Biozid-Management wie beispielsweise permanente oder nach Bedarf zu wiederholende Chlorungen vorsehen, in dem Maß, wie die Umweltvorschriften solches erlauben.

Aus den Möglichkeiten und Erfahrungen mit der Anwendung von Edelstahl Rostfrei im Trink- und Abwasserbereich sowie mit Wässern in einer dem Trinkwasser ähnlichen Zusammensetzung lassen sich viele andere Anwendungsmöglichkeiten von Edelstahl Rostfrei in der Wasserwirtschaft sinngemäß ableiten, wie z.B. für Zubehör- und Einbauteile bei Pumpspeichieranlagen, Talsperren, Schleusen, im Hoch-

wasserschutz sowie in Bewässerungs- und Entwässerungseinrichtungen. Hinzu kommen die gesondert zu berücksichtigende Wasserwirtschaft in Kraftwerken, im Bergbau, und in Schwimmbädern. Über die Besonderheiten der Wasserwirtschaft in Schwimmbädern wird in ISER-Merkblatt 831 berichtet.

## 5 Lebensdauer/Kostenrechnung

Stehen vor allem die Erstanschaffungskosten im Vordergrund der Überlegungen, wird man sich gerne für den vielfach bewährten verzinkten Stahl entscheiden. Betrachtet man jedoch darüber hinaus auch die in der Folge anfallenden Kosten für Wartung und Instandhaltung und bringt die zu erwartende Lebensdauer in Kostenrechnung und Investitionsentscheidung ein, so fällt die Rechnung zugunsten von Edelstahl Rostfrei aus. Der wichtigste Faktor ist dabei die Korrosionsbeständigkeit und damit die Lebensdauer der aus Edelstahl Rostfrei hergestellten Produkte. Diese bringt auch eine Verminderung der Reinigungskosten und den Entfall von Wartungskosten mit sich. Zum Ende der Nutzungsdauer ist Edelstahl Rostfrei schließlich ohne besondere Vorbereitung voll recyclingfähig.

Im Rohrleitungsbereich können sich Rohre aus nichtrostenden Stählen von vornherein kostengünstiger rechnen als solche aus verzinktem Stahl, weil sich Edelstahlrohre nach tatsächlichem Betriebsdruck auslegen lassen, während Stahlrohre eine erheblich größere genormte Wanddicke haben und meistens nur in dieser beziehbar sind. So beträgt bei DN 200 die Wanddicke für Stahlrohre mindestens 4,5 mm, für Lagerdimensionen meist jedoch 6,3 mm. Alternativ können aus nichtrostendem Stahl Rohre der Abmessungen 204 x 2,0 mm oder 219 x 2,5 mm zur Verwendung kommen. Die daraus resultierende Gewichts Differenz macht die Ausführung in nichtrostendem Stahl kostengünstiger.

## 6 Häufig gestellte Fragen

Eine Reihe häufig gestellter Fragen über den korrekten Werkstoffeinsatz werden nachfolgend aufgeführt und beantwortet:

### Frage:

*Welche Korrosionsursachen sind heute die häufigsten in der mechanischen Vorreinigung von Abwasser?*

### Antwort:

Ein zu hoher Chloridgehalt ( $> 200$  mg/l) des Abwassers bei Verwendung von V2A-Stählen.

### Frage:

*Was verstehen sie unter einem Korrosionsschutzkonzept?*

### Antwort:

Unter einem Korrosionsschutzkonzept ist die Betrachtung und Berücksichtigung aller die Korrosionswahrscheinlichkeit möglicherweise erhöhenden Einflüsse mit den dagegen zu ergreifenden Maßnahmen, sowohl konstruktiv als auch betrieblich, bereits in der Planungs- und Projektierungsphase zu verstehen. Diese Einflüsse und Maßnahmen betreffen unter anderem den Chloridgehalt des Wassers, die entsprechende Werkstoffauswahl, die Wartung und ggf. regelmäßige Reinigung der Anlagen, sowie eine ausreichende Belüftung, sofern in Abwasseranlagen mit dem Auftreten von Schwefelwasserstoff zu rechnen ist.

### Frage:

*Reichen höherwertige Edelstähle wie beispielsweise 1.4404 oder 1.4571 aus gegen einen Korrosionsangriff durch hohe Schwefelwasserstoffgehalte in Abwassersystemen?*

### Antwort:

Nein, eine bedarfsgerechte Be- und Entlüftung ist notwendig.

### Frage:

*Wann ist Schwefelwasserstoff in Abwasseranlagen zu erwarten?*

### Antwort:

Bei langen Verweilzeiten im Zulaufkanal und einem sauerstoffarmen Abwasser.

**Frage:**

*Was ist zu beachten beim Transport von Edelstahlprodukten im Winter bzw. per Schiff?*

**Antwort:**

Es ist eine geschlossene dichte Verpackung als Schutz gegen Streusalz bzw. Meerwasser vorzusehen.

**Frage:**

*Was sind die Vorteile des Vollbadbeizens und Passivierens gegenüber einer mechanischen Oberflächenbehandlung?*

**Antwort:**

Auch nicht zugängliche Flächen werden passiviert und es bildet sich eine stabilere Passivschicht aus.

**Frage:**

*Wann ist der Einsatz unterschiedlicher Edelstähle bei einem Produkt, unterteilt nach Medium berührend und nicht berührenden Flächen, sinnvoll?*

**Antwort:**

Medium berührte Flächen aus V4A-Stahl, sofern die Konzentration von Chlorid dies erfordert, und Medium nicht berührte Flächen aus V2A-Stahl, ermöglichen eine kostengünstige Kombination.

**Frage:**

*Ist Edelstahl Rostfrei 1.4404 gegen Chlor beständig?*

**Antwort:**

Bedingt, bis ca. 4 mg/l.

**Frage:**

*Worauf muss beim Reinigen von Zementschleier geachtet werden in Berührung mit Edelstahlteilen?*

**Antwort:**

Berührung des in der Regel chloridhaltigen Reinigers mit Edelstahl vermeiden bzw. sofortiges Abspülen der Edelstahlflächen mit klarem Wasser.

**Frage:**

*Korrosionserscheinungen treten nur an bestimmten Edelstahl-Bauteilen einer Maschine auf - warum?*

**Antwort:**

Entweder liegen unterschiedliche Werkstoffgüten oder unterschiedliche Oberflächenausführungen (warmgewalzt, kaltgewalzt) vor.

**Frage:**

*Welche Werkstoffe sind für Trinkwasserleitungen zu empfehlen?*

**Antwort:**

V4A-Stähle, beispielsweise Edelstahl Rostfrei 1.4404, oder nichtrostende Stähle mit vergleichbarer Korrosionsbeständigkeit.

## 7 Literatur

**DIN EN 10088-1**, Ausgabe 2005

Nichtrostende Stähle – Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle

**DIN EN 10088-2**, Ausgabe 2005

Nichtrostende Stähle – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung

**DIN EN 10088-3**, Ausgabe 2005

Nichtrostende Stähle – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung

**DIN EN 10312**, Ausgabe 2002

Geschweißte Rohre aus nichtrostenden Stählen für den Transport wässriger Flüssigkeiten einschließlich Trinkwasser – Technische Lieferbedingungen

**DIN EN 12502-1**, Ausgabe 2005

Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen, Teil 1: Allgemeines

**DIN EN 12502-4**, Ausgabe 2005

Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen, Teil 4: Einflussfaktoren für nichtrostende Stähle

**EN ISO 3651-2**, Ausgabe 1998

Ermittlung der Beständigkeit nichtrostender Stähle gegen interkristalline Korrosion - Teil 2: Nichtrostende austenitische und ferritisch-austenitische (Duplex-)Stähle; Korrosionsversuch in schwefelsäurehaltigen Medien

**AD 2000-Merkblatt S 1**, Technische Regel 2005-02

Vereinfachte Berechnung auf Wechselbeanspruchung

**AD 2000-Merkblatt S 2**, Technische Regel 2004-10

Berechnung auf Wechselbeanspruchung

**DVGW-Arbeitsblatt GW 541**, Oktober 2004

Rohre aus nichtrostenden Stählen für die Gas- und Trinkwasser-Installation; Anforderungen und Prüfungen

**DVGW-Arbeitsblatt W 534**, Mai 2004

Rohrverbinder und Rohrverbindungen in der Trinkwasser-Installation

**ATV-Arbeitsblatt A 110**, August 1988

ATV-Regelwerk Abwasser-Abfall: Richtlinien für die hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und -leitungen

**ATV-Merkblatt M 168**, Juli 1998

ATV-Regelwerk Abwasser-Abfall: Korrosion von Abwasseranlagen - Abwasserleitungen

K. Michel

**"Wasserwirtschaft"**

in Nichtrostende Stähle 2. neu bearbeitete Auflage, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf, 1989, S. 251-255

U. Gramberg, E.M. Horn, P. Mattern

**"Kleine Stahlkunde für den Chemie-apparatebau"**

2. Auflage, 1993, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf, 1993

- A.S.M. Diab, W. Schwenk  
**"Beeinträchtigung der Lochkorrosionsbeständigkeit von CrNi-Stählen durch dünne Oxidschichten"**  
 Werkstoffe und Korrosion 44, 1993, S. 367-372
- C.P. Dillon  
**"Materials of Construction for Once-Through Water Systems"**  
 MTI Publication No. 43, NACE International, Houston, Texas, 1995
- A.H. Tuthill, S. Lamb  
**"Stainless steel in municipal wastewater treatment plants"**  
 NiDI Technical Series N° 10 0076, 1998
- "Applications for 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
- U. Heubner  
**"Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion nichtrostender Stähle und ihre Vermeidung"**  
 Chemie Ingenieur Technik 72, 2000, S. 1439-1444
- U. Heubner  
**"Leistungsfähigkeit nichtrostender Stähle in Abwasseranlagen"**  
 KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2001 (48) Nr. 3, S. 321-330
- N. Arlt, H. Kiesheyer  
**"Korrosionsverhalten von nichtrostenden Stählen in wässrigen Medien"**  
 in P. Gümpel und 6 Mitautoren: Rostfreie Stähle, 3. Aufl., Expert-Verlag, 2001, S. 38-100
- C. Powell, D. Jordan  
**"Fabricating Stainless Steel for the Water Industry"**  
 Nickel Institute Reference Book Series N° 11 026, 2005
- H. Kröning  
**"Die Filteranlage im Wasserwerk Curslack"**  
 wwt wasserwirtschaft wassertechnik 7-8/2006, S. 39-43
- VGB-R 455 P**, Februar 2000  
 Kühlwasser-Richtlinie – Wasserbehandlung und Werkstoffeinsatz in Kühlsystemen
- ISER-Publikationen**  
 können kostenfrei bei der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei abgerufen werden bzw. stehen auch im Internet als Download zur Verfügung,  
 E-Mail: info@edelstahl-rostfrei.de  
 Internet: www.edelstahl-rostfrei.de/  
 Publikationen
- "Edelstahl Rostfrei – Eigenschaften"**  
 ISER-Merkblatt 821, 3. Auflage, 2003
- "Die Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei"**  
 ISER-Merkblatt 822, 3. überarbeitete Auflage, 2001
- "Schweißen von Edelstahl Rostfrei"**  
 ISER-Merkblatt 823, 4. überarbeitete Auflage, 2004
- "Die Reinigung von Edelstahl Rostfrei"**  
 ISER-Merkblatt 824, 1. Auflage, 1995
- "Beizen von Edelstahl Rostfrei"**  
 ISER-Merkblatt 826, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, 2006
- "Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle an der Atmosphäre"**  
 ISER-Merkblatt 828, 2. Auflage, 1996
- "Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen"**  
 ISER-Merkblatt 829, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, 2005
- "Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern"**  
 ISER-Merkblatt 830, 2. Auflage, 1997
- "Edelstahl Rostfrei in Schwimmbädern"**  
 ISER-Merkblatt 831, 2. überarbeitete Auflage und aktualisierter Nachdruck, 2004
- "Edelstahl Rostfrei in Erdböden"**  
 ISER-Merkblatt 833, 1. Auflage, 1997
- Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 5. Dezember 2003  
**"Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen"**  
 ISER-Sonderdruck 862, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 2003
- E. Hini  
**"Werkstoffauswahl, korrekte Verarbeitung und Wirtschaftlichkeit in der Trinkwasserversorgung"**  
 in Neue Perspektiven mit Edelstahl Rostfrei in der Trinkwasserversorgung, ISER-Dokumentation 883, Tagungsband, 2003
- "Dächer aus Edelstahl Rostfrei"**  
 ISER-Dokumentation 962, 1. Auflage, 2002
- "Edelstahl Rostfrei für Dachentwässerung und Dachzubehör"**  
 ISER-Merkblatt 964, 1. Auflage, 2005



Informationsstelle Edelstahl Rostfrei  
Postfach 10 2205  
40013 Düsseldorf  
[www.edelstahl-rostfrei.de](http://www.edelstahl-rostfrei.de)