

## Einteilung nichtrostender Stähle

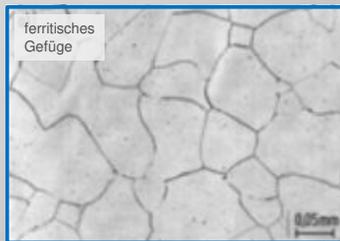


Weitere Unterteilung in:

- Korrosionsbeständige
- Hitzebeständige
- Warmfeste

s. auch DIN EN 10020  
und DIN EN 10088-1

## Einteilung nichtrostender Stähle



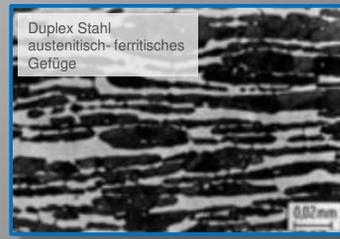
1.4511 Cr



1.4313 Cr, C, Ni



1.4301 Cr, Ni, Mo



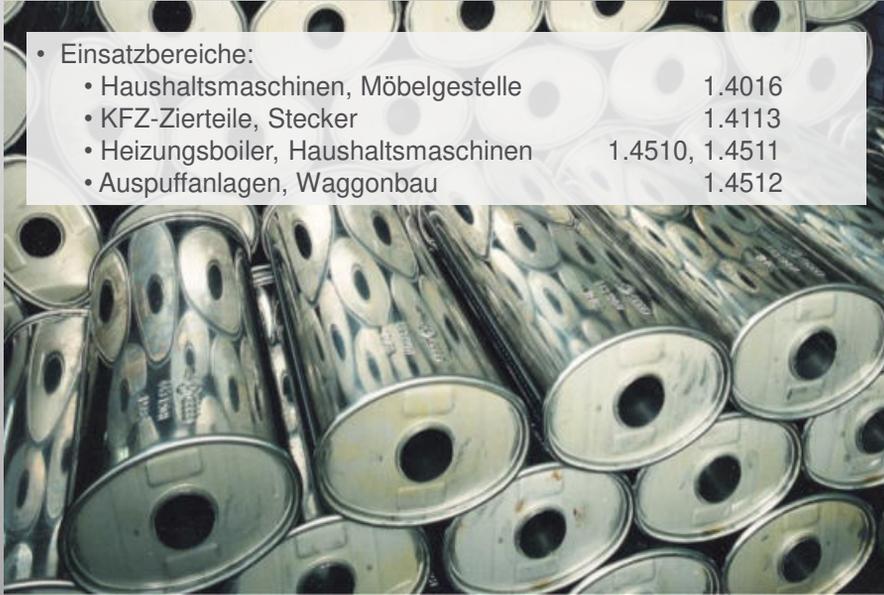
1.4462 Cr, Ni, Mo



## FERRITISCHE NICHTROSTENDE STÄHLE

- Einsatzbereiche:
 

• Haushaltsmaschinen, Möbelgestelle	1.4016
• KFZ-Zierteile, Stecker	1.4113
• Heizungsboiler, Haushaltsmaschinen	1.4510, 1.4511
• Auspuffanlagen, Waggonbau	1.4512



15

## FERRITISCHE NICHTROSTENDE STÄHLE

- Einsatzbereiche:
 

• Haushaltsmaschinen, Möbelgestelle	1.4016
• KFZ-Zierteile, Stecker	1.4113
• Heizungsboiler, Haushaltsmaschinen	1.4510, 1.4511
• Auspuffanlagen, Waggonbau	1.4512

- besonderer Vorteil von ferritischem gegenüber austenitischem nichtrostenden Stahl:

hohe Beständigkeit gegen chlorinduzierte transkristalline  
Spannungsrißkorrosion



16

## MARTENSITISCHE NICHTROSTENDE STÄHLE

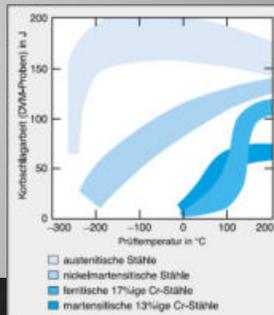
- 12 – 18% Chrom
- C – Gehalt 0,1 – 1,2%
- bei hohen Temperaturen 950° - 1050°C vollständig austenitisch
- anschließendes Abschrecken sehr viel langsamer als bei vergleichbaren unlegierten Stählen (Luftabkühlung möglich)
- dann Anlassen auf 650° - 750°C
- Abschließendes Beizen, Feinschleifen oder Polieren damit ausreichende Korrosionsbeständigkeit erreicht wird
- Lieferzustand je nach Erzeugnisform gegläht oder vergütet
- Vorteil: hohe Verschleißfestigkeit und Schneidhaltigkeit
- Nickelmartensitische Stähle:  
der Nickel übernimmt die Rolle des Kohlenstoffs (z.B. 1.4313)  
Vorteil: keine Carbidausscheidungen, vergütbarer  
Abmessungsbereich auf Durchmesser über 400mm erweitert

17

## MARTENSITISCHE NICHTROSTENDE STÄHLE

C-Gehalt in Massen-%	Härte in HRC
0,10	40
0,15	46
0,20	50
0,25	53
0,40	56
0,70	58
1,00	60

Einfluss des Kohlenstoffgehaltes auf die Härte der martensitischen nichtrostenden Stähle, gehärtet und entspannt (Schierhold)



Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurven verschiedener nichtrostender Stähle (nach R. Oppenheim)



Rasierklingen aus martensitischem nichtrostendem Stahl

18

## MARTENSITISCHE NICHTROSTENDE STÄHLE

- Einsatzbereiche:

• Achsen und Wellen	(Ferrit-Martensit)	1.4021
• Kolbenstangen, Wellen	(Ferrit-Martensit)	1.4024
• Messer, Lager	(Martensit)	1.4034
• Industriemesser	(Martensit)	1.4512
• Turbinenteile	(Nickel-Martensit)	1.4313



Turbinenrad 1.4313, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie

19

## MARTENSITISCHE NICHTROSTENDE STÄHLE

- Einsatzbereiche:

• Achsen und Wellen	(Ferrit-Martensit)	1.4021
• Kolbenstangen, Wellen	(Ferrit-Martensit)	1.4024
• Messer, Lager	(Martensit)	1.4034
• Industriemesser	(Martensit)	1.4512
• Turbinenteile	(Nickel-Martensit)	1.4313

- aufgrund des hohen C-Gehaltes sind Martensite nicht schweißbar
- Ferrit-Martensite sind eingeschränkt schweißbar



Turbinenrad 1.4313, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie

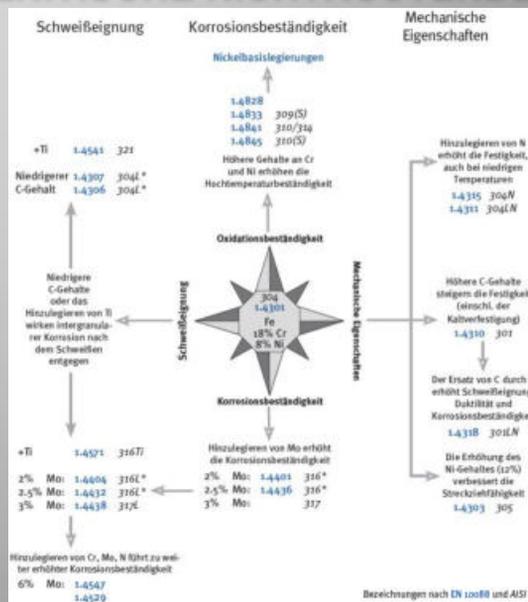
20

## AUSTENITISCHE NICHTROSTENDE STÄHLE

- bedeutendste Gruppe nichtrostender Stähle
- 16 – 26% Cr (typisch 18%), 8 – 26% Ni (typisch 10%), 0,02 – 0,1% C
- günstige Kombination von Verarbeitbarkeit, mech. Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit
- nicht härtbar – das Gefüge ist umwandlungsfrei
- Steigerung der Festigkeit durch Kaltumformung (Bildung von Verformungs-Martensit möglich)
- Zulegierung von N erhöht Festigkeit UND Korrosionsbeständigkeit
- Bruchdehnungswerte fast doppelt so hoch wie bei ferritischen
- sehr gute Kaltumformbarkeit (niedrige Dehngrenze, hohe Bruchdehnung)
- hohe Kerbschlagarbeitswerte auch bei sehr tiefen Temperaturen

21

## AUSTENITISCHE NICHTROSTENDE STÄHLE



aus „Merkblatt 803“ Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

22

## AUSTENITISCHE NICHTROSTENDE STÄHLE



- Einsatzbereiche:
 

• Haushaltsgeräte, Anlagen u. Apparatebau Architektur, Fahrzeugbau	1.4301
• Drehteile, Automatenarbeiten	1.4305
• Anlagen u. Apparatebau, Konstruktionen >6mm	1.4541
• Anlagen u. Apparatebau	1.4401
• Anlagen u. Apparatebau, Befestigungselemente	1.4571

23

## AUSTENITISCHE NICHTROSTENDE STÄHLE

### Eigenschaften:

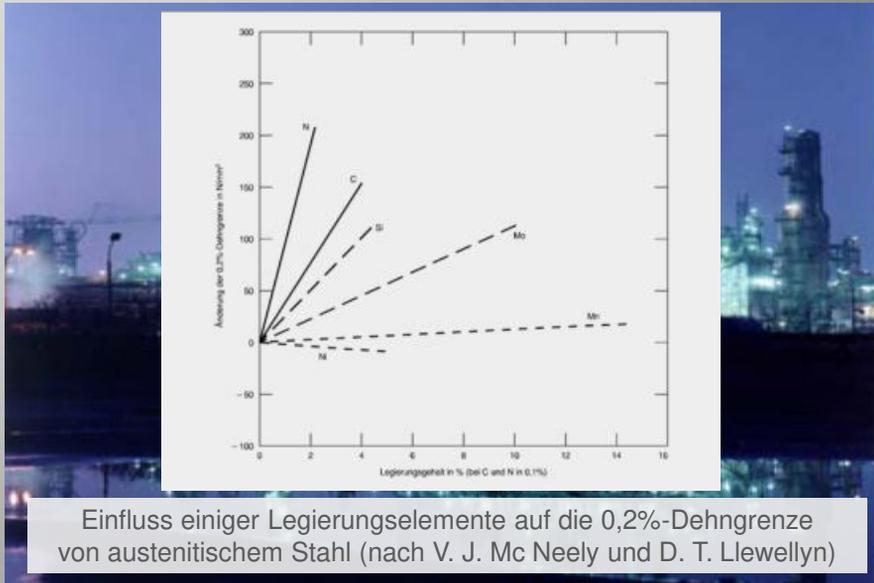
- sehr gute Korrosionsbeständigkeit
- anfällig für Spannungsrisskorrosion
- sehr gute Schweißbarkeit
- nicht magnetisierbar
- sehr gute Kalt- und Warmumformbarkeit
- nicht härtbar, jedoch Verfestigung bei Kaltumformung
- hoher Wärmeausdehnungskoeffizient, niedrige Wärmeleitfähigkeit
- hohe Kerbschlagarbeitswerte auch bei tiefen Temperaturen

- Einsatzbereiche:
 

• Haushaltsgeräte, Anlagen u. Apparatebau Architektur, Fahrzeugbau	1.4301
• Drehteile, Automatenarbeiten	1.4305
• Anlagen u. Apparatebau, Konstruktionen >6mm	1.4541
• Anlagen u. Apparatebau	1.4401
• Anlagen u. Apparatebau, Befestigungselemente	1.4571

24

## AUSTENITISCHE NICHTROSTENDE STÄHLE



25

## DUPLEX STÄHLE (AUSTENITISCH-FERRITISCHE)

- 2-Phasiger Gefügebautbau Austenit + Ferrit zu etwa gleichen Teilen
- Der Gehalt an Austenitbildnern (Ni, N, Mn,...) wird so eingestellt, dass bei Raumtemperatur nicht das ganze Gefüge austenitisch werden kann
- Ni – Gehalt 4-8% üblich → günstiges Preis/Leistungs Verhältnis
- Optimales Verhältnis Ferrit/Austenit 50:50 – wird erreicht durch Wärmebehandlung bei 1040° - 1100°C (Lösungsglühen) nach Warmformgebung
- Wärmebehandlung (Schweißen,...) beeinflusst das Gefüge nachhaltig → durch erneutes Lösungsglühen wird das optimale Gefüge wieder hergestellt

26

## DUPLEX STÄHLE (AUSTENITISCH-FERRITISCHE)

- 2-Phasiger Gefügebau Austenit + Ferrit zu etwa gleichen Teilen
- Der Gehalt an Austenitbildnern (Ni, N, Mn,...) wird so eingestellt, dass bei Raumtemperatur nicht das ganze Gefüge austenitisch werden kann
- Ni – Gehalt 4-8% üblich → günstiges Preis/Leistungs Verhältnis
- N-legierte Typen haben sich durchgesetzt (N als Austenitbildner)  
Ni-Gehalt reduziert → interkristalliner Korrosion entgegengewirkt
- Optimales Verhältnis Ferrit/Austenit 50:50 – wird erreicht durch Wärmebehandlung bei 1040° - 1100°C (Lösungsglühen) nach Warmformgebung
- Wärmebehandlung (Schweißen,...) beeinflusst das Gefüge nachhaltig  
→ durch erneutes Lösungsglühen wird das optimale Gefüge wieder hergestellt



H. Buting GmbH &amp; Co. KG

27

## DUPLEX STÄHLE (AUSTENITISCH-FERRITISCHE)

- hohe Korrosionsbeständigkeit vor allem gegenüber Loch- und Spannungsrisskorrosion
- hohe Festigkeitskennwerte – etwa doppelt so hoch wie bei üblichen nichtrostenden Stählen
- hohe Standhaftigkeit, gutes Verhalten bei wechselnder Beanspruchung
- Einsatzbereich -40° bis +280°C (VdTÜV Werkstoffdatenblatt 418)



Erdgasanlage, BASF Ludwigshafen

28

## DUPLEX STÄHLE (AUSTENITISCH-FERRITISCHE)

- hohe Korrosionsbeständigkeit vor allem gegenüber Loch- und Spannungsrisskorrosion
- hohe Festigkeitskennwerte – etwa doppelt so hoch wie bei üblichen nichtrostenden Stählen
- hohe Standhaftigkeit, gutes Verhalten bei wechselnder Beanspruchung
- Einsatzbereich  $-40^{\circ}$  bis  $+280^{\circ}\text{C}$  (VdTÜV Werkstoffdatenblatt 418)

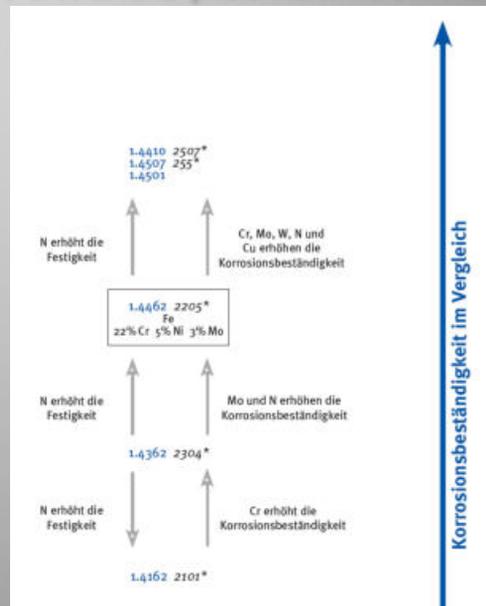
Einsatzbereiche: z.B. 1.4462

- On- und Offshorebereiche Öl- und Gasindustrie
- Chloridbehaftete Prozessindustrie
- Chemikalentanker
- Klärwerksbau
- Papier- und Zellstoffindustrie
- Meerwasserentsalzungsanlagen

Erdgasanlage, BASF Ludwigshafen

29

## DUPLEX STÄHLE (AUSTENITISCH-FERRITISCHE)



aus „Merkblatt 803“ Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

30

## DUPLEX STÄHLE (AUSTENITISCH-FERRITISCHE)

### Superduplex Stähle z.B. 1.4501 1,4507

- höher legiert - typisch: 25% Cr, 7% Ni, 4% Mo, 0,25% N +W oder Cu
- höhere Beständigkeit gegen Loch-, Spalt- und Spannungsrisskorrosion
- höhere Festigkeitskennwerte



Fahrstuhlanlage aus Duplexstahl – neuer Triumphbogen, la defense, Paris

31

## DUPLEX STÄHLE (AUSTENITISCH-FERRITISCHE)

### Superduplex Stähle z.B. 1.4501 1,4507

- höher legiert - typisch: 25% Cr, 7% Ni, 4% Mo, 0,25% N +W oder Cu
- höhere Beständigkeit gegen Loch-, Spalt- und Spannungsrisskorrosion
- höhere Festigkeitskennwerte

### Leanduplex Stähle z.B. 1.4162

- niedriger legiert – ähnlich Duplex Stahl, weniger Ni – dafür ca. 5% Mn-Anteile als Austenibildner von N unterstützt – geringere Mo-Anteile
- wirtschaftlich interessanter Werkstoff mit größerer Belastbarkeit, Zuverlässigkeit und Verarbeitungsfreundlichkeit
- Alternative zu 13% Cr-Stählen

#### Verwendung:

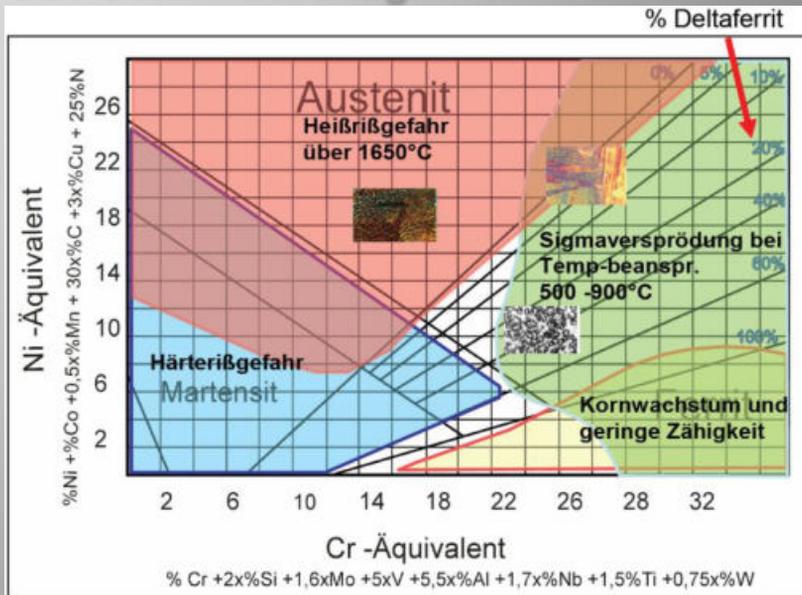
- Behälterbau (Papier- und Zellstoffindustrie)
- Konstruktionsstahl im Bauwesen (z.B. Brückenbau)

→ Gewichtersparnispotential

Fahrstuhlanlage aus Duplexstahl – neuer Triumphbogen, la defense, Paris

32

## Das Schaeffler-Diagramm



Prof. Dr.-Ing. K. Koppe

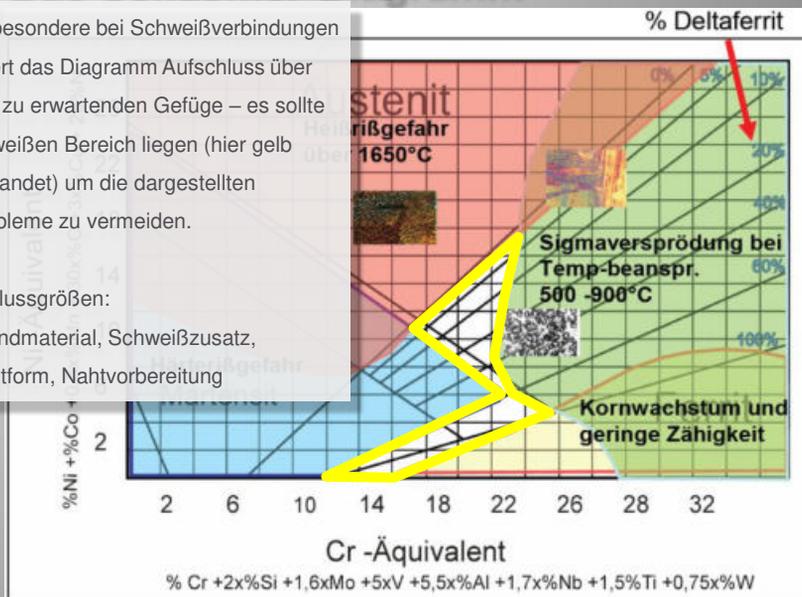
33

## Das Schaeffler-Diagramm

Insbesondere bei Schweißverbindungen liefert das Diagramm Aufschluss über das zu erwartenden Gefüge – es sollte im weißen Bereich liegen (hier gelb umrandet) um die dargestellten Probleme zu vermeiden.

Einflussgrößen:

Grundmaterial, Schweißzusatz, Nahtform, Nahtvorbereitung



Prof. Dr.-Ing. K. Koppe

34

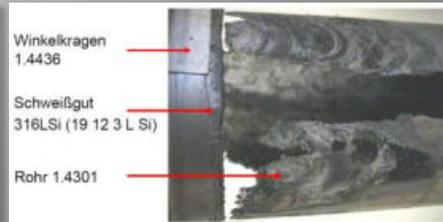
## KORROSION NICHTROSTENDER STÄHLE

Die Korrosionsbeständigkeit von nichtrostendem Stahl ist vorrangig von der Legierungszusammensetzung abhängig. Weiter von seiner Oberfläche und vom Gefügestand.

Die Wahl der richtigen Stahlsorte im richtigen Wärmebehandlungszustand mit der richtigen Oberflächenbearbeitung ist wesentlich für die Korrosionsbeständigkeit

### Korrosionsarten:

1. Abtragende Flächenkorrosion
2. Lochfraßkorrosion
3. Spaltkorrosion
4. Spannungsrißkorrosion
5. Schwingungsrißkorrosion
6. Interkristalline Korrosion
7. Konaktkorrosion



Materialverwechslung Abwasserleitung Papierindustrie  
Voest Alpine

35

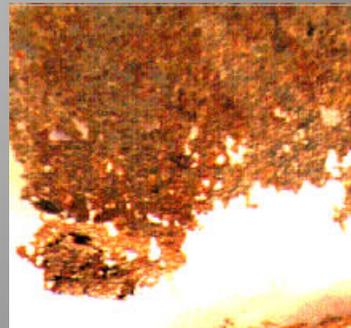
## KORROSION NICHTROSTENDER STÄHLE

### 1. ABTRAGENDE FLÄCHENKORROSION

Abtragende Flächenkorrosion bezeichnet einen annähernd gleichmäßigen Abtrag der Werkstückoberfläche.

Diese Korrosionsart tritt nur auf, wenn Säuren oder starke Laugen auf die Werkstückoberfläche einwirken.

Liegt die jährliche Abtragsrate unter 0,1mm, so spricht man von einer ausreichenden Beständigkeit des Werkstoffs gegen Flächenkorrosion.



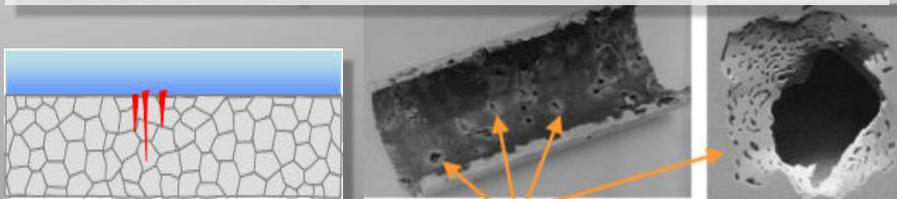
36

## KORROSION NICHTROSTENDER STÄHLE

### 2. LOCHFRAßKORROSION (PITTING)

Bei der Lochfraßkorrosion wird die Passivschicht nur an speziellen Punkten durchbrochen. Als Folge entstehen auf der Oberfläche kleine Vertiefungen oder Löcher.

- wird im wesentlichen durch Halogen-Ionen, vor allem Chlor-Ionen, in Salz- oder Säurelösungen verursacht.
- Verstärkt wird die Lochfraßkorrosion durch Ablagerungen, Fremdstoffe, Schlackereste und Anlauffarben.
- Molybdän- oder Titanzusätze machen nichtrostenden Stahl ausreichend beständig



37

## KORROSION NICHTROSTENDER STÄHLE

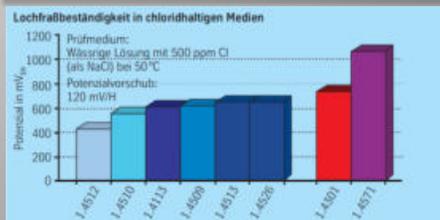
### 2. LOCHFRAßKORROSION (PITTING)

Die Wirksumme, auch **PREN (Pitting Resistance Equivalent Number)** ist ein Maß für die Beständigkeit gegen Lochfraßkorrosion. Generell gilt: je höher der PREN-Wert, desto korrosionsfester ist der Stahl. Die Berechnung des PREN-Wertes folgt folgender Formel:

$$\text{PREN} = 1 \times \% \text{Cr} + 3,3 \times \% \text{Mo} + 30 \times \% \text{N} \quad (\text{für Austenite})$$

$$1 \times \% \text{Cr} + 3,3 \times \% \text{Mo} + 16 \times \% \text{N} \quad (\text{für Duplex-Stahl})$$

Stähle mit PREN-Werten über 32 gelten als meerwasserbeständig.



Thyssen Krupp Nirosta

Stahl	Bezeichnung	Cr, wt.-%	Mo, wt.-%	Wirksumme W	Korrosionsbeständigkeitsklasse
<b>Ferritische Stähle</b>					
1.4003	X2CrN12X2Cr11	10,5		11	1
<b>Austenitisch-ferritische Duplex-Stähle</b>					
1.4462	X2CrNiMoN 22-6-3	21,0	2,5	29	3
1.4501	X2CrNiMoCuN 25-7-4	24,0	3,0	34	4
<b>Austenitische Stähle</b>					
1.4301	X5CrNi 18-10	17,0		17	2
1.4306	X2CrNi 19-11	18,0		18	2
1.4311	X2CrNi 18-10	17,0		17	2
1.4401	X5CrNiMo 17-12-2	16,5	2,0	23	3
1.4404	X2CrNiMo 17-12-2	16,5	2,0	23	3
1.4571	X6CrNiMoTi 17-12-2	16,5	2,0	23	3
1.4429	X2CrNiMoN 17-13-3	16,5	2,5	25	3
1.4529	X1CrNiMoCuN 25-20-7 / X1CrNiMoCuN 25-20-6	19,0	6,0	39	4

Dr. Hunkeler, TFB, Wildegg

38

## KORROSION NICHTROSTENDER STÄHLE

### 3. SPALTKORROSION

Spaltkorrosion tritt auf, wenn die Passivschicht des nichtrostenden Stahles zerstört wird, z.B. dadurch, dass aggressive Medien bei gleichzeitigem Fehlen von Sauerstoff vorhanden sind.

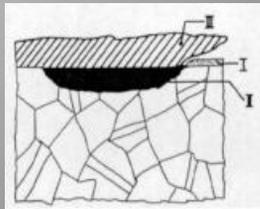
Sie tritt aus diesem Grund häufig in engen Spalten und kleinen Hohlräumen auf – z.B. unter Dichtungen oder unter Schraubenköpfen

Spaltkorrosion lässt sich durch entsprechende Werkstoffauswahl (Cr und Mo Gehalt), sowie durch konstruktive Maßnahmen vermeiden.

Sie unterliegt im Wesentlichen den gleichen Mechanismen wie die Lochfraßkorrosion → Wirksumme PREN



Spaltkorrosion unter einer Dichtung  
Flansch aus 1.4436



I Passivschicht  
II Korrosionsschaden  
III Dichtung, Ablagerung,...

39

## KORROSION NICHTROSTENDER STÄHLE

### 4. SPANNUNGSRIßKORROSION

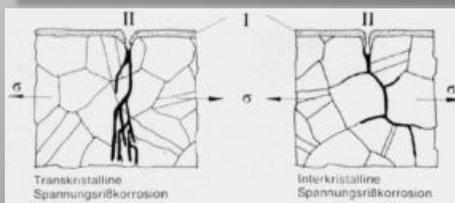
Bei dieser Korrosionsart entstehen bei nichtrostenden Stählen im allgemeinen transkristalline Risse.

Folgende 3 Bedingungen müssen gleichzeitig vorliegen:

1. Die Oberfläche des Bauteiles steht unter Zugspannung
2. Einwirkung eines spezifisch wirkenden Mediums (meist Chlor-Ionen)
3. Neigung des Werkstoffes zur Spannungsrißkorrosion

Zugspannungen entstehen aus Zug- oder Biegebeanspruchung, können aber auch als Eigenspannungen vorliegen! (Schweißen, Kaltwalzen, Tiefziehen,...)

Kann durch richtige konstruktive Gestaltung und Auswahl des Werkstoffes vermieden werden



J. Thürr, Voest Alpine

I Passivschicht  
II örtlicher Durchbruch der Passivschicht

Rissverlauf quer zur Zugspannung, an den Rissflanken erfolgt wieder Passivierung, an der Rissspitze wird das Material angegriffen

40

## KORROSION NICHTROSTENDER STÄHLE

### 5. SCHWINGUNGSRIßKORROSION

Bei reiner Schwingungsbeanspruchung (ohne Korrosionsbelastung) gibt es eine untere Wechsellastspannung, unterhalb der kein Bruch mehr beobachtet wird: Die Dauerschwingfestigkeit.

Demgegenüber fehlt bei Schwingungsrissskorrosion meist eine Dauerschwingfestigkeit und der Stahl kann auch unterhalb dieser Grenze brechen.

Verstärkte Gleitbewegungen an Mikrokerben → erhöhter Korrosionsangriff

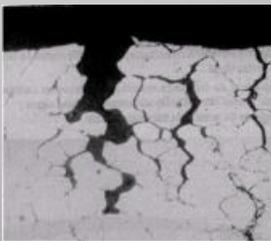
- Kann im Gegensatz zur Spannungsrisskorrosion in allen korrosiven Medien in Verbindung mit Wechselbelastung auftreten
- Die Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion nimmt mit zunehmender Korrosionsbeständigkeit des Werkstoffes im wirkenden Medium und zunehmender Festigkeit des Stahles zu.
- Tritt in vielen Bereichen (z.B. Bauwesen, Konsumgüterbereich NICHT auf

41

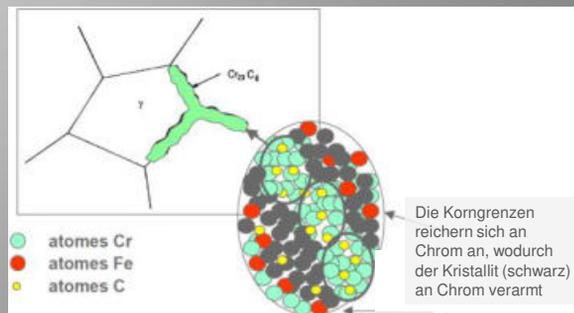
## KORROSION NICHTROSTENDER STÄHLE

### 6. INTERKRISTALLINE KORROSION

- Tritt in sauren Medien auf, wenn sich durch Wärmeeinwirkung (z.B. Schweißen!) Cr-Carbide an den Korngrenzen abscheiden (Austenite 450-850°C Ferrite >900°C)
- Durch die Verarmung an Chrom geht die passivierende Wirkung verloren
- Bei Ferriten lässt sich dieses durch eine stabilisierende Glühung (750-800°C) rückgängig machen → Lieferzustand, daher beständig gegen Interkristalline K.
- Bei Austeniten ist die Vermeidung durch Beschränkung des C-Gehaltes auf 0,04% möglich – oder durch Zulegieren von Ti und Nb (Carbid-bildner)



ArcelorMittal



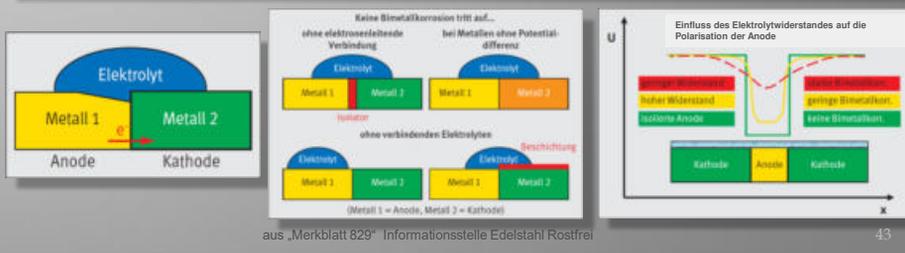
ArcelorMittal

42

## KORROSION NICHTROSTENDER STÄHLE

### 7. KONTAKTKORROSION – BIMETALLKORROSION

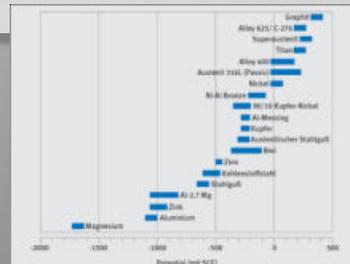
- Kann entstehen beim Kontakt zweier unterschiedlich edler Metalle, die von einem Elektrolyten benetzt sind.
- Der weniger edle Werkstoff (Anode) wird an der Kontaktseite angegriffen und geht in Lösung. Der edlere Werkstoff (Kathode) wird nicht angegriffen.
- In der Praxis sind nichtrostende Stähle gegenüber anderen metallische Stoffen wie un- und niedriglegierten Stählen, sowie Aluminium, die edleren Werkstoffe
- Tritt besonders dann auf, wenn die Oberfläche des edleren Werkstoffes im Verhältnis zu der des unedleren groß ist
- Je größer der Potentialunterschied der Werkstoffe, desto stärker die Korrosion
- lässt sich verhindern oder herabsetzen durch Isolierung der Kontaktstellen oder durch Fernhalten elektrolytischer Medien



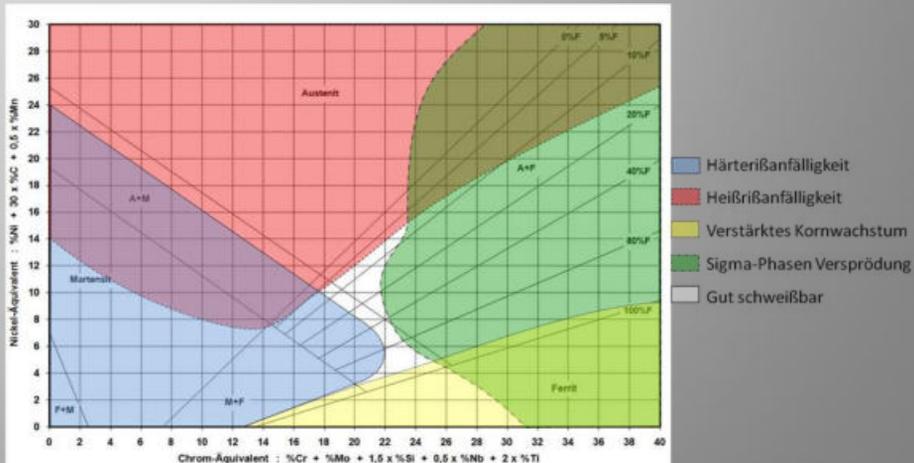
## KORROSION NICHTROSTENDER STÄHLE

### 7. KONTAKTKORROSION – BIMETALLKORROSION

- Kann entstehen beim Kontakt zweier unterschiedlich edler Metalle, die von einem Elektrolyten benetzt sind.
- Der weniger edle Werkstoff (Anode) wird an der Kontaktseite angegriffen und geht in Lösung. Der edlere Werkstoff (Kathode) wird nicht angegriffen.
- In der Praxis sind nichtrostende Stähle gegenüber anderen metallische Stoffen wie un- und niedriglegierten Stählen, sowie Aluminium, die edleren Werkstoffe
- Tritt besonders dann auf, wenn die Oberfläche des edleren Werkstoffes im Verhältnis zu der des unedleren groß ist
- Je größer der Potentialunterschied der Werkstoffe, desto stärker die Korrosion
- lässt sich verhindern oder herabsetzen durch Isolierung der Kontaktstellen oder durch Fernhalten elektrolytischer Medien

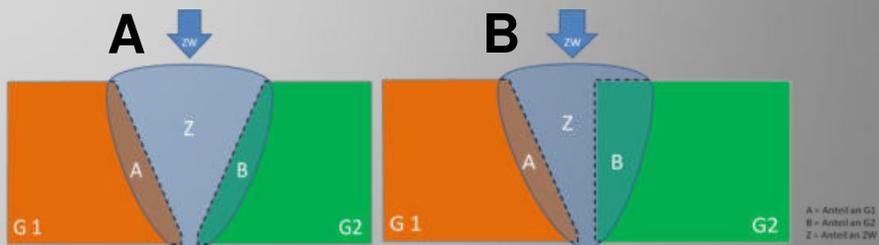


## ANWENDUNG DES SCHAEFFLERDIAGRAMMS



45

## Fugenvorbereitung



Aufschmelzgrad =

$$\frac{A_G}{A_G + A_Z} \cdot 100\% = \frac{A + B}{(A + B) + Z}$$

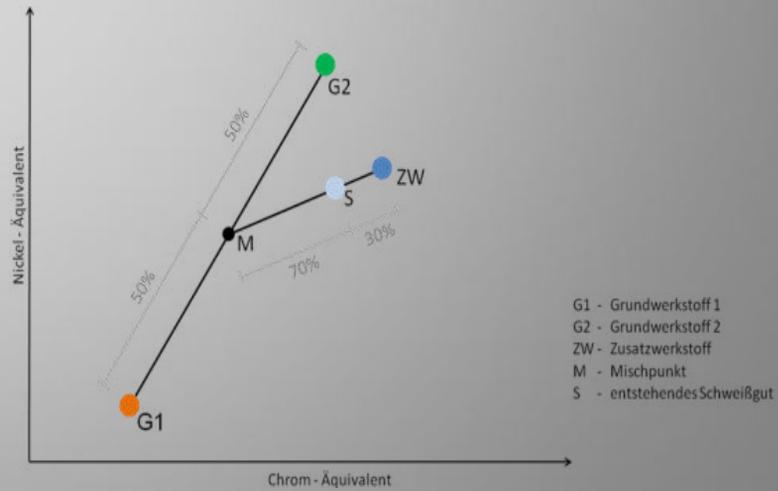
\* 100 %

$A_G$  - Fläche des Aufgeschmolzenen Grundwerkstoffes

$A_Z$  - Fläche des aufgeschmolzenen Zusatzwerkstoffes

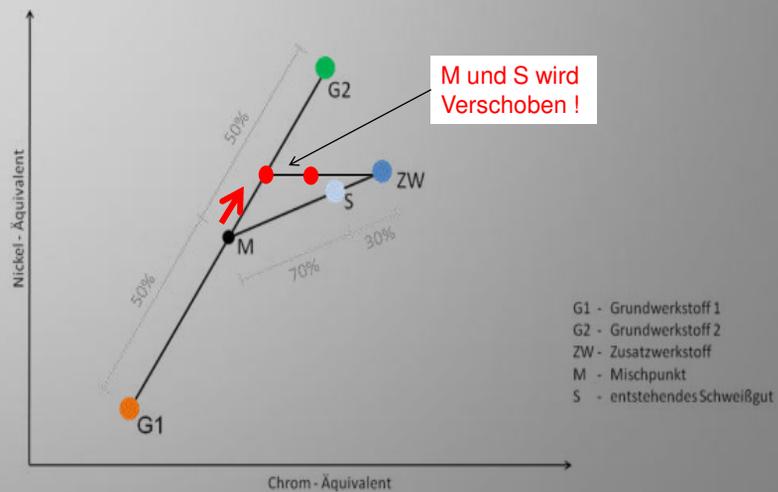
46

## Variante A



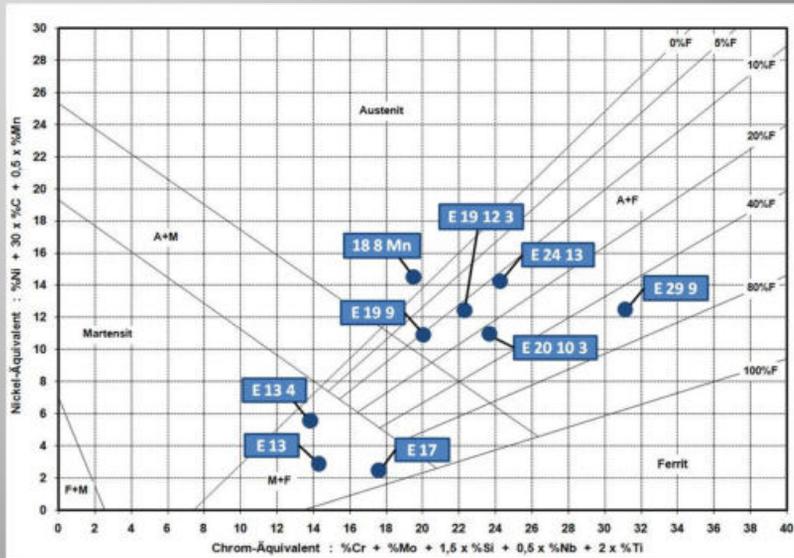
47

## Variante B



48

## Zusatzwerkstoffe



49