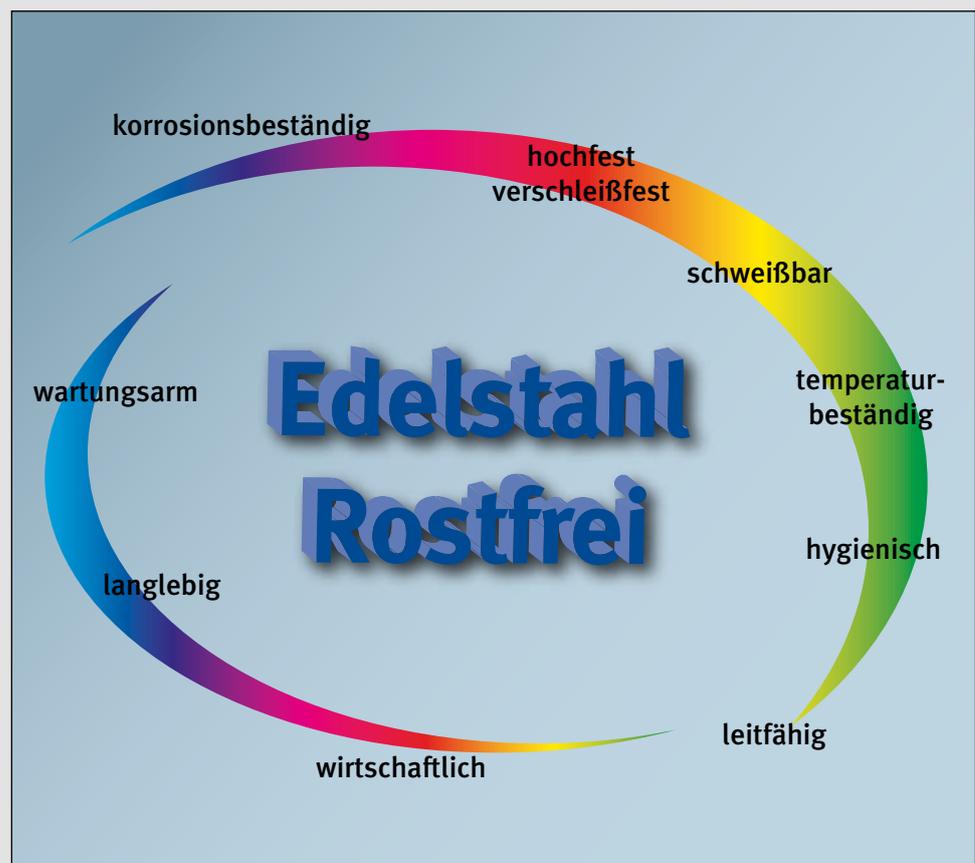




Merkblatt 821

Edelstahl Rostfrei – Eigenschaften



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 821
Edelstahl Rostfrei – Eigenschaften
5. Auflage 2014

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

Fotos:

Stefan Elgaß, Geretsried
Informationsstelle Edelstahl Rostfrei,
Düsseldorf
Outokumpu Nirosta GmbH,
Krefeld
Rösle Metallwarenfabrik
GmbH & Co.KG, Marktoberdorf

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 Einleitung	2
2 Einteilung der nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle	2
3 Charakteristische Eigenschaften der nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle	4
3.1 Ferritische korrosionsbeständige Stähle	4
3.2 Martensitische und ausscheidungshärtende korrosionsbeständige Stähle	5
3.3 Austenitisch-ferritische korrosionsbeständige Stähle	7
3.4 Austenitische korrosionsbeständige Stähle	8
4 Korrosionsbeständigkeit	12
4.1 Allgemeines	12
4.2 Korrosionsarten	12
4.3 Anwendungshinweise unter Gesichtspunkten der Korrosionsbeständigkeit	13
5 Schweißbeignung	14
6 Umformbarkeit	14
7 Spanbarkeit	16
8 Oberflächenausführungen	17
9 Physikalische Eigenschaften	19
10 Normung	19
11 Weitere Informationen	22

1 Einleitung

Edelstahl Rostfrei ist ein Sammelbegriff für die nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle. Sie enthalten mindestens 10,5 % Chrom (Cr) und weisen gegenüber unlegierten Stählen eine deutlich verbesserte Korrosionsbeständigkeit auf. Höhere Cr-Gehalte und weitere Legierungsbestandteile wie z.B. Nickel (Ni) und Molybdän (Mo) erhöhen die Korrosionsbeständigkeit weiter. Darüber hinaus kann das Hinzulegieren bestimmter anderer Elemente auch weitere Eigenschaften positiv beeinflussen, z.B.

- Titan, Niob: Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion,
- Stickstoff: Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit,
- Schwefel: Spanbarkeit.

Damit verfügen die Konstrukteure, Verarbeiter und Verwender über eine Vielzahl von Stahlsorten für mannigfaltige Anwendungsgebiete.

Seit Erfindung der nichtrostenden Stähle im Jahre 1912 haben Hersteller und Verarbeiter unterschiedliche Handelsnamen verwendet, wie V2A/V4A, NIROSTA, REMANIT oder Cromargan. Das Wort „Edelstahl“ ohne den Zusatz „Rostfrei“ reicht als Bezeichnung nicht aus; denn zu den Edelstählen gehören auch die Gruppen Edelbaustahl, Wälzlagerstahl, Schnellarbeitsstahl und Werkzeugstahl mit wesentlich anderen Gebrauchseigenschaften.

Ausgehend vom Konsumgüterbereich hat sich der Begriff Edelstahl Rostfrei durchgesetzt. **Edelstahl Rostfrei** hat in seiner langjährigen Geschichte aufgrund der ihm eigenen Korrosionsbeständigkeit und hervorragender mechanischer Eigenschaften zunehmende Bedeutung in immer mehr Verarbeitungsbereichen erlangt. Das spiegelt sich in einer beachtlichen Steigerungsrate der Produktion: Zwischen 1990 und 2012 ist die Jahres-Rohstahlerzeugung an nichtrostenden Stählen weltweit von ca. 12,8 Mio. t auf rund 35,4 Mio t gestiegen.

Auch die Zahl der Verarbeitungsbetriebe hat zugenommen. Heute sind

mehr als 1000 Verarbeiter im **Warenzeichenverband Edelstahl Rostfrei e.V.** zusammengeschlossen und verwenden das eingetragene Markenzeichen:



Die nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle werden als Walz- und Schmiedestähle und als Stahlguss gefertigt. Diese Schrift behandelt die Unterschiede zwischen den verschiedenen Edelstahl-Rostfrei-Sorten verdeutlichen und die Auswahl für die Anwendungen erleichtern. Auf die Verarbeitung wird nur eingegangen, soweit dies zum Verständnis erforderlich ist. Ausführlich ist darüber im ISER-Merkblatt *Die Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei (MB 822)* berichtet. Weitere Einzelheiten über

Eigenschaften, Verarbeitung und Verwendung können dem Literaturnachweis entnommen werden oder von den Lieferfirmen erfragt werden.

2 Einteilung der nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle

Die nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle werden entsprechend ihrem in **Bild 1** gezeigten Gefügestand in vier Hauptgruppen eingeteilt. Es sind dies die ferritischen, die martensitischen, die austenitisch-ferritischen und die austenitischen Stähle. Für jede dieser Hauptgruppen gibt **Tabelle 1** einige ausgewählte wichtige Stahlsorten wieder.

Wie man in **Tabelle 1** erkennt, sind die Stähle neben ihrer jeweiligen EN Werkstoff-Nummer mit einem Kurznamen (z.B. X5CrNi18-10) bezeichnet. 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 kennzeichnenden Legierungs-

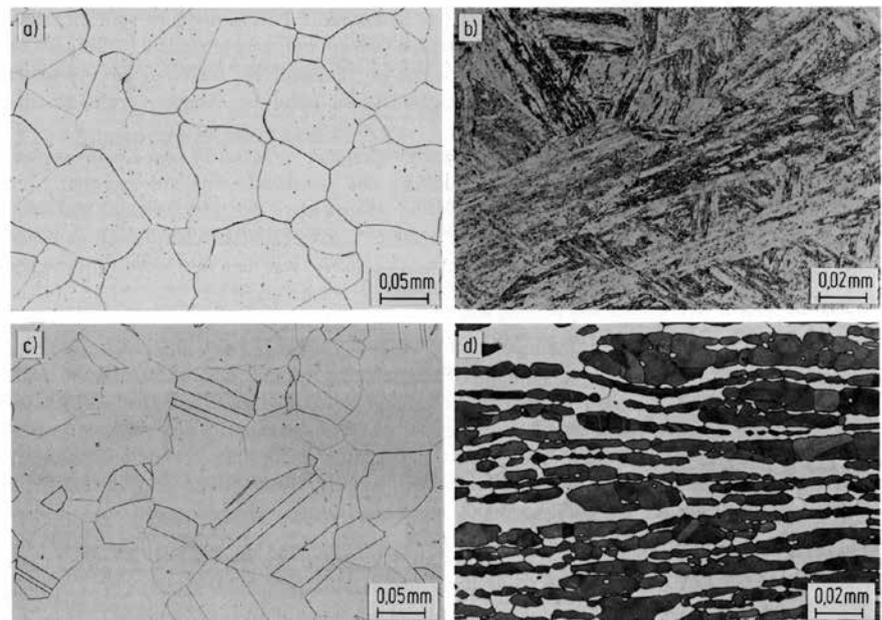


Bild 1: Beispiele typischer Gefügebildung bei verschiedenen Stahlsorten:

- a) Stahl Werkstoff-Nr. 1.4511 mit ferritischem Gefüge
 - b) Stahl Werkstoff-Nr. 1.4313 mit martensitischem Gefüge
 - c) Stahl Werkstoff-Nr. 1.4301 mit austenitischem Gefüge
 - d) Stahl Werkstoff-Nr. 1.4462 mit austenitisch-ferritischem Gefüge
- (nach P. Gümpel und N. Arlt, aus Nichtrostende Stähle, 2. neu bearbeitete Auflage, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf 1989)

Stahlsorte		Chemische Zusammensetzung in Masse-%				
EN Kurzname	Werkstoff-Nr.	C	Cr	Mo	Ni	Andere
Ferritische korrosionsbeständige Stähle						
X2CrNi12	1.4003	≤ 0,03	10,5/12,5		0,3/1,00	N ≤ 0,030
X2CrTi12	1.4512	≤ 0,03	10,5/12,5			Ti [6x(C+N)] bis 0,65
X6Cr17	1.4016	≤ 0,08	16,0/18,0			
X3CrTi17	1.4510	≤ 0,05	16,0/18,0			Ti [4x(C+N) + 0,15] bis 0,80
X6CrMoS17	1.4105	≤ 0,08	16,0/18,0	0,20/0,60		S 0,15/0,35
X3CrNb17	1.4511	≤ 0,05	16,0/18,0			Nb 12xC bis 1,00
X2CrTiNb18	1.4509	≤ 0,03	17,5/18,5			Nb [3xC + 0,30] bis 1,00 ; Ti 0,10 bis 0,60
X6CrMo17-1	1.4113	≤ 0,08	16,0/18,0	0,90/1,40		
X2CrMoTi18-2	1.4521	≤ 0,025	17,0/20,0	1,80/2,50		Ti [4x(C+N) + 0,15] bis 0,80
Martensitische korrosionsbeständige Stähle: Kohlenstoffmartensite						
X12Cr13	1.4006	0,08/0,15	11,5/13,5		≤ 0,75	
X12CrS13	1.4005	0,08/0,15	12,0/14,0	≤ 0,60		S 0,15/0,35
X20Cr13	1.4021	0,16/0,25	12,0/14,0			
X30Cr13	1.4028	0,26/0,35	12,0/14,0			
X46Cr13	1.4034	0,43/0,50	12,5/14,5			
X50CrMoV15	1.4116	0,45/0,55	14,0/15,0	0,50/0,80		V 0,10/0,20
X17CrNi16-2	1.4057	0,12/0,22	15,0/17,0		1,5/2,5	
X39CrMo17-1	1.4122	0,33/0,45	15,5/17,5	0,8/1,3	≤ 1,0	
X14CrMoS17	1.4104	0,10/0,17	15,5/17,5	0,20/0,60		S 0,15/0,35
Martensitische korrosionsbeständige Stähle: Nickelmartensite						
X3CrNiMo13-4	1.4313	≤ 0,05	12,0/14,0	0,3/0,7	3,5/4,5	
X4CrNiMo16-5-1	1.4418	≤ 0,06	15,0/17,0	0,80/1,50	4,0/6,0	
Ausscheidungshärtende korrosionsbeständige Stähle						
X5CrNiCuNb16-4	1.4542	≤ 0,07	15,0/17,0	≤ 0,60	3,0/5,0	Cu 3,0/5,0; Nb 5xC bis 0,45
X7CrNiAl17-7	1.4568	≤ 0,09	16,0/18,0		6,5/7,8	Al 0,70/1,50
X5CrNiMoCuNb14-5	1.4594	≤ 0,07	13,0/15,0	1,20/2,00	5,0/6,0	Cu 1,20/2,00; Nb 0,15/0,60
Austenitisch-ferritische korrosionsbeständige Stähle						
X2CrNi22-2	1.4062	≤ 0,03	21,5/24,0	≤ 0,45	1,00/2,90	N 0,16/0,28
X2CrMnNiN21-5-1	1.4162	≤ 0,04	21,0/22,0	0,10/0,80	1,35/1,70	Mn 4,0/6,0; N 0,20/0,25; Cu 0,10/0,80
X2CrNiN23-4	1.4362	≤ 0,03	22,0/24,0	0,10/0,60	3,5/5,5	Cu 0,10/0,60
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	≤ 0,03	21,0/23,0	2,5/3,5	4,5/6,5	N 0,10/0,22
X2CrNiMnMoCuN24-4-3-2	1.4662	≤ 0,03	23,0/25,0	1,00/2,00	3,0/4,5	Mn 2,5/4,0; Cu 0,10/0,80
X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	≤ 0,03	24,0/26,0	3,0/4,5	6,0/8,0	N 0,24/0,35
X2CrNiMoCuWN25-7-4	1.4501	≤ 0,03	24,0/26,0	3,0/4,0	6,0/8,0	Cu 0,50/1,00; W 0,50/1,00; N 0,20/0,30
Austenitische korrosionsbeständige Stähle						
X5CrNi18-10	1.4301	≤ 0,07	17,5/19,5		8,0/10,5	N ≤ 0,11
X4CrNi18-12	1.4303	≤ 0,06	17,0/19,0		11,0/13,0	N ≤ 0,11
X8CrNiS18-9	1.4305	≤ 0,10	17,0/19,0		8,0/10,0	S 0,15/0,35; Cu ≤ 1,00
X2CrNi19-11	1.4306	≤ 0,030	18,0/20,0		10,0/12,0	N ≤ 0,11
X2CrNi18-9	1.4307	≤ 0,030	17,5/19,5		8,0/10,5	N ≤ 0,11
X2CrNi18-10	1.4311	≤ 0,030	17,5/19,5		8,5/11,5	N 0,12/0,22
X6CrNiTi18-10	1.4541	≤ 0,08	17,0/19,0		9,0/12,0	Ti 5xC bis 0,70
X6CrNiNb18-10	1.4550	≤ 0,08	17,0/19,0		9,0/12,0	Nb 10xC bis 1,00
X3CrNiCu18-9-4	1.4567	≤ 0,04	17,0/19,0		8,5/10,5	Cu 3,0/4,0
X10CrNi18-8	1.4310	0,05/0,15	16,0/19,0	≤ 0,80	6,0/9,5	
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	≤ 0,07	16,5/18,5	2,00/2,50	10,0/13,0	N ≤ 0,10
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	≤ 0,030	16,5/18,5	2,00/2,50	10,0/13,0	N ≤ 0,10
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	≤ 0,08	16,5/18,5	2,00/2,50	10,5/13,5	Ti 5xC bis 0,70
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	≤ 0,030	16,5/18,5	2,5/3,0	11,0/14,0	N 0,12/0,22
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	≤ 0,030	17,0/19,0	2,5/3,0	12,5/15,0	N ≤ 0,10
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	≤ 0,05	16,5/18,5	2,5/3,0	10,5/13,0	N ≤ 0,10
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	≤ 0,030	16,5/18,5	4,0/5,0	12,5/14,5	N 0,12/0,22
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	≤ 0,020	19,0/21,0	4,0/5,0	24,0/26,0	Cu 1,20/2,00; N ≤ 0,15
X2CrNiMnMoNbN25-18-5-4	1.4565	≤ 0,030	24,0/26,0	4,0/5,0	16,0/19,0	Mn 5,0/7,0; N 0,30/0,60; Nb ≤ 0,15
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	≤ 0,020	19,0/21,0	6,0/7,0	24,0/26,0	Cu 0,50/1,50; N 0,15/0,25
X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	≤ 0,020	19,5/20,5	6,0/7,0	17,5/18,5	Cu 0,50/1,00; N 0,18/0,25
X1CrNiMoCuN24-22-8	1.4652	≤ 0,020	23,0/25,0	7,0/8,0	21,0/23,0	Mn 2,0/4,0; N 0,45/0,55

Tabelle 1: Genormte nichtrostende korrosionsbeständige Stähle (Auswahl) anhand von Angaben in EN 10088-1

Gefüge	Hauptlegierungsbestandteile
ferritisch	Cr
martensitisch	Cr, C (Kohlenstoffmartensite) oder Ni (Nickelmartensite)
austenitisch-ferritisch	Cr, Ni, Mo
austenitisch	Cr, Ni, Mo, mit höherem Ni-Gehalt als bei den austenitisch-ferritischen Stählen, Mangan im Fall der Manganaustenite

Tabelle 2: Die vier Hauptgruppen der nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle

elemente, sowie Zahlen, die in der Reihenfolge der kennzeichnenden Legierungselemente deren mittlere Massenanteile angeben, zusammen. Leichter zu übermitteln und zu merken ist die Werkstoffnummer (z.B. 1.4301), die sich bei den nichtrostenden Stählen deshalb als bevorzugtes Kennzeichen durchgesetzt hat.

Die aus Tabelle 1 hervorgehende Vielfalt der Stahlsorten entsteht durch unterschiedliche Kombination von Legierungsbestandteilen. Tabelle 2 vermittelt hierzu einen vereinfachten Überblick. Weil sich die nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle über einen Mindestanteil von 10,5 % Chrom definieren, ist bei jeder der vier Hauptgruppen das Chrom ein wesentlicher Legierungsbestandteil. Bei den martensitischen Stählen treten im Fall der kohlenstoffmartensitischen Stähle der Koh-

lenstoff und im Fall der nickelmartensitischen Stähle das Nickel als wesentliche Legierungsbestandteile hinzu. Die austenitisch-ferritischen Stähle können neben dem Chrom unter anderem sowohl Nickel als auch Molybdän als wesentliche Legierungsbestandteile enthalten. Bei den austenitischen Stählen ist neben dem Chrom üblicherweise das Nickel ein wesentliches Legierungselement, sofern nicht – wie bei den so genannten Manganausteniten – das Mangan an dessen Stelle tritt. Auf die Vielzahl weiterer möglicher Legierungselemente wie beispielsweise Stickstoff wurde schon einleitend hingewiesen.

Über diese vier Hauptgruppen der nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle hinausgehend gibt es noch eine fünfte Nebengruppe, die sich nicht über das Gefüge, sondern über die Erfordernis der Wärmebe-

handlungskombination Lösungsglühn und Aushärten definiert. Diese umfasst die ausscheidungshärten korrosionsbeständigen Stähle. Drei Beispiele für diese sind in Tabelle 1 aufgeführt.

3 Charakteristische Eigenschaften der nichtrostenden korrosionsbeständigen Stähle

3.1 Ferritische korrosionsbeständige Stähle

Man kann zwei Untergruppen ferritischer korrosionsbeständiger Stähle definieren:

- mit etwa 11 bis 13 % Cr (z.B. 1.4003, 1.4512),
- mit etwa 17 % Cr (z.B. 1.4016, 1.4510, 1.4105, 1.4511, 1.4509, 1.4113, 1.4521).

Darüber hinaus sind im Norm-Entwurf E DIN EN 10088-1:2012 auch einige ferritische korrosionsbeständige

Stahlsorte		Erzeugnisform ^{a)}	Dicke oder Durchmesser [mm] max.	0,2 %-Dehngrenze ^{b)} [N/mm ²] min.		Zugfestigkeit [N/mm ²]	Bruchdehnung ^{b)} [%] min.	Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion ^{c)}	
EN Kurzname	W.-Nr.			längs	quer			Lieferzustand	geschweißter Zustand
X2CrNi12	1.4003	C	8	280	320	450 / 650	20	nein	nein
		H	13,5	280	320	450 / 650			
		P	25	250	280	450 / 650			
		L	100	260	-	450 / 650			
X2CrTi12	1.4512	C	8	210	220	380 / 560	25	nein	nein
		H	13,5						
X6Cr17	1.4016	C	8	260	280	450 / 600	20	ja	nein
		H	13,5	240	260	430 / 630			
		P	25	240	260	400 / 630			
		L	100	240	-	400 / 630			
X3CrTi17	1.4510	C	8	230	240	420 / 600	23	ja	ja
		H	13,5						
X3CrNb17	1.4511	C	8	230	240	420 / 600	23	ja	ja
		L	50	200	-	420 / 460			
X6CrMo17-1	1.4113	C	8	260	280	450 / 630	18	ja	nein
		H	13,5						
		L	100	280	-	440 / 660			
X2CrMoTi18-2	1.4521	C	8	300	320	420 / 640	20	ja	ja
		H	13,5	280	300	400 / 600			
		P	12	300	300	420 / 640			

a) C = kaltgewalztes Band, H = warmgewalztes Band, P = Blech, L = Langprodukte

b) für Walzdraht gelten nur die Zugfestigkeitswerte

c) bei Prüfung nach EN ISO 3651-2

Tabelle 3: Mechanische Eigenschaften einiger ferritischer korrosionsbeständiger Stähle im geglühten Zustand bei Raumtemperatur und Beständigkeit gegenüber interkristalliner Korrosion, vereinfachte Übersicht anhand von Angaben aus den Normen EN 10088-2 und EN 10088-3

Stähle mit $\geq 20\%$ Cr enthalten. Bei diesen ist jeweils zu prüfen, ob die Verarbeitbarkeit für die angestrebte Endanwendung in ausreichend sicherem Umfang gegeben oder durch Kaltsprödigkeit beeinträchtigt ist. Andernfalls können beispielsweise die austenitisch-ferritischen korrosionsbeständigen Stähle als Alternativen in Betracht gezogen werden.

Die in **Tabelle 3** beispielhaft aufgeführten mechanischen Eigenschaften der ferritischen korrosionsbeständigen Stähle setzen ein feinkörniges Gefüge voraus, das durch eine der DIN EN 10088-2 und DIN EN 10088-3 zu entnehmende entsprechende Glühbehandlung erreicht wird. Durch den relativ niedrigen Chromgehalt der **11 bis 13 %igen** Chromstähle ist der Korrosionswiderstand z.B. unter atmosphärischen Bedingungen oder in wässrigen Medien begrenzt. Bei den **17 %igen Chromstählen** wird durch den höheren Chromgehalt eine bessere Korrosionsbeständigkeit erreicht. Allerdings ist auch damit der Stahl 1.4016 in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 nur in der Korrosionswiderstandsklasse I (gering) eingestuft, mit typischen Anwendungen für Konstruktionen in Innenräumen mit Ausnahme von Feuchträumen. Für nicht tragende Bauteile wird er auch für Außenanwendungen eingesetzt.

Durch Zulegieren von bis zu 2,5 % Molybdän kann die Korrosionsbeständigkeit der nichtrostenden ferritischen Stähle nochmals erhöht werden, so dass der nichtrostende ferritische Stahl 1.4521 für Anwendungen in der Trinkwasser-Hausinstallation hinreichend beständig und dafür zugelassen ist.

Einige Stähle enthalten Titan oder Niob als Karbid bildende Elemente, die den Kohlenstoff abbinden. Solche Stähle sind im geschweißten Zustand in den in **Tabelle 3** und in DIN EN 10088-2 und DIN EN 10088-3 genannten Erzeugnisabmessungen beständig gegen interkristalline Korrosion.

Ein besonderer Vorteil der ferritischen korrosionsbeständigen Stähle ist, dass sie im Gegensatz zu den austenitischen CrNi-Stählen eine hohe Beständigkeit gegen chloridin-

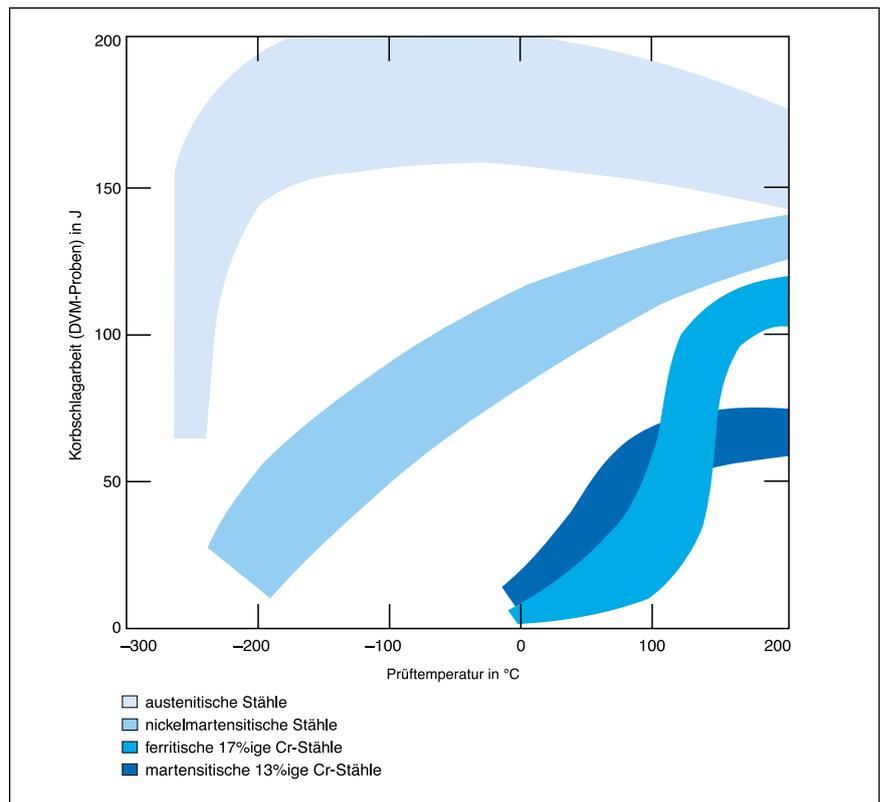


Bild 2: Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurven verschiedener nichtrostender Stähle (nach R. Oppenheim, aus Nichtrostende Stähle, 2. neu bearbeitete Auflage, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf 1989)



Bild 3: Auspuffanlagen – ein Einsatzgebiet von ferritischem korrosionsbeständigem Stahl im Automobilbau

duzierte transkristalline Spannungsrisskorrosion zeigen.

Bild 2 macht an Hand der Temperaturabhängigkeit der Kerbschlagarbeit die vorstehend erwähnte Neigung des ferritischen Gefüges zur Kaltsprödigkeit deutlich. Dies ist bei der Verarbeitung zu beachten.

Bild 3 veranschaulicht die Verwendung von ferritischem korrosionsbeständigem Stahl für Auspuffanlagen im Automobilbau.

3.2 Martensitische und ausscheidungshärtende korrosionsbeständige Stähle

Bei den **kohlenstoffmartensitischen korrosionsbeständigen Stählen** mit rund 12 bis 18 % Cr und mit C-Gehalten ab etwa 0,1 % (z.B. 1.4006, 1.4005, 1.4021, 1.4028, 1.4034, 1.4116, 1.4057, 1.4122, 1.4104) handelt es sich um Stähle, die bei hohen Temperaturen vollständig austenitisch sind. Schreckt man aus

Stahlsorte		C-Gehalt in Masse-%	Härte in HRC
EN Kurzname	W.-Nr.		
X20Cr	1.4021	0,16 / 0,25	44 / 50
X30Cr13	1.4028	0,26 / 0,35	45 / 51
X39Cr13	1.4031	0,36 / 0,42	47 / 53
X38CrMo14	1.4419	0,36 / 0,42	46 / 52
X39CrMo17-1	1.4122	0,33 / 0,45	47 / 53

Tabelle 4: Einfluss des Kohlenstoffgehaltes auf die Härte martensitischer korrosionsbeständiger Stähle in Form von kaltgewalztem Band, vergüteter Zustand, gemäß den Angaben in DIN EN 10088-2

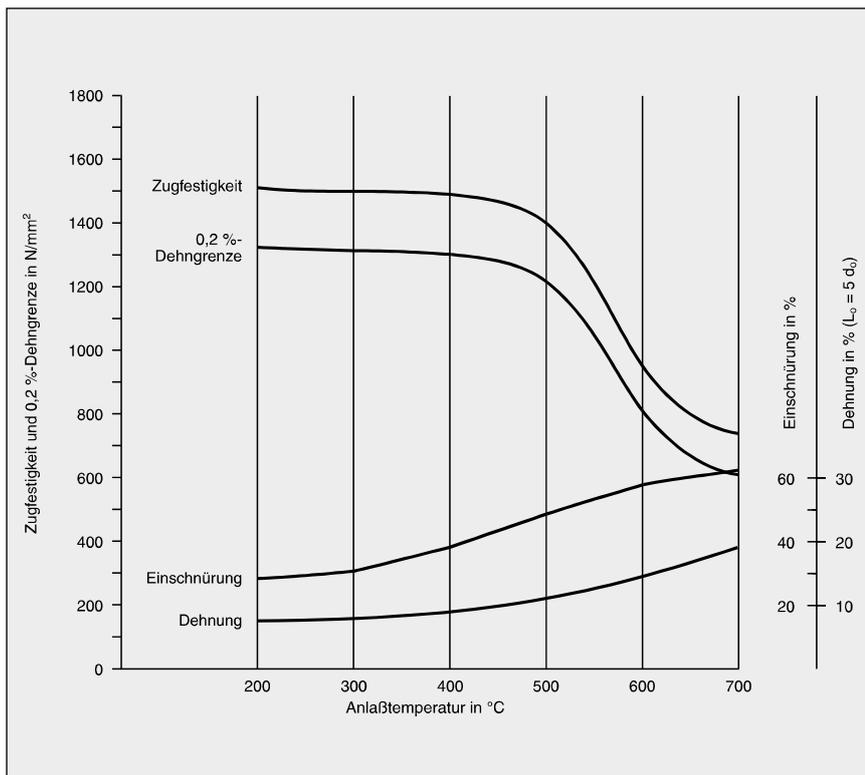


Bild 4: Vergütungsschaubild des Stahls Werkstoff-Nr. 1.4021; Härten: 1000 °C/Öl, Anlassen: Anlaßtemperatur 2 h/Luft (aus P. Gümpel und N. Arlt, Nichtrostende Stähle, 2. neu bearbeitete Auflage, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf 1989)



Bild 5: Rasierklingen aus martensitischem nichtrostendem Stahl

dem austenitischen Bereich ab, d.h. härtet man, so erhalten sie ein martensitisches Gefüge. Die Austenitierungstemperaturen liegen je nach Stahlsorte bei etwa 950-1050 °C; die Abschreckung kann sehr viel langsamer als bei vergleichbaren unlegierten Stählen erfolgen, beispielsweise mittels Luftabkühlung. Wie Tabelle 4 zeigt, ist die Härte der Stähle umso größer, je höher der C-Gehalt ist.

Im vergüteten Zustand werden hohe Festigkeitswerte erreicht. Allerdings ist auch bei den nichtrostenden kohlenstoffmartensitischen Stählen die in Bild 2 beispielhaft gezeigte Abhängigkeit der Zähigkeitswerte von der Temperatur zu beachten. Diese Abhängigkeit ist bei den nickelmartensitischen Stählen weniger ausgeprägt, so dass sie auch bei tieferen Temperaturen Anwendung finden können.

Bei den nickelmartensitischen korrosionsbeständigen Stählen wird die Rolle des Kohlenstoffs vom Nickel übernommen, beispielsweise beim Stahl 1.4313. Die Vergütungsfähigkeit bleibt dabei erhalten, ohne dass die Nachteile eines erhöhten Kohlenstoffgehaltes (Karbidausscheidungen, hohe Härteannahme) auftreten. Weiterhin wird der durchvergütbare Abmessungsbereich auf größere Durchmesser erweitert. Die Korrosionsbeständigkeit wird durch den Zusatz von Molybdän noch erhöht, wie beispielsweise beim Stahl 1.4418.

Je nach Erzeugnisform werden die martensitischen korrosionsbeständigen Stähle im geglühten oder vergüteten Zustand geliefert. Produkte, die im weichgeglühten Zustand geliefert werden (wie Kalt- und Warmband und daraus abgelängte Bleche), können durch Warmumformen oder durch Kaltumformen (z.B. Biegen, Prägen, Stanzen, Ziehen) bearbeitet werden, bevor die Vergütungsbehandlung vorgenommen wird.

Die Vergütungsbehandlung umfasst das Härten und anschließende Anlassen auf die in DIN EN 10088-2 und DIN EN 10088-3 hierfür genannten Temperaturen. Durch die Anlassbehandlung nehmen die Festigkeit ab und die Zähigkeit zu. Aus dem in

Bild 4 beispielhaft wiedergegebenen Vergütungs-schaubild für den Stahl 1.4021 erkennt man die große Variationsbreite der Festigkeitseigenschaften, die durch Wärmebehandlung erzielt werden. Im Hinblick auf beste Korrosionsbeständigkeit sind bevorzugt die vorgegebenen Wärmebehandlungstemperaturen einzuhalten.

Voraussetzung für eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit ist jedoch auch eine geeignete Oberflächenausführung, die durch ein anschließendes Beizen oder Feinschleifen und Polieren erreicht wird.

In vielen Einsatzgebieten wird diese Stahlgruppe wegen ihrer hohen Verschleißfestigkeit und Schneidhaltigkeit eingesetzt. Bei Schneidwarenherstellern hat u.a. der Werkstoff 1.4116 ein großes Interesse. **Bild 5** zeigt die Anwendung für die Herstellung von Rasierklingen.

Die in **Tabelle 1** im Anschluss an die nickelmartensitischen Stähle beispielhaft aufgeführten ausscheidungshärtbaren korrosionsbeständigen Stähle 1.4542, 1.4568 und 1.4594 lassen sich durch die dem Anhang zu DIN EN 10088-2 und DIN EN 10088-3 zu entnehmenden Aushärtungsbehandlungen auf hohe Festigkeitswerte bringen. Der Werkstoff 1.4542 findet zahlreiche Anwendungen in der Luftfahrt- und Medizintechnik sowie im Maschinenbau.

3.3 Austenitisch-ferritische korrosionsbeständige Stähle

Die austenitisch-ferritischen korrosionsbeständigen Stähle, wegen ihrer zwei Gefügebestandteile häufig als Duplex-Stähle bezeichnet, haben stetig an Bedeutung gewonnen.

Dies gilt besonders für den Stahl X2CrNiMoN22-5-3 (Werkstoff-Nr. 1.4462), der gemäß **Tabelle 1** ca. 22 % Cr, ca. 5 % Ni und ca. 3 % Mo sowie Stickstoff enthält. Dies führt zu einem ausgewogenen austenitisch-ferritischen Gefüge (in der Regel 50:50). Mit einem weiter reduzierten Nickelgehalt finden die so genannten **Magerduplex- oder Lean-Duplex-Stähle**, die in **Tabelle 1** beispielhaft mit den Stählen 1.4062, 1.4162, 1.4362 und 1.4662 vertreten sind, zunehmend Verwendung.

Aus einem Vergleich der **Tabellen 5 und 6** wird ersichtlich, dass die 0,2 %-Dehngrenzen dieser Stähle deutlich oberhalb derjenigen der austenitischen Stähle liegen. Dabei werden dennoch ausreichende Duktilitätswerte erreicht. Weiter hervorzuheben sind die günstigen Dauerfestigkeitseigenschaften dieser Stähle, auch in korrosiven Medien.

Stahlsorte		Erzeugnisform ^{a)}	Dicke oder Durchmesser [mm] max.	0,2 %-Dehngrenze ^{b)} [N/mm ²] min.		Zugfestigkeit ^{b)} [N/mm ²]	Bruchdehnung ^{b)} [%] min.	Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion ^{c)}	
EN Kurzname	W.-Nr.			längs	quer			Lieferzustand	sensibilisierter Zustand
X2CrNi22-2	1.4062	P	75		400	650 / 850	30	ja	ja
		L	160	380		650 / 900			
X2CrMnNiN21-5-1	1.4162	C	6,4		530	700 / 900	20/30	ja	ja
		H	10		480	680 / 900			
		P	75		400	630 / 800			
		L	160	400		650 / 900			
X2CrNiN23-4	1.4362	C	8		450	650 / 850	20	ja	ja
		H	13,5		400				
		P	75		400	630 / 800			
		L	160	400	-	600 / 830			
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	C	8		500	700 / 950	25	ja	ja
		H	13,5		460	700 / 950			
		P	75		460	640 / 840			
		L	160	450		650 / 880			
X2CrNiMnMoCuN24-4-3-2	1.4662	C	6,4		550	750 / 900	25 ^{d)}	ja	ja
		H	13		550				
		P	75		480	680 / 900			
		L	160	450		650 / 900			
X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	C	8		550	750 / 1000	20	ja	ja
		H	13,5		530				
		P	75		530	730 / 930			
		L	160	530					
X2CrNiMoCuWN25-7-4	1.4501	P	75		530	730 / 930	25	ja	ja
		L	160	530	-				

a) C = kaltgewalztes Band, H = warmgewalztes Band, P = Blech, L = Langprodukte
b) für Walzdraht gelten nur die Zugfestigkeitswerte
c) bei Prüfung nach EN ISO 3651-2;
d) 20 für < 3 mm Dicke

Tabelle 5: Mechanische Eigenschaften einiger austenitisch-ferritischer korrosionsbeständiger Stähle im lösungsgeglühten Zustand bei Raumtemperatur und Beständigkeit gegenüber interkristalliner Korrosion, vereinfachte Übersicht anhand von Angaben aus den Normen EN 10088-2 und EN 10088-3

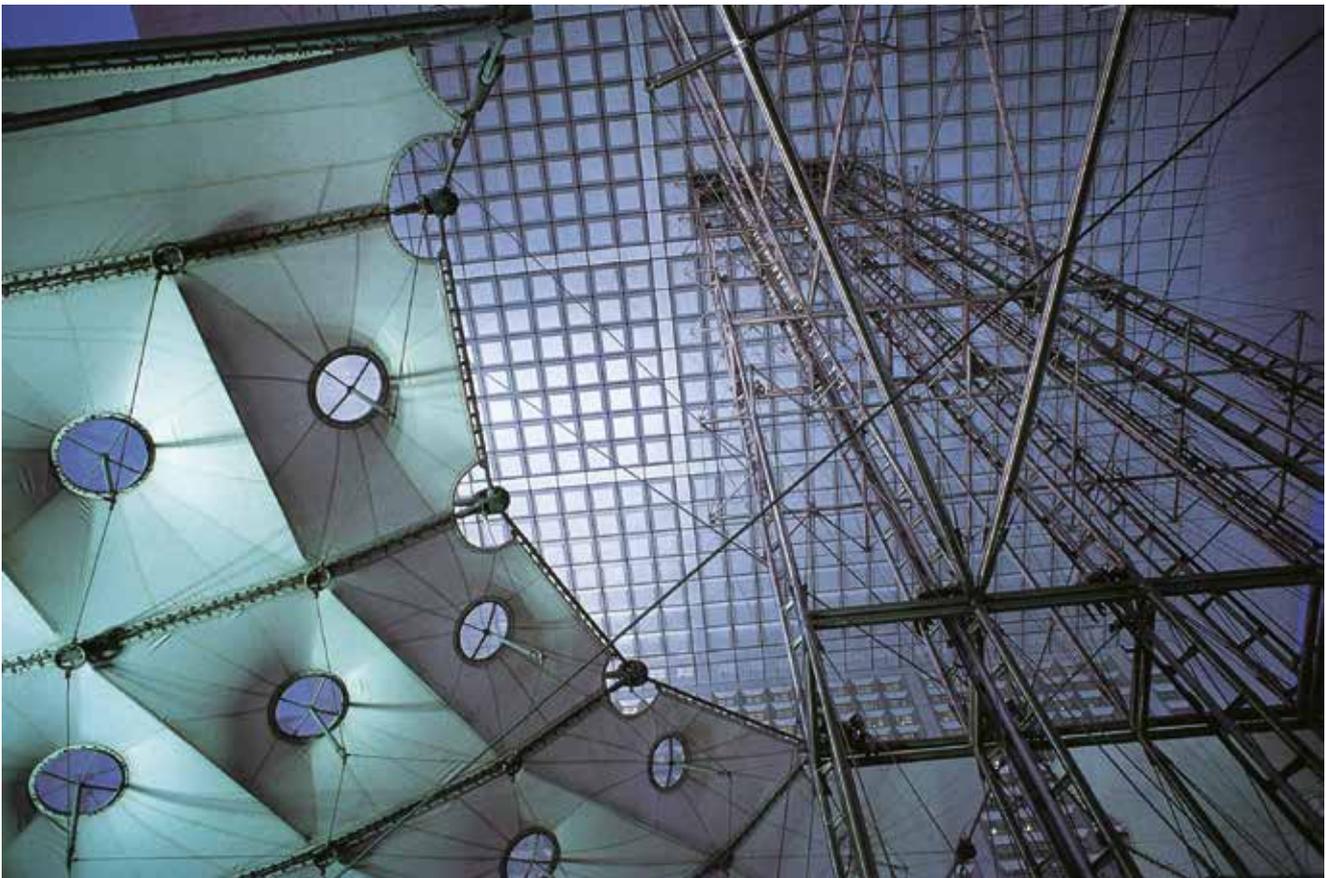


Bild 6: Aufzugsturm aus Duplex-Rohren (La Grande Arche, Paris)

Wie aus **Tabelle 1** hervorgeht, weisen die dort aufgeführten austenitisch-ferritischen korrosionsbeständigen Stähle einen deutlich höheren Chromgehalt auf als die dort genannten ferritischen und die Mehrzahl der austenitischen Stähle. Das kann beispielsweise unter atmosphärischen Einsatzbedingungen vorteilhaft für das Korrosionsverhalten der austenitisch-ferritischen Stähle sein. In Verbindung mit der vergleichsweise hohen 0,2 %-Dehngrenze lässt sich daraus ein interessantes Anwendungspotential für das Bauwesen ableiten, wie für den in **Bild 6** beispielhaft gezeigten Aufzugsturm und für feingliedrige Brückenkonstruktionen.

In der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 ist der nichtrostende austenitisch-ferritische Stahl 1.4362 eingestuft in der Korrosionswiderstandsklasse III (mittel), für Konstruktionen mit mäßiger Chlorid- und Schwefeldioxidbelastung und unzugängliche Konstruktionen. Der nichtrostende austenitisch-ferritische Stahl 1.4462 befindet sich in der Korrosionswiderstandsklasse IV (stark), für Kon-

struktionen mit hoher Korrosionsbelastung durch Chlor oder Chloride und/oder Schwefeldioxid und hoher Luftfeuchtigkeit sowie Bereiche, in denen aufgrund der Aufkonzentration von Schadstoffen eine sehr starke Korrosionsbelastung gegeben ist.

Bei der Betrachtung des Korrosionsverhaltens der nichtrostenden austenitisch-ferritischen Stähle ist weiterhin deren im Vergleich zu den austenitischen Stählen bessere Beständigkeit gegen chloridinduzierte Spannungsrisskorrosion hervorzuheben.

Die so genannten **Superduplexstähle**, die in **Tabelle 1** mit den Werkstoffen 1.4410 und 1.4501 vertreten sind, erlauben auf Grund der mit ihnen gegebenen Kombination von hoher Festigkeit und Meerwasserbeständigkeit gewichtsreduzierte Bauweisen bei Offshore-Plattformen und finden entsprechende Anwendungen.

Die Schweißbarkeit der austenitisch-ferritischen Stähle bereitet bei Beachtung der Schweißvorgaben keine Probleme.

3.4 Austenitische korrosionsbeständige Stähle

Die austenitischen CrNi-Stähle mit $\geq 8\%$ Ni bieten eine besonders günstige Kombination von Verarbeitbarkeit, mechanischen Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit. Sie sind die Universalwerkstoffe für viele Anwendungsmöglichkeiten und sind deshalb die bedeutendste Gruppe der nichtrostenden Stähle.

Wichtigste Eigenschaft dieser Stahlgruppe ist die hohe Korrosionsbeständigkeit, die mit zunehmendem Legierungsgehalt, insbesondere an Chrom und Molybdän, gesteigert wird. Man kann hier eine Einteilung in 3 Gruppen vornehmen, die nachfolgend an Hand von jeweils zwei Vertretern beispielhaft umrissen werden:

Die Stähle 1.4301 und 1.4541 sind in normaler Außenatmosphäre beständig und deshalb für Innen- und Außenanwendungen gleichermaßen geeignet. In der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 finden sie sich in der Korrosionswiderstandsklasse II, d.h. mäßig, für

zugängliche Konstruktionen, ohne nennenswerte Gehalte an Chloriden und Schwefeldioxid, keine Industrieatmosphäre.

Die Stähle 1.4401 und 1.4571 sind bis zu einem gewissen Grade auch in chloridhaltiger bzw. schwefeldioxidhaltiger Atmosphäre bei Raumtemperatur weitgehend beständig und daher auch für den Einsatz in Industrieatmosphäre sowie in Küstennähe geeignet. In der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 finden sie sich in der Korrosionswiderstandsklasse III, d.h. mittel, für Konstruktionen mit mäßiger Chlorid- und Schwefeldioxidbelastung und unzugängliche Konstruktionen.

Die Stähle 1.4529 und 1.4547 weisen eine hohe Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion auf. In der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 sind sie eingestuft in die Korrosionswiderstandsklasse IV, d.h. stark, für Konstruktionen mit hoher Korrosionsbelastung durch Chlor oder Chloride und/oder Schwefeldioxid und hoher Luftfeuchtigkeit sowie Bereiche, in denen aufgrund der Aufkonzentration von Schadstoffen eine sehr starke Korrosionsbelastung gegeben ist.

Wie bei den ferritischen Stählen, ist auch bei den austenitischen Stählen zum Erreichen optimaler technologischer Eigenschaften, die **Tabelle 6** zu entnehmen sind, ein feinkörniges Gefüge notwendig. Als abschließende Wärmebehandlung wird ein Lösungsglühen bei den in DIN EN 10088-2 und DIN EN 10088-3 hierfür angegebenen Temperaturen mit anschließender Abkühlung in Wasser oder in Luft durchgeführt, um die Ausbildung von Ausscheidungen zu vermeiden. Austenitische Stähle sind im Gegensatz zu martensitischen Stählen nicht härtbar durch Vergüten.

Für bestimmte Einsatzgebiete werden austenitische Stähle mit höheren Festigkeiten gefordert. Eine Steigerung der Dehngrenze kann z.B. durch Kaltumformung erreicht werden. So lassen sich je nach Umformungsgrad unterschiedliche Verfestigungsstufen erreichen, die u.a. Gegenstand der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 sind. Wie eine im

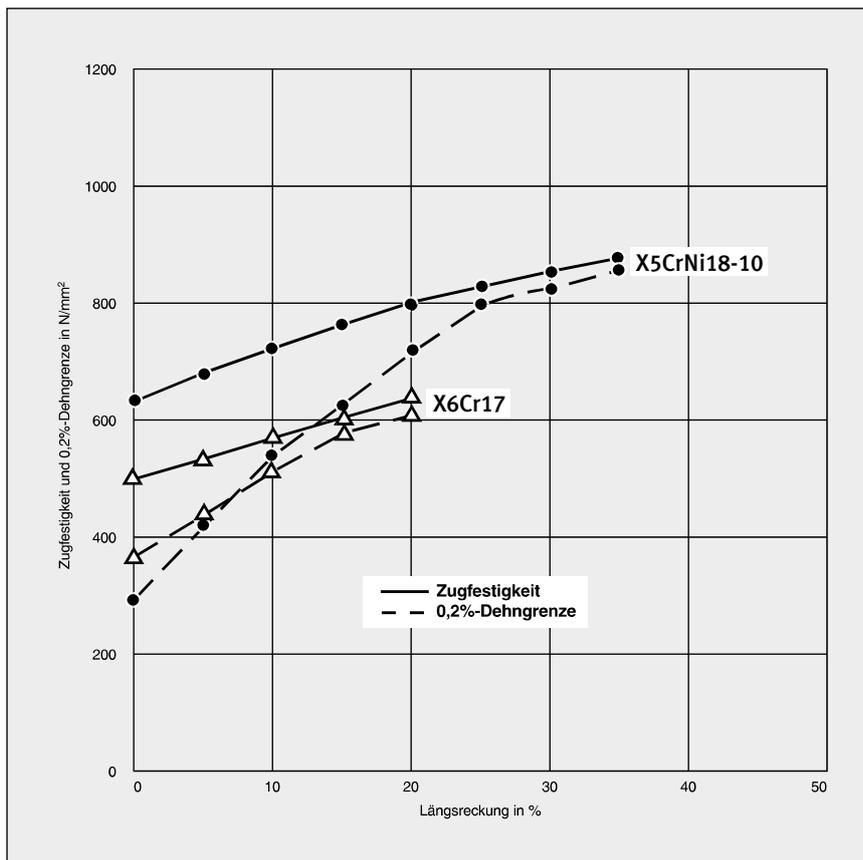


Bild 7: Verfestigungsverhalten einiger nichtrostender Stähle (aus W. Küppers, Nichtrostende Stähle, Kaltumformung, 2. neu bearbeitete Auflage, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf 1989)

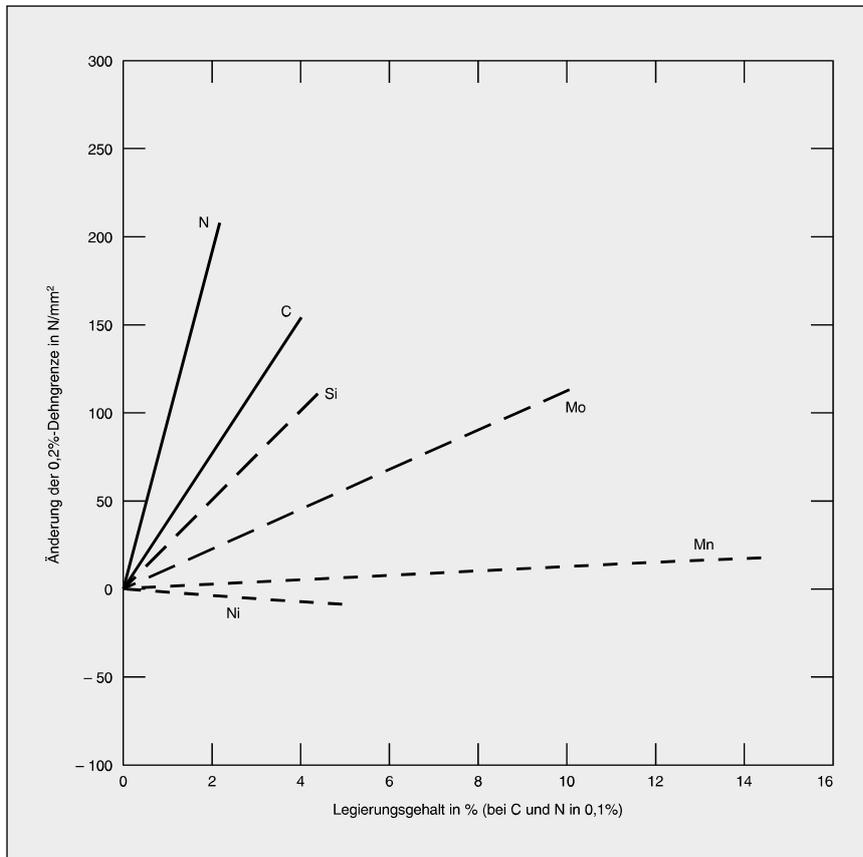


Bild 8: Einfluss einiger Legierungselemente auf die 0,2%-Dehngrenze von austenitischem Stahl (nach V.J. McNeely und D.T. Llewellyn, aus P. Gümpel und N. Arlt, in Nichtrostende Stähle, Aufbau und Eigenschaften, 2. neu bearbeitete Auflage, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf 1989)

Stahlsorte		Erzeugnisform ^{a)}	Dicke oder Durchmesser [mm] max.	0,2 %-Dehngrenze ^{b)} [N/mm ²] min.		Zugfestigkeit ^{b)} [N/mm ²]	Bruchdehnung ^{b)} [%] min.		Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion ^{c)}	
EN Kurzname	W.-Nr.			längs	quer		längs	quer	Lieferzustand	sensibilisierter Zustand ^{d)}
X5CrNi18-10	1.4301	C	8		230	540 / 750	45 ^{e)}	45 ^{e)}	ja	nein
		H	13,5		210					
		P	75			650 / 850	45	45		
		L	160	190		500 / 700	45			
	160 < t ≤ 250				35					
X4CrNi18-12	1.4303	C	8		220	500 / 650		45	ja	nein
		L	160	190		500 / 700	45			
			160 < t ≤ 250					35		
X8CrNiS18-9	1.4305	P	75	190		500 / 700		35	nein	nein
		L	160	190		500 / 750	35			
X2CrNi19-11	1.4306	C	8		220	520 / 700		45	ja	ja
		H	13,5		200					
		P	75			500 / 700				
		L	160	180		460 / 680	45			
	160 < t ≤ 250				35					
X2CrNi18-9	1.4307	C	8		220	520 / 700		45	ja	ja
		H	13,5		200					
		P	75			500 / 700				
		L	160	175		500 / 700	45			
	160 < t ≤ 250				35					
X2CrNi18-10	1.4311	C	8		290	550 / 750		40	ja	ja
		H	13,5		270					
		P	75							
		L	160	270		550 / 760	40			
	160 < t ≤ 250				30					
X6CrNiTi18-10	1.4541	C	8		220	520 / 720		40	ja	ja
		H	13,5		200					
		P	75			500 / 700				
		L	160	190		500 / 700	40			
	160 < t ≤ 250				30					
X6CrNiNb18-10	1.4550	C	8		220	520 / 720		40	ja	ja
		H	13,5		200					
		P	75			500 / 700				
		L	160	205		510 / 740	40			
	160 < t ≤ 250				30					
X3CrNiCu18-9-4	1.4567	L	160		175	450 / 650	45		ja	ja
X10CrNi18-8	1.4310	C	8		250	600 / 950		40	nein	nein
		L	40	195		500 / 750	40			
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	C	8		240	530 / 680		40	ja	nein
		H	13,5		220					
		P	75			520 / 670		45		
		L	160	200		500 / 700	40			
	160 < t ≤ 250				30					
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	C	8		240	530 / 680		40	ja	ja
		H	13,5		220					
		P	75			520 / 670		45		
		L	160	200		500 / 700	40			
	160 < t ≤ 250				30					
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	C	8		240	540 / 690		40	ja	ja
		H	13,5		220					
		P	75			520 / 670				
		L	160	200		500 / 700	40			
	160 < t ≤ 250				30					

Tabelle 6 (1/2): Mechanische Eigenschaften einiger austenitischer korrosionsbeständiger Stähle im lösungsgeglühten Zustand bei Raumtemperatur und Beständigkeit gegenüber interkristalliner Korrosion, vereinfachte Übersicht anhand von Angaben aus den Normen EN 10088-2 und EN 10088-3

X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	C	8		300	580 / 780	35	35	ja	ja	
		H	13,5		280		40	40			
		P	75			280	580 / 800	40			
		L	160						30		
			160 < t ≤ 250								
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	C	8		240	550 / 700		40	ja	ja	
		H	13,5		220		520 / 670				45
		P	75			200		500 / 700	40		
		L	160						30		
			160 < t ≤ 250								
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	C			240	550 / 700		40	ja	ja	
		H			220		530 / 730				
		P				200		500 / 700	40		
		L	160						30		
			160 < t ≤ 250								
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	C	8		290	580 / 780		35	ja	ja	
		H	13,5		270		580 / 800				40
		P	75			280		580 / 800	35		
		L	160						30		
			160 < t ≤ 250								
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	C	8		240			35	ja	ja	
		H	13,5		220		530 / 730				
		P	75			230		530 / 730	35		
		L	160						30		
			160 < t ≤ 250								
X2CrNiMn-MoNbN25-18-5-4	1.4565	C	6		420	800 / 950		30	ja	ja	
		H	10				420				
		P	40			300		650 / 850	35		
		L	160						40		
			75								
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	P	75		300	650 / 850		40	ja	ja	
		L	160				300	650 / 850			40
					160 < t ≤ 250						35
X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	C	8		320	650 / 850		35	ja	ja	
		H	13,5		300		650 / 850				40
		P	75			300		650 / 850	35		
		L	160						30		
			160 < t ≤ 250								
X1CrNiMoCuN24-22-8	1.4652	C	8		430	750 / 1000		40	ja	ja	
		H	13,5				430				
		P	15			430		750 / 1000	40		
		L	50						40		
			50								

a) C = kaltgewalztes Band, H = warmgewalztes Band, P = Blech, L = Langprodukte

b) für Walzdraht gelten nur die Zugfestigkeitswerte

c) bei Prüfung nach EN ISO 3651-2

d) Sensibilisierungsbehandlung 15 min bei 700 °C mit nachfolgender Abkühlung an Luft

e) Bei streckgerichteten Erzeugnissen ist der Mindestwert 5 % niedriger

Tabelle 6 (2/2): Mechanische Eigenschaften einiger austenitischer korrosionsbeständiger Stähle im lösungsgeglühten Zustand bei Raumtemperatur und Beständigkeit gegenüber interkristalliner Korrosion, vereinfachte Übersicht anhand von Angaben aus den Normen EN 10088-2 und EN 10088-3

Vergleich zu den ferritischen Stählen höhere Kaltverfestigungsneigung der austenitischen Stähle aussehe kann, zeigt **Bild 7**. Bei der Kaltumformung kann es zusätzlich zur Bildung von Verformungs-Martensit kommen.

Eine andere Möglichkeit ist die Mischkristallverfestigung durch legierungstechnische Maßnahmen. Der Einfluss der für die nichtrostenden Stähle wichtigen Legierungselemente auf die 0,2 %-Dehngrenze ist

in **Bild 8** dargestellt: Die Elemente Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) zeigen die größte Wirkung. Auf die Zugabe von Kohlenstoff wird jedoch aus korrosionschemischen Gründen verzichtet.

Im Vergleich zum Kohlenstoff hat das Zulegieren von Stickstoff den Vorteil, dass neben einer Erhöhung der Festigkeit auch die Korrosionsbeständigkeit verbessert wird. **Stickstoffhaltige austenitische Stähle** mit höheren

Festigkeitskennwerten sind z.B. die Stähle 1.4311, 1.4429 und 1.4439. Wie am Beispiel des Stahls 1.4565 deutlich wird, ist durch gezielte Abstimmung der Legierungsgehalte eine Steigerung der 0,2 %-Dehngrenze sogar auf Werte über 400 N/mm² möglich.

Das hohe **Dehnungsvermögen** – die Bruchdehnungswerte nichtrostender austenitischer Stähle sind gemäß **Tabelle 6** fast doppelt so hoch wie

die der nichtrostenden ferritischen Stähle und in der Regel auch denen der austenitisch-ferritischen Stähle überlegen – führt zu sehr guter Kaltumformbarkeit. Daraus resultieren günstige Tiefzieh- und/oder Streckzieheigenschaften sowie gute Abkantbarkeit.

Besondere Bedeutung haben auch die höheren Kerbschlagarbeitswerte, die bis zu sehr tiefen Temperaturen auf einem hohen Niveau liegen, wie in **Bild 2** gezeigt wird. Daher können die nichtrostenden austenitischen kaltzähnen Stähle für Anlagen eingesetzt werden, die bei Temperaturen bis -269 °C arbeiten (s. AD-Merkblatt W10).

4 Korrosionsbeständigkeit

4.1 Allgemeines

Wie eingangs schon erwähnt, weisen die nichtrostenden Stähle eine im Vergleich zu den unlegierten und niedriglegierten Stählen deutlich verbesserte Korrosionsbeständigkeit auf. Sie sind gegen zahlreiche aggressive Medien beständig und bedürfen keines weiteren Oberflächenschutzes. Diese Passivität wird durch Zulegieren von min. 10,5 % Chrom zum Eisen bewirkt. Bei mechanischer Beschädigung der Passivschicht bildet sich diese spontan wieder aus.

Die Korrosionsbeständigkeit von Edelstahl Rostfrei ist vorrangig abhängig von der Legierungszusammensetzung des Stahls, daneben von seiner Oberfläche und vom Gefügestand. Daher ist die Wahl der richtigen Stahlart im richtigen Wärmebehandlungszustand mit der richtigen Oberflächenbearbeitung wesentlich für die Korrosionsbeständigkeit.

4.2 Korrosionsarten

Nachfolgend werden einige wichtige Korrosionsarten in Kürze erläutert:

Abtragende Flächenkorrosion

Abtragende Flächenkorrosion ist durch einen gleichmäßigen oder

annähernd gleichmäßigen Abtrag gekennzeichnet. In der Regel wird eine Abtragungsrate unter $0,1\text{ mm/Jahr}$ als ausreichende Beständigkeit gegen Flächenkorrosion angesehen. Für die Massenverlustrate pro Flächeneinheit gilt für nichtrostende Stähle die Beziehung $1\text{ g/h} \times \text{m}^2 = 1,1\text{ mm/a}$. Gleichmäßige Flächenkorrosion kann bei nichtrostenden Stählen nur in Säuren und starken Laugen auftreten. Sie wird wesentlich von der Legierungszusammensetzung bestimmt. So sind z.B. die 17 % Chromstähle wesentlich beständiger als die 11-13 % Chromstähle. Eine noch höhere Beständigkeit gegen Flächenkorrosion zeigen die austenitischen Chrom-Nickel-Stähle. Zusätzlich kann die Beständigkeit durch Zulegieren von Molybdän in vielen Fällen weiter erhöht werden.

Lochkorrosion (Pitting)

Lochkorrosion kann auftreten, wenn die Passivschicht örtlich durchbrochen wird. Wenn Chloridionen, besonders bei erhöhten Temperaturen, vorliegen, können an diesen Stellen – häufig nur nadelstichtartig – Löcher entstehen. Durch Ablagerungen, Fremdstoffe, Schlackenreste und Anlauffarben auf der Oberfläche wird die Gefahr einer Lochkorrosion verstärkt.

Für die Beständigkeit gegenüber Loch- und der nachfolgend genannten Spaltkorrosion ist die Summe aus dem Chromgehalt und ungefähr dem 3,3fachen des Molybdängehalts maßgebend. Dies kommt in der so genannten

Wirksamkeit

$$W = \% \text{Cr} + 3,3 \times \% \text{Mo}$$

zum Ausdruck. Für sehr hochlegierte austenitische und für die austenitisch-ferritischen Stähle wird auch das Legierungselement Stickstoff mit unterschiedlichen Faktoren in die Wirksamkeit einbezogen, zumeist mit einem Faktor von 16 für die nichtrostenden austenitisch-ferritischen Stähle und mit einem Faktor von 30 für die hochlegierten austenitischen Stähle.

Spaltkorrosion

Spaltkorrosion ist – wie der Name schon sagt – an das Vorhanden-

sein von Spalten gebunden. Diese können konstruktiv oder betriebsbedingt, beispielsweise unter Ablagerungen vorhanden sein. Da die Spaltkorrosion im Wesentlichen den gleichen Mechanismen unterliegt wie die Lochkorrosion, gelten die o.g. Ausführungen einschl. Legierungseinfluss und Wirksumme auch hier.

Spannungsrissskorrosion

Bei dieser Korrosionsart entstehen Risse, die bei nichtrostenden Stählen im Allgemeinen transkristallin verlaufen. Nur wenn die folgenden drei Bedingungen gleichzeitig vorliegen, ist Spannungsrissskorrosion möglich:

- a) die Oberfläche des Bauteils steht unter Zugspannungen,
- b) die Einwirkung eines spezifischen Mediums, meist mit Chloridionen als ursächlicher Bestandteil,
- c) die Empfindlichkeit des Werkstoffs gegenüber Spannungsrissskorrosion.

Bei den Zugspannungen ist es gleichgültig, ob sie von außen durch Zug- oder Biegespannungen aufgebracht werden oder ob sie als verarbeitungsbedingte Eigenspannungen im Werkstück vorliegen. Eigenspannungen lassen sich im Prinzip entweder thermisch durch Spannungsarm- oder Weichglühen oder mechanisch wie beispielsweise durch Recken oder Strahlen abbauen. In zahlreichen Fällen ist aber weder das eine noch das andere möglich.

Die austenitischen CrNi- und CrNiMo-Standardstähle mit etwa 8 bis 12 % Nickel sind in Chloridlösungen empfindlicher gegen Spannungsrissskorrosion als die ferritischen und die austenitisch-ferritischen Stähle. Bei den austenitischen Stählen lässt sich die Spannungsrissskorrosionsbeständigkeit durch Erhöhen des Nickelgehalts ganz wesentlich verbessern.

Interkristalline Korrosion

Interkristalline Korrosion kann bei nichtrostenden Stählen in sauren Medien dann auftreten, wenn sich zuvor durch Wärmeeinwirkung Chromkarbide an den Korngrenzen ausgeschieden haben. Eine solche Wärmeeinwirkung tritt z.B. beim Schweißen in der Nähe der Schweißnaht, in der so genannten Wärmeeinflusszone, auf. Das zur Bildung der

Chromkarbide benötigte Chrom wird dabei dem Grundwerkstoff entzogen. Das bewirkt eine örtliche Chromverarmung in der Umgebung der ausgeschiedenen Chromkarbide. Geht diese soweit, dass dort der Chromgehalt unter den für eine Passivierung benötigten Mindestgehalt absinkt, kommt es zu interkristalliner Korrosion. Es ist klar, dass auch der Ausgangschromgehalt der Legierung dabei eine Rolle spielt.

In der Praxis wird der interkristallinen Korrosion bei den nichtrostenden austenitischen Stählen dadurch begegnet, dass man entweder den Kohlenstoffgehalt stark absenkt oder den Kohlenstoff durch Zugabe von Titan oder Niob abbindet.

Die Löslichkeit des Kohlenstoffs in den nichtrostenden ferritischen Stählen ist weitaus geringer. Daher lässt sich bei Abkühlung von Lösungsglüh-temperatur bei diesen Stählen eine Chromkarbidausscheidung nicht unterdrücken, und eine ausreichende Beständigkeit gegenüber interkristalliner Korrosion kann bei den ferritischen Stählen in der Regel durch eine Absenkung des Kohlenstoffs allein nicht erreicht werden. Eine Abbindung des Kohlenstoffs durch Zusätze von Titan oder Niob ist erforderlich. Im Einzelnen geben **Tabelle 3** und die einschlägigen Normen DIN EN 10088-2 und DIN EN 10088-3 Auskunft, bei welchen Werkstoffen und Erzeugnisabmessungen im Lieferzustand und im geschweißten Zustand eine Beständigkeit der ferritischen Stähle gegenüber interkristalliner Korrosion erwartet werden kann.

Bimetallkorrosion

Bimetallkorrosion kann entstehen, wenn unterschiedliche metallische Werkstoffe miteinander in Kontakt stehen und von einem Elektrolyten benetzt werden. Bimetallkorrosion ist damit eine Sonderform der galvanischen Korrosion. Der weniger edle Werkstoff (Anode) wird an der Kontaktstelle angegriffen und geht in Lösung. Der edlere Werkstoff (Kathode) wird nicht angegriffen. In der Praxis sind die nichtrostenden Stähle gegenüber vielen anderen metallischen Werkstoffen, wie unlegierten und niedriglegierten Stählen sowie Aluminium, die edleren Werkstoffe.

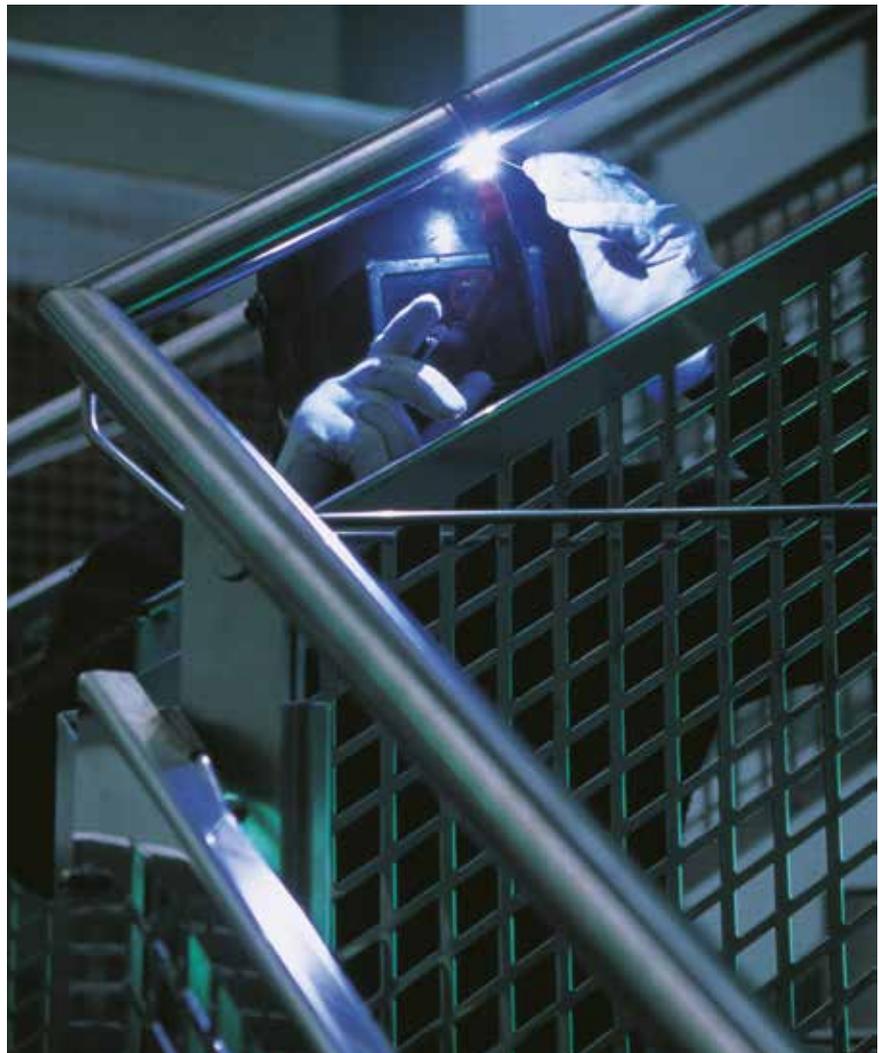


Bild 9: WIG-Schweißen eines Edelstahlgeländers

Beachtenswerte Ausnahmen sind allerdings Grafit in Dichtungen und Aktivkohle in Filtern.

Bimetallkorrosion kann besonders dann auftreten, wenn die Oberfläche des edleren Werkstoffes im Verhältnis zur Oberfläche des weniger edlen Werkstoffes groß ist.

4.3 Anwendungshinweise unter Gesichtspunkten der Korrosionsbeständigkeit

Auch im Fall von Edelstahl Rostfrei ist die Korrosionsbeständigkeit keine Werkstoffeigenschaft, sondern ein Werkstoffverhalten, welches aus der von der Werkstoffoberfläche ausgehenden Wechselwirkung mit dem umgebenden Medium unter den jeweiligen Betriebsbedingungen resultiert. Wird dabei keine über das jeweils tolerierbare Maß hinausge-

hende Beeinflussung von Werkstoff oder Medium festgestellt, spricht man von Korrosionsbeständigkeit.

Über die bereits in Abschnitt 3 gegebenen Hinweise hinausgehend geben zur Korrosionsbeständigkeit von Edelstahl Rostfrei in verschiedenen Anwendungsbereichen folgende ISER-Merkblätter Auskunft:

- *Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern (MB 830),*
- *Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle an der Atmosphäre (MB 828),*
- *Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen (MB 829),*
- *Edelstahl Rostfrei in Erdböden (MB 833),*
- *Edelstahl Rostfrei in Schwimmbädern (MB 831),*
- *Edelstahl Rostfrei im Bauwesen: Technischer Leitfaden (MB 875)*
- *Nichtrostender Stahl – Wenn die Gesundheit zählt (MB 914)*

Über die Korrosionsbeständigkeit der nichtrostenden Stähle in verschiedenen Medien/Chemikalien geben weiterhin Auskunft die DIN 6601 über die Beständigkeit von Werkstoffen für Behälter aus Stahl gegenüber Flüssigkeiten (www.beuth.de), die DECHEMA-Werkstoff-Tabelle (www.dechema.de) und die Beständigkeitstabellen und -diagramme der Hersteller-Werke (www.edelstahlrostfrei.de/Werkstoff).

5 Schweißbeignung

Wie Bild 9 beispielhaft deutlich macht, ist in vielen Einsatzgebieten nichtrostender Stähle die Schweißbarkeit eine der wichtigsten Verarbeitungseigenschaften. Neben den geforderten Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften von Schweißverbindungen muss die Korrosionsbeständigkeit der Schweißnaht sowie der Wärmeeinflusszone der des Grundwerkstoffes entsprechen. Sicherheit und Lebensdauer der gesamten Schweißkonstruktion hängen unmittelbar von der Schweißnahtgüte ab.

Zur Erfüllung dieser Ansprüche müssen neben geeigneten Schweißzusätzen auch optimierte Schweißtechniken in Verbindung mit einer anschließenden sorgfältigen Nahtnachbearbeitung eingesetzt werden. Ausführliche Informationen zu allen damit verbundenen Fragen sind in den ISER-Merkblättern

- *Die Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei (MB 822) und*
- *Schweißen von Edelstahl Rostfrei (MB 823)*

enthalten. Nachfolgend werden im Sinne einer kurzen Übersicht einige daraus entnommene Hinweise wiedergegeben:

Die austenitischen Edelstähle lassen sich mit nahezu allen in der Praxis üblichen Verfahren schmelz- und widerstandsschweißen. Nur vom Gasschweißen (Sauerstoff-Azetylen) ist abzuraten.

Die Schweißzusatzwerkstoffe entsprechen weitgehend den Grundwerkstoffen, sind jedoch ver-

fahrensbedingt modifiziert. Ihre Zusammensetzung ist so abgestimmt, dass sie bei ordnungsgemäßer Handhabung ein weitgehend artgleiches, einwandfreies Schweißgut ergeben.

Die nichtrostenden ferritischen und austenitisch-ferritischen Edelstähle können grundsätzlich nach den gleichen Verfahren geschweißt werden wie die austenitischen Edelstähle.

Bei Schweißverbindungen unterschiedlicher austenitischer Edelstahlsorten, beispielsweise 1.4301 mit 1.4401 genügt im Allgemeinen der für den weniger hoch legierten Grundwerkstoff geeignete artgleiche Schweißzusatzwerkstoff. Auch so genannte „Schwarz-Weißverbindungen“ sind möglich.

Beim Schweißen nichtrostender austenitischer Stähle sind gegenüber den un- und niedriglegierten Stählen die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften zu beachten:

- der höhere Wärmeausdehnungskoeffizient,
- die niedrigere Wärmeleitfähigkeit,
- der größere elektrische Widerstand.

Der relativ hohe Wärmeausdehnungskoeffizient und die niedrige Wärmeleitfähigkeit nichtrostender Stähle wirken sich besonders auf den Verzug beim Schweißen aus. Abhilfemaßnahmen sind:

- Wärmeabführung durch Kupferschienen,
- Schweißen mit niedriger Streckenergie,
- Heften in kürzeren Abständen.

Die nichtrostenden ferritischen Stähle, beispielsweise 1.4003, 1.4016, 1.4511 und 1.4512 verhalten sich bezüglich der Wärmeausdehnung etwa wie die un- und niedrig legierten Stähle. Im Vergleich zu den austenitischen Stählen sind sie jedoch bis auf den Stahl 1.4003 in der Wärmeeinflusszone wegen der Bildung von Grobkorn und Chromkarbidausscheidungen wesentlich kritischer zu verarbeiten. Deshalb sind die Schweißverbindungen mit kleinstmöglicher Schmelzbädern auszuführen, das

heißt mit geringem Schweißzusatzdraht-Durchmesser und geringer Streckenergie. Meistens werden austenitische Schweißzusätze wegen der besseren Zähigkeitseigenschaften in der Schweißverbindung verwendet.

Während die martensitischen Stähle mit geringen Kohlenstoffgehalten bedingt schweißgeeignet sind, werden die Stähle mit höheren Kohlenstoffgehalten nicht geschweißt. Ebenso wie bei den ferritischen werden auch bei martensitischen Stählen für das Verbindungsschweißen austenitische Schweißzusätze empfohlen. Im Hinblick auf die Korrosionsbeständigkeit kann es zweckmäßig sein, die Decklagen artgleich zu schweißen.

Die nichtrostenden Ti- oder Nb-stabilisierten Sorten und die nichtrostenden Stähle mit abgesenktem Kohlenstoffgehalt sind im geschweißten bzw. sensibilisierten Zustand gegen interkristalline Korrosion nach Maßgabe der hierfür in DIN EN 10088-2 und DIN EN 10088-3 genannten Erzeugnisformen und -abmessungen beständig.

Anlauffarben sind entweder durch Überdecken mit geeignetem Schutzgas zu vermeiden, – so genanntes Formieren, – oder nach dem Schweißen mechanisch oder chemisch sorgfältig zu entfernen, um die Korrosionsbeständigkeit der Schweißnähte sicherzustellen.

6 Umformbarkeit

Die nichtrostenden Stähle weisen in der Regel ein gutes Umformverhalten auf, so dass sie für eine Vielzahl verschiedener Anwendungen in Betracht kommen. Von Bedeutung sind hier insbesondere die Flachprodukte aus nichtrostenden Stählen, die ihren Gebrauchswert in vielen Fällen erst durch einen nachfolgenden Umformvorgang erhalten.

Zu den wichtigsten Umformverfahren für Flacherzeugnisse zählt das **Tiefziehen**. Man unterscheidet je nach dem vorliegenden Spannungszustand zwischen dem „echten“ Tiefziehen (z.B. Näpfchen-Tiefziehen) und Streckziehen. Beim „echten“



Bild 10: Pfanne als Tiefziehteil

Tiefziehen ist das Nachfließen des Zuschnittes über den Ziehring möglich, während der Zuschnitt beim Streckziehen durch den Niederhalter starr gehalten wird und kein Nachfließen möglich ist. Die Verformung erfolgt in diesem Fall allein aus der Blechdicke. Viele reale Umformteile, insbesondere solche mit komplizierter Geometrie, stellen eine Kombination von „echtem“ Tiefziehen und Streckziehen dar. **Bild 10** zeigt eine Pfanne als Tiefziehteil.

Für Flacherzeugnisse ist weiterhin das **Biegen** ein häufig angewendetes Umformverfahren. Es kann entweder auf einer Abkantpresse im Gesenk durchgeführt werden oder mittels Rollenprofilierung in Walzgerüsten erfolgen. Beispiele für letzteres sind das Kaltprofilieren sowie die Herstellung von längsnahtgeschweißten Rohren.

Bei Langerzeugnissen aus nichtrostenden Stählen kommt in erster Linie die **Kaltmassivumformung** zur Anwendung. Hierzu zählen das Kaltfließpressen und das Kaltstauchen. Als weiteres Umformverfahren wird

das Ziehen angewendet. Es hat zum Ziel, das Produkt in die gewünschte Abmessung zu bringen (z.B. Drahtdurchmesser). In vielen Fällen ist aber auch die mit der Verformung verbundene Kaltverfestigung erwünscht. Typische Beispiele sind das Ziehen von Federdraht sowie das Rohrziehen bei der Präzisionsrohrherstellung.

Die nichtrostenden **ferritischen** Stähle verhalten sich hinsichtlich der erforderlichen Umformkräfte annähernd wie die unlegierten Stähle. Sie sind jedoch im Vergleich zu unlegierten Tiefziehstählen in ihrem Verformungsvermögen eingeschränkt. Dabei ist im Auge zu haben, dass bei diesen Werkstoffen nicht die Umformbarkeit, sondern die Korrosionsbeständigkeit die oberste Priorität innerhalb des insgesamt gewünschten Werkstoffverhaltens hat.

Beim Nöpfchen-Tiefziehen erreichen nichtrostende ferritische Stähle, bedingt durch ihr gutes Fließverhalten, ein hohes Grenzziehverhältnis ($\beta_{\max} > 2,0$). Bei einer Beanspruchung durch Streckziehen sind sie dage-

gen nur eingeschränkt umformungsfähig. Trotz dieser Einschränkung kommen Ferrite für eine Vielzahl von Anwendungen zum Einsatz. Gängige Umformteile sind zum Beispiel Abdeckungen und Verkleidungen in der Architektur, Mäntel von Geschirrspülern, Flachwaren, Zierleisten an Automobilen, Katalysator-Halbschalen sowie längsnahtgeschweißte Rohre.

Die nichtrostenden austenitischen Stähle weisen im Vergleich zu unlegierten Stählen und ferritischen nichtrostenden Stählen eine wesentlich stärkere Kaltverfestigung auf. Dies hat einen deutlich höheren Kraftbedarf bei der Umformung zur Folge. Übliche austenitische Werkstoffe wandeln während der Umformung teilweise in Martensit um. Die martensitische Umwandlung wirkt sich allerdings nur bei der Umformung durch Mehrfach-Züge ungünstig aus. Falls erforderlich, kann sie durch eine Zwischenglühung wieder beseitigt werden.

Beim Nöpfchen-Tiefziehen erreichen die nichtrostenden austenitischen Stähle annähernd dasselbe Grenzziehverhältnis wie die nicht-

rostenden ferritischen Stähle. Ein deutlich günstigeres Umformverhalten zeigen die Austenite dagegen bei einer Beanspruchung durch Streckziehen. Komplizierte Umformteile werden deshalb vorzugsweise aus nichtrostenden austenitischen Stählen gefertigt. Beispiele sind Geschirrspüler-Innentüren und -Böden, Spülbecken, Hohlwaren und Rohre.

7 Spanbarkeit

Bei der Zerspanung nichtrostender Stähle gelten insbesondere die austenitischen Stähle als schwierig zu bearbeiten. Die Spanbarkeit dieser Stähle wird durch die hohe Kaltverfestigungsneigung, die niedrige Wärmeleitfähigkeit und die gute Zähigkeit ungünstig beeinflusst. Das wichtigste Element, das zur Verbes-

serung der Spanbarkeit bei nichtrostenden Stählen beiträgt, ist Schwefel.

Die zur spanenden Bearbeitung vorgesehenen nichtrostenden Stähle lassen sich, wie **Tabelle 7** zeigt, in 2 Gruppen unterteilen. Daneben gibt es Sonderautomatenstähle für spezifische Anwendungen.

Die **Automatenstähle** enthalten in

Stahlsorte		Schwefelgehalt in %
EN Kurzname	Werkstoffnummer	
Automatenstähle		
X14CrMoS17	1.4104	0,15 bis 0,35
X6CrMoS17	1.4105	
X8CrNiS18-9	1.4305	
Standardstähle mit verbesserter Spanbarkeit ¹⁾		
X5CrNi18-10	1.4301	0,015 bis 0,030
X2CrNi19-11	1.4306	
X2CrNi18-9	1.4307	
X6CrNiTi18-10	1.4541	
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	
1) Auswahl typischer Stähle		

Tabelle 7: Einteilung der nichtrostenden Stähle in Spanbarkeitsgruppen

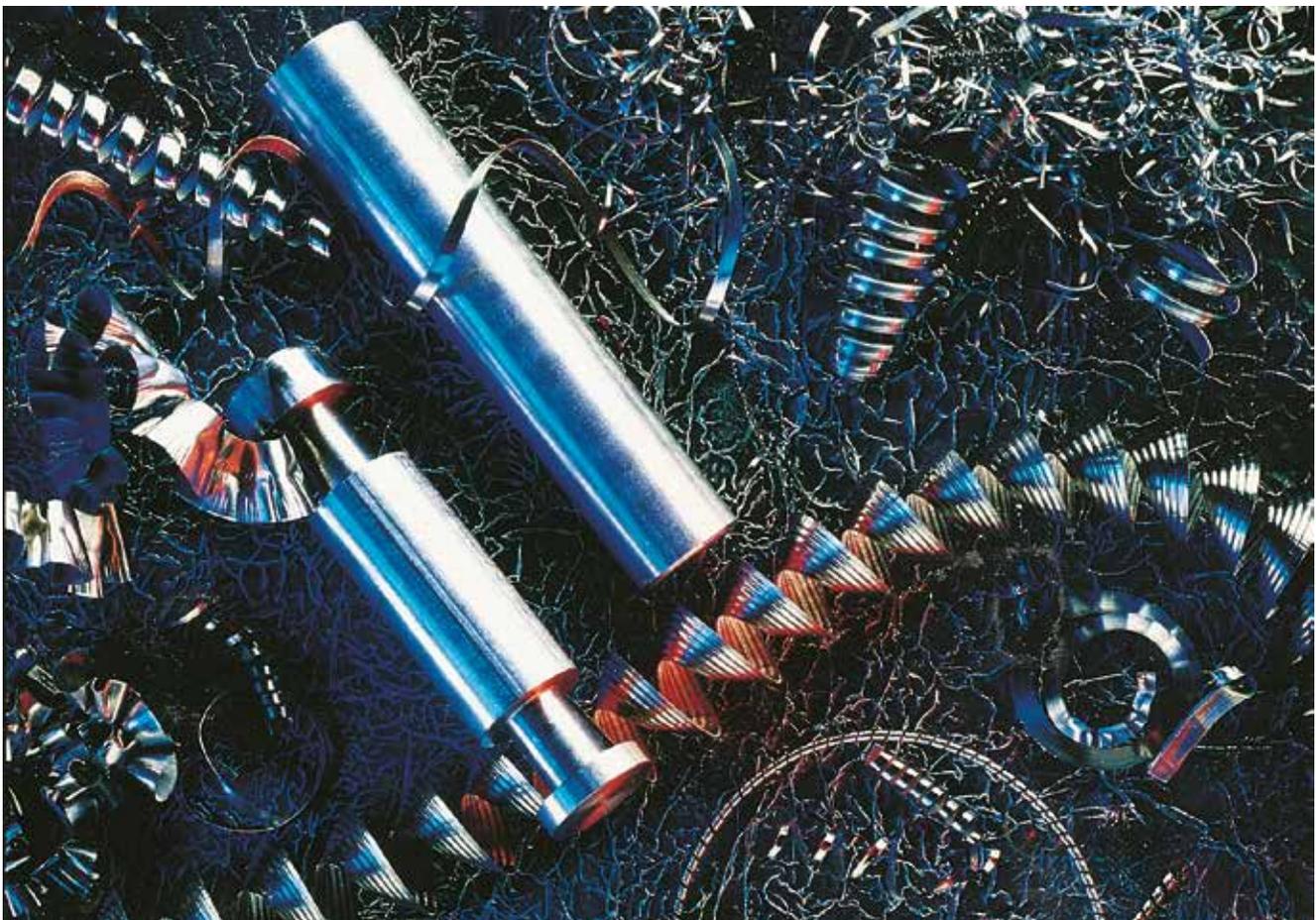


Bild 11: Beispiele von Spanausbildungen bei unterschiedlichen Schwefelgehalten

der Regel 0,15 bis 0,35 % Schwefel. Schwefel bildet in Verbindung mit Mangan Mangansulfid, dessen positive Wirkung auf die Spanbarkeit in kurzbrüchigen Spänen, glatteren Werkstückoberflächen und geringerem Werkzeugverschleiß begründet liegt. **Bild 11** zeigt Beispiele für Spanausbildungen bei unterschiedlichen Schwefelgehalten. In **Bild 12** sind Beispiele für Drehteile aus Edelstahl Rostfrei zu sehen.

Bei den Automatenstählen ist eine gewisse Beeinträchtigung der Korrosionsbeständigkeit zu beachten. Die Stähle der zweiten Gruppe enthalten einen Schwefelzusatz von 0,015 bis 0,030 %. Durch Einstellen einer definierten Größe, Anzahl und Verteilung der Sulfide über den Materialquerschnitt werden gegenüber den Standardstählen mit deutlich niedrigeren S-Gehalten wesentlich höhere Schnittgeschwindigkeiten und mehr als 100 % längere Werkzeugstandzeiten erzielt; im Vergleich zu den klassischen Automatenstählen liegen diese Werte jedoch niedriger.

Detaillierte Angaben zur Spanbarkeit nichtrostender Stähle bei den verschiedenen Bearbeitungsverfahren sind in dem ISER-Merkblatt *Die Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei (MB 822)* enthalten.

8 Oberflächenausführungen

Eine metallisch saubere Oberfläche ist die Grundvoraussetzung für die von Edelstahl Rostfrei erwartete hohe Korrosionsbeständigkeit. Verzunderete Oberflächen sind daher zunächst durch Strahlen, Schleifen, Bürsten oder/und Beizen in diesen Zustand zu bringen.

In DIN EN 10088 Teil 2 und 3 werden die Ausführungsarten und Oberflächenbeschaffenheiten der Erzeugnisse aus Edelstahl Rostfrei in den diesbezüglichen Tabellen wiedergegeben. Eine Zusammenfassung und Gegenüberstellung zu den früheren DIN-Bezeichnungen ist **Tabelle 8** zu entnehmen.



Bild 12: Drehteile aus Edelstahl Rostfrei

Die **glänzend glatte Oberfläche des Zustands 2R (IIId)** wird vorwiegend für Bleche und Bänder bis max. 3,5 mm Dicke und Ziehprodukte hergestellt. Für großflächige Anwendungen ist diese Ausführung in der Regel weniger gut geeignet (Reflexionsverzerrungen). Hier ist der **diffus glänzende, seidenmatte Zustand 2B** zu bevorzugen, der wegen seiner Oberflächenfeingestalt auch besser als 2R zum Tiefziehen geeignet ist.

Beim **geschliffenen Zustand G** (früher als **IV** bezeichnet) ist eine Schliifbeschreibung, z.B. „Korn 180“, allein manchmal nicht ausreichend. Zweckmäßiger ist eine Lieferung nach vorheriger Bemusterung. Ein Ölschliff zeigt generell eine glänzendere und dabei weniger verschmutzungsanfällige Oberfläche als ein Trockenschliff.

Der **polierte Zustand P** (ehemals als **V** bezeichnet) wird meist beim Weiterverarbeiter ausgeführt. Neben dem mechanischen kommt das elektrolytische Polieren (Elektropolieren) in Betracht. Auch die so erreichten sehr glänzenden Oberflächen können – bei sonst vielfacher bewährter

Anwendung – bei großen Flächen leicht Reflexionsverzerrungen bewirken.

Beim **elektrolytischen Färben** bilden sich durch elektrochemische Behandlung auf der Oberfläche durchsichtige, bis 0,3 mm dicke Filme, an denen durch Lichtinterferenz Farbeffekte – je nach der Dicke der Schicht von blau, gold, rot bis grün – entstehen. Diese Farben sind gegen UV-Strahlung unempfindlich, vollständig lichtecht und gegenüber atmosphärischen Einflüssen sehr beständig. Bei höheren Temperaturen, wie sie beim Löten oder Schweißen entstehen, wird diese Schicht örtlich zerstört.

Eine besonders interessante Oberflächengestaltung von Edelstahl Rostfrei ist das **Dessinieren und Musterwalzen**: Kaltgewalzte Bänder erhalten durch Nachwalzen einseitig bzw. beidseitig eingewalzte Muster, wie in **Bild 13** anhand von dessinieren und mustergewalzten Edelstahl Rostfrei - Blechen beispielhaft gezeigt wird. Mit diesen Blechen lassen sich reizvolle Wirkungen erzielen. Die Oberflächen reflektieren weniger

	Kurzzeichen ¹⁾	Ausführungsart ²⁾	Oberflächenbeschaffenheit ²⁾	Bemerkungen	Kurzzeichen alt
Warmgewalzt	1U	Warmgewalzt, nicht wärmebehandelt, nicht entzündert	Mit Walzzunder bedeckt	Geeignet für Erzeugnisse, die weiter verarbeitet werden, z.B. Band zum Nachwalzen.	a1
	1C	Warmgewalzt, wärmebehandelt, nicht entzündert	Mit Walzzunder bedeckt	Geeignet für Teile, die anschließend entzündert oder bearbeitet werden oder für bestimmte hitzebeständige Anwendungen.	b(1c)
	1E	Warmgewalzt, wärmebehandelt, mechanisch entzündert	Zunderfrei	Die Art der mechanischen Entzunderung, z.B. Rohschleifen oder Strahlen, hängt von der Stahlsorte und der Erzeugnisform ab und bleibt, wenn nicht anders vereinbart, dem Hersteller überlassen.	c1(IIa)
	1D	Warmgewalzt, wärmebehandelt, gebeizt	Zunderfrei	Üblicher Standart für die meisten Stahlsorten, um gute Korrosionsbeständigkeit sicherzustellen; auch übliche Ausführung für Weiterverarbeitung. Schleifspuren dürfen vorhanden sein. Nicht so glatt wie 2D oder 2B	c2(IIa)
Kaltgewalzt	2H	Kaltverfestigt	Blank	Zur Erzielung höherer Festigkeitsstufen kalt umgeformt.	f(IIIa)
	2C	Kaltgewalzt, wärmebehandelt, nicht entzündert	Glatt, mit Zunder von der Wärmebehandlung	Geeignet für Teile, die anschließend entzündert oder bearbeitet werden oder für bestimmte hitzebeständige Anwendungen.	
	2E	Kaltgewalzt, wärmebehandelt, mechanisch entzündert	Rau und stumpf	Üblicherweise angewendet für Stähle mit sehr beizbeständigem Zunder. Kann nachfolgend gebeizt werden.	
	2D	Kaltgewalzt, wärmebehandelt, gebeizt	Glatt	Ausführung für gute Umformbarkeit, aber nicht so glatt wie 2B oder 2R	h(IIIb)
	2B	Kaltgewalzt, wärmebehandelt, gebeizt, kalt nachgewalzt	Glatter als 2D	Häufigste Ausführung für die meisten Stahlsorten, um gute Korrosionsbeständigkeit, Glattheit und Ebenheit sicherzustellen. Auch übliche Ausführung für Weiterverarbeitung. Nachwalzen kann durch Streckrichten erfolgen.	n(IIIc)
	2R	Kaltgewalzt, blankgeglüht ³⁾	Glatt, blank, reflektierend	Glatter und blanker als 2B. Auch übliche Ausführung für Weiterverarbeitung.	m(III d)
	2Q	Kaltgewalzt, gehärtet und angelassen, zunderfrei	Zunderfrei	Entweder unter Schutzgas gehärtet und angelassen oder nach der Wärmebehandlung entzündert.	
Sonderausführungen	1G oder 2G	Geschliffen ⁴⁾	Siehe Fußnote ⁵⁾	Schleifpulver oder Oberflächenrauheit kann festgelegt werden. Gleichgerichtete Textur, nicht sehr reflektierend.	o (IV)
	1J oder 2J	Gebürstet ⁴⁾ oder mattpoliert ⁴⁾	Glatter als geschliffen, siehe Fußnote ⁵⁾	Bürstenart oder Polierband oder Oberflächenrauheit kann festgelegt werden. Gleichgerichtete Textur, nicht sehr reflektierend.	q
	1K oder 2K	Seidenmattpoliert ⁴⁾	Siehe Fußnote ⁵⁾	Zusätzliche besondere Anforderungen an eine „J“-Ausführung, um eine angemessene Korrosionsbeständigkeit für See- und architektonische Außenanwendungen zu erzielen. Quer Ra < 0,5 µm in sauber geschliffener Ausführung.	p(V)
	1P oder 2P	Blankpoliert ⁴⁾	Siehe Fußnote ⁵⁾	Mechanisches Polieren. Verfahren oder Oberflächenrauheit kann festgelegt werden. Ungerichtete Ausführung, reflektierend mit hohem Grad von Bildklarheit.	p(V)
	2F	Kaltgewalzt, wärmebehandelt, kalt nachgewalzt mit aufgerauten Walzen	Gleichförmige, nicht reflektierende matte Oberfläche	Wärmebehandlung in Form von Blankglühen oder Glühen und Beizen.	
	1M 2M	Gemustert	Design ist zu vereinbaren, zweite Oberfläche glatt	Tränenblech, Riffelblech für Böden. Ausgezeichnete Texturausführung hauptsächlich für architektonische Anwendungen.	
	2W	Gewellt	Design ist zu vereinbaren	Verwendet zur Erhöhung der Festigkeit und/oder für verschönernde Effekte.	
	2L	Eingefärbt ⁴⁾	Farbe ist zu vereinbaren		
	1S oder 2S	mit Überzug ⁴⁾	mit Überzug; z.B. Zinn, Aluminium.		

1) Erste Stelle: 1 = warmgewalzt, 2 = kaltgewalzt. 2) Nicht alle Ausführungsarten und Oberflächenbeschaffenheiten sind für alle Stähle verfügbar. 3) Es darf nachgewalzt werden. 4) Nur eine Oberfläche, falls nicht bei der Anfrage und Bestellung ausdrücklich anders vereinbart. 5) Innerhalb jeder Ausführungsbeschreibung können die Oberflächeneigenschaften variieren, und es kann erforderlich sein, genauere Anforderungen zwischen Hersteller und Verbraucher zu vereinbaren (z.B. Schleifpulver oder Oberflächenrauheit).

Tabelle 8: Oberflächenausführungen von nichtrostenden Stählen, vereinfachte Übersicht anhand von Angaben aus den Normen EN 10088-2 und EN 10088-3

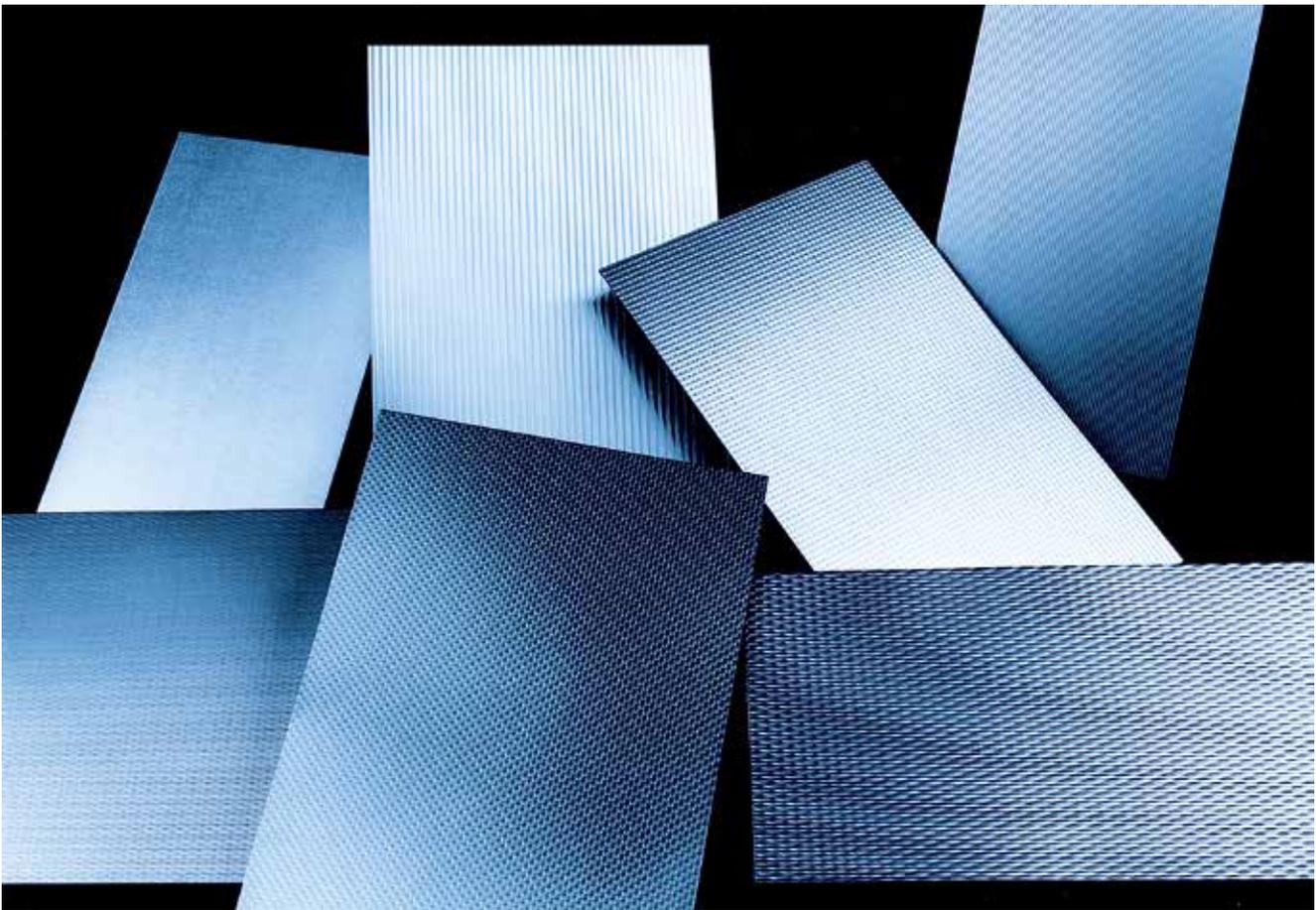


Bild 13: Dessinierte und mustergewalzte Edelstahl Rostfrei-Bleche

und sind kratzunempfindlich; Flecken und Fingerabdrücke treten optisch nicht in Erscheinung.

Eine zusammenfassende Beschreibung und fotografische Darstellung der vielfältigen Oberflächenausführungen mit zahlreichen Anwendungsbeispielen gibt die ISER-Dokumentation *Edelstahl Rostfrei: Oberflächen im Bauwesen (D 960)*.

9 Physikalische Eigenschaften

Die physikalischen Eigenschaften einiger ausgewählter Stahlsorten sind in **Tabelle 9** zusammengestellt. Zu beachten ist die höhere Wärmeausdehnung und geringere Wärmeleitfähigkeit der austenitischen Stähle. Ihr elektrischer Widerstand ist wegen der Legierungsgehalte höher als bei unlegierten Stählen.

Kennzeichnendes Unterscheidungsmerkmal zwischen den ferritischen bzw. martensitischen Chromstählen und den austenitischen Chrom-Nickel-Stählen ist die

Magnetisierbarkeit. Im Gegensatz zu den magnetisierbaren Chromstählen zeigen die austenitischen Stähle ein weitgehend unmagnetisches Verhalten im lösungsgeglühten Zustand.

Eine Kaltverformung kann bei den austenitischen Stählen zu einer Gefügeveränderung (Ausbildung von Verformungsmartensit) führen, so dass danach eine begrenzte Magnetisierbarkeit vorliegt. Der Nickelgehalt beeinflusst die Magnetisierbarkeit der austenitischen nichtrostenden Stähle jedoch wesentlich, so dass bei höheren Ni-Gehalten die Magnetisierungsneigung auch im kaltumgeformten Zustand weitgehend vermieden werden kann. Nichtmagnetisierbare Stähle mit Permeabilitätswerten von max. 1,001 werden im Stahleisen-Werkstoffblatt 390 beschrieben.

Eine zusammenfassende Beschreibung der magnetischen Eigenschaften ist dem ISER-Merkblatt *Magnetische Eigenschaften nichtrostender Stähle (MB 827)* zu entnehmen.

10 Normung

Die **DIN EN 10088 „Nichtrostende Stähle“** hat die Normen DIN 17440 und DIN 17441 sowie das Stahleisen-Werkstoffblatt 400 weitgehend abgelöst. Die Ausgabe 2005 der DIN EN 10088 gliedert sich in

- Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle
- Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung
- Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung
- Teil 4: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für das Bauwesen
- Teil 5: Technische Lieferbedingungen für Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für das Bauwesen

Stahlsorte		Dichte kg/dm ³	Elastizitätsmodul bei 20 °C kN/mm ²	Wärmeausdehnung zwischen 20 °C und		Wärmeleitfähigkeit W/(m x K)	Spezifische Wärmekapazität bei 20 °C J/(kg x K)	Elektrischer Widerstand bei 20 °C Ω x mm ² /m
EN Kurzname	W.-Nr.			100 °C	400 °C			
					10 ⁻⁶ x K ⁻¹			
X6Cr17	1.4016	7,7	220	10,0	10,5	25	460	0,60
X2CrNi12	1.4003	7,7	220	10,4	11,6	25	430	0,60
X5CrNi18-10	1.4301	7,9	200	16,0	17,5	15	500	0,73
X6CrNiTi18-10	1.4541	7,9	200	16,0	17,5	15	500	0,73
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	8,0	200	16,0	17,5	15	500	0,75
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	8,0	200	16,5	18,5	15	500	0,75
X2CrNiN23-4	1.4362	7,8	200	13,0	14,5	15	500	0,80
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	7,8	200	13,0	14,5	15	500	0,80

Tabelle 9: Anhaltsangaben über physikalische Eigenschaften einiger Stähle

Die Palette der nichtrostenden Stähle mit mind. 10,5 % Chrom wurde wesentlich erweitert und begrifflich neu bestimmt: Der neue Begriff „nichtrostende Stähle“ umfasst neben den korrosionsbeständigen Stählen außerdem hitzebeständige und warmfeste Stähle, um der gebräuchlichen Praxis zu entsprechen.

In Teil 1 ist die chemische Zusammensetzung folgender Stahlsorten aufgeführt:

- 110 korrosionsbeständige Stähle (Werkstoffnummern 1.40.. bis 1.45..)
- 21 hitzebeständige Stähle (Werkstoffnummern 1.47.. bis 1.48..)
- 29 warmfeste Stähle (Werkstoffnummern 1.49..)

Das ehemals deutsche Werkstoffnummernsystem gilt ebenso wie die Kurznamen der Stähle europaweit. Neu ist lediglich (gemäß EN 10027 – Einteilung der Stähle) die Angabe von Bindestrichen zwischen den Ziffern, die die Legierungsgehalte kennzeichnen, z.B. X5CrNi18-10 beim Stahl 1.4301.

Die in DIN EN 10088 festgelegten chemischen Zusammensetzungen der Stähle gelten auch für alle anderen EN- und CEN-Normen für bzw. mit nichtrostenden Stählen; Abweichungen sind nur in begründeten Fällen erlaubt. Dies ist wichtig, um eine unnötige Sortenvielfalt zu verhindern. Teil 1 enthält darüber hinaus Anhaltsangaben für die physikalischen Eigenschaften der Stähle sowie Hin-

weise zur Sorteneinteilung und Begriffsbestimmung.

In den Produktnormen (Teile 2 und 3) wird – auch unter dem Gesichtspunkt der Verfügbarkeit – zwischen Standard- und Sondergütern unterschieden.

Völlig neu war 1995 das System der Kennzeichnung der Ausführungsart bzw. Oberflächenbeschaffenheit (s. **Tabelle 8**). Das alphanumerische System gilt für Flach- und Langerzeugnisse gleichermaßen. Alle warmgefertigten Erzeugnisse werden mit 1 und alle kaltgefertigten mit 2 gekennzeichnet. Hinzu kommen Kennbuchstaben für die jeweilige Ausführungsart bzw. Oberflächenbeschaffenheit. Auch Sonderausführungen wie geschliffen (G), gebürstet (J), seidemattpoliert (K), blankpoliert (P) sind erfasst ebenso wie gemusterte (M) und gewellte (W) oder eingefärbte (L) Ausführungen.

Zur besseren Ausnutzung der produktbezogenen Festigkeit in der mengenmäßig wichtigsten Produktgruppe wird in Teil 2 bei den mechanisch-technologischen Eigenschaften der Flacherzeugnisse zwischen kaltgewalztem Band (C), warmgewalztem Band (H) und warmgewalztem Blech (P) unterschieden.

In Teil 3 sind die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Langerzeugnisse beschrieben. Auch für die Langprodukte gilt das neue System der Kennzeichnung der Oberflächenbeschaffenheit (s. **Tabelle 8**). Für ei-

nige Ausführungsarten sind informative Hinweise auf die zuzuordnende Toleranzklasse IT (z.T. IT-Bereiche) angeben, die allerdings erst dann verbindlich werden, wenn sie bei der Bestellung vereinbart werden. Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit sind für warmgewalzten Stabstahl und Walzdraht ggf. nach EN 10221 – Oberflächengüteklassen zu vereinbaren.

Eine Übersicht über weitere EN-Normen für nichtrostende Stähle mit ihrem jeweiligen Anwendungsbereich wird in **Tabelle 10** gegeben.

Für die **Maßtoleranzen der kaltgewalzten Flacherzeugnisse** gelten folgende DIN EN-Normen:

- **DIN EN ISO 9445-1**
Kontinuierlich kaltgewalzter nichtrostender Stahl – Grenzabmaße und Formtoleranzen – Teil 1:
Kaltband und Kaltband in Stäben
- **DIN EN ISO 9445-2**
Kontinuierlich kaltgewalzter nichtrostender Stahl – Grenzabmaße und Formtoleranzen – Teil 2:
Kaltbreitband und Blech

Die **Maßtoleranzen der warmgewalzten Flacherzeugnisse** werden durch nachstehende DIN EN-Normen abgedeckt:

- **ISO 9444-1**
Kontinuierlich warmgewalzter nichtrostender Stahl – Grenzabmaße und Formtoleranzen – Teil 1:
Bandstahl und Bandstahl in Stäben

Norm	Titel
DIN EN ISO 3506-1	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 1: Schrauben
DIN EN ISO 3506-2	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 2: Muttern
DIN EN ISO 3506-3	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 3: Gewindestifte und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Verbindungselemente
DIN EN ISO 3506-4	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 4: Blechschrauben
DIN EN 10028-7	Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen - Teil 7: Nichtrostende Stähle
DIN EN 10088-1	Nichtrostende Stähle - Verzeichnis der nichtrostenden Stähle
DIN EN 10088-2	Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung
DIN EN 10088-3	Nichtrostende Stähle - Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung
DIN EN 10088-4	Nichtrostende Stähle - Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für das Bauwesen
DIN EN 10088-5	Nichtrostende Stähle - Technische Lieferbedingungen für Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für das Bauwesen
DIN EN 10095	Hitzebeständige Stähle und Nickellegierungen
DIN EN 10151	Federband aus nichtrostenden Stählen - Technische Lieferbedingungen
DIN EN 10213	Stahlguss für Druckbehälter (ersetzt DIN EN 10213-1, -2, -3, -4)
DIN EN 10216-5	Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 5: Rohre aus nichtrostenden Stählen
DIN EN 10217-7	Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 7: Rohre aus nichtrostenden Stählen
DIN EN 10222-5	Schmiedestücke aus Stahl für Druckbehälter - Teil 5: Martensitische, austenitische und austenitisch-ferritische nichtrostende Stähle
DIN EN 10250-4	Freiformschmiedestücke aus Stahl für allgemeine Verwendung - Teil 4: Nichtrostende Stähle
DIN EN 10263-5	Walzdraht, Stäbe und Draht aus Kaltstauch- und Kaltfließpreßstählen - Teil 5: Technische Lieferbedingungen für nichtrostende Stähle
DIN EN 10264-4	Stahldraht und Drahterzeugnisse- Stahldraht für Seile - Teil 4: Draht aus nichtrostendem Stahl
DIN EN 10269	Stähle und Nickellegierungen für Befestigungselemente für den Einsatz bei erhöhten und/oder tiefen Temperaturen
DIN EN 10270-3	Stahldraht für Federn - Teil 3: Nichtrostender Federstahldraht
DIN EN 10272	Stäbe aus nichtrostendem Stahl für Druckbehälter
DIN EN 10283	Korrosionsbeständiger Stahlguss
DIN EN 10295	Hitzebeständiger Stahlguss
DIN EN 10296-2	Geschweißte kreisförmige Stahlrohre für den Maschinenbau und allgemeine technische Anwendungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 2: Rohre aus nichtrostenden Stählen
DIN EN 10297-2	Nahtlose kreisförmige Stahlrohre für den Maschinenbau und allgemeine technische Anwendungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 2: Rohre aus nichtrostenden Stählen
DIN EN 10302	Warmfeste Stähle, Nickel- und Cobaltlegierungen
DIN EN 10312	Geschweißte Rohre aus nichtrostendem Stahl für den Transport von Wasser und anderen wässrigen Flüssigkeiten - Technische Lieferbedingungen
Eine umfassende Übersicht über die für nichtrostende Stähle relevanten Normen mit ihren jeweils aktuellen Ausgabedaten steht zur Verfügung in der Rubrik „Werkstoff/Normen“ unter www.edelstahl-rostoffrei.de	

Tabelle 10: Auswahl von Normen für Erzeugnisse aus Edelstahl Rostfrei – Technische Lieferbedingungen, Stand Dezember 2013



Bild 14: Weltkugel aus Edelstahl Rostfrei

- **DIN EN ISO 9444-2**
Kontinuierlich warmgewalzter nichtrostender Stahl – Grenzabmaße und Formtoleranzen – Teil 2: Warmbreitband und Blech (ISO 9444-2; ersetzt DIN EN 10051)
- **DIN EN 10048**
Warmgewalzter Bandstahl – Grenzabmaße und Formtoleranzen
- **DIN EN ISO 18286**
Warmgewalztes Blech aus nichtrostendem Stahl – Grenzabmaße und Formtoleranzen (ersetzt DIN EN 10029)

Für bauaufsichtlich relevante Teile ist ferner die **Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6** des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin, zu berücksichtigen. Sie ist

als Sonderdruck SD 862 bei der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei kostenfrei erhältlich.

Die Ausgabe 2005 der DIN EN 10088 wird künftig durch die Ausgabe 2011 abgelöst werden, die in ihrer Form als preEN 10088-1:2011, preEN 10088-2:2011 und preEN 10088-3:2011 auch schon für diese 5. Auflage des Merkblatts 821 berücksichtigt wurde, soweit dies erforderlich erschien.

11 Weitere Informationen

AD-Merkblätter der Arbeitsgemeinschaft Druckbehälterbau (AD) werden vom Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (VTÜV) herausgegeben.

Normen werden vom Deutschen Institut für Normung (DIN) veröffentlicht.

AD-Merkblätter und Normen können in ihrer jeweils gültigen Ausgabe bezogen werden bei:

Beuth Verlag GmbH
Am DIN-Platz / Burggrafenstr. 6
10787 Berlin

Telefon: (0 30) 26 01-22 60
Telefax: (0 30) 26 01-12 60
E-Mail: info@beuth.de
www.beuth.de

ISER-Merkblätter können kostenlos abgerufen werden bei der

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Sohnstr. 65
40237 Düsseldorf,
Telefon: (02 11) 67 07-8 35
Telefax: (02 11) 67 07-3 44
E-Mail: info@edelstahl-rostfrei.de
www.edelstahl-rostfrei.de

- Die **Verarbeitung** von Edelstahl Rostfrei (MB 822)
- **Schweißen** von Edelstahl Rostfrei (MB 823)
- Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle an der **Atmosphäre** (MB 828)
- Edelstahl Rostfrei in **Kontakt** mit anderen Werkstoffen (MB 829)
- Edelstahl Rostfrei in **chloridhaltigen Wässern** (MB 830)
- Edelstahl Rostfrei in **Schwimmbä-**

dern (MB 831)

- Edelstahl Rostfrei in **Erdböden** (MB 833)
- Allgemeine bauaufsichtliche **Zulassung Z-30.3-6** „Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen“ des Deutschen Instituts für Bautechnik (SD 862 + SD 862a)
- **Bauprofile** aus Edelstahl Rostfrei (D 864)
- Edelstahl Rostfrei: Bänder, **Bleche**, Streckmetalle, Drahtgewebe (D 865)
- Nichtrostender **Betonstahl** (MB 866)
- Edelstahl Rostfrei im **Bauwesen**: Technischer Leitfaden (MB 875)
- Einsatzbereiche nichtrostender Stähle in der **Umwelttechnik** (D 892)
- Edelstahl Rostfrei für die **Wasserwirtschaft** (MB 893)
- Edelstahl Rostfrei in der **Weinwirtschaft** (MB 910)
- Nichtrostender Stahl – Wenn die **Gesundheit** zählt (MB 914)
- Edelstahl Rostfrei – **Oberflächen** im Bauwesen (D 960)

- **Reinigung** nichtrostender Stähle im Bauwesen (MB 965)
- **Magnetische Eigenschaften** nichtrostender Stähle (MB 827)

Diese und zahlreiche weitere Publikationen stehen auch im Internet als Download zur Verfügung: www.edelstahl-rostfrei.de /**Publikationen**

Stahleisen-Regelwerke werden herausgegeben von der

Verlag Stahleisen GmbH
Postfach 105164
40042 Düsseldorf
Telefon: (02 11) 67 07-5 61
Telefax: (02 11) 67 07-5 47
E-Mail: buchshop@stahleisen.de
www.stahleisen.de

- Stahleisen-Liste: www.stahldat.de
- Stahleisen-Werkstoffblatt 390 (SEW 390), jeweils gültige Ausgabe
- Stahleisen-Werkstoffblatt 400 (SEW 400), jeweils gültige Ausgabe



Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Postfach 102205
40013 Düsseldorf
www.edelstahl-rostfrei.de

