

## Wissenswertes über Edelstahl

Der Begriff "Edelstahl Rostfrei" ist ein Sammelbegriff für über 120 verschiedene Sorten nichtrostender Stähle. Über Jahrzehnte wurde eine Vielzahl von verschiedenen Legierungen entwickelt, welche für die unterschiedlichsten Anwendungen die jeweils beste Eigenschaft bieten. Diese Legierungen haben alle ein gemeinsames Merkmal: Sie benötigen durch das in der Legierung enthaltene Chrom keinen zusätzlichen Oberflächenschutz. Dieser Chromanteil bildet auf der Oberfläche eine farblose, transparente Oxydschicht welche sich nach Beschädigung der Oberfläche mit Hilfe des in der Luft oder Wasser enthaltenen Sauerstoff selbsttätig schließt. Nichtrostende Stähle sind in der DIN 17440 und der DIN EN ISO 3506 zusammengefasst. Grundsätzlich werden Edelstahllegierungen nach ihrem kristallinen Gefüge in 4 verschiedene Haupt-gruppen eingeteilt:

### 1. Martensitische Edelstähle

Nach dem Gefüge werden Werkstoffe mit 10,5 - 13,0% Chromanteil und einem Kohlenstoffgehalt von 0,2 - 1,0% dieser Gruppe zugeordnet. Es können weitere Elemente als Legierungsanteil zugefügt werden. Das Verhältnis zum Kohlenstoff muss eine Wärmebehandlung, das sogenannte Vergüten, zu-lassen. Dadurch werden Festigkeitssteigerungen möglich. Die martensitischen Edelstähle sind magnetisch. Sie werden für die Herstellung mechanisch hochbeanspruchter Konstruktionsteile verwendet. (Turbinenbau)

### 2. Ferritische Edelstähle (sog. Chrom - Stähle)

Diese Werkstoffe haben Chromanteile von 12 - 18% und einen sehr niedrigen Kohlenstoffgehalt von weniger als 0,2%. Die ferritischen Edelstähle sind magnetisch und auf Grund des geringen Kohlenstoffgehaltes nicht härtbar. Das Einsatzgebiet sind Produkte in der Salpetersäureindustrie, Tiefziehprodukte und Produkte in der Automobil- und Haushaltwarenindustrie. 1.4016 (X 6 Cr 17)

### 3. Austenitische Edelstähle

(sog. Chrom Nickel / Chrom Nickel Molybdän Stähle)

Die austenitischen Chrom-Nickel Stähle bieten eine besonders günstige Kombination von Verarbeitbarkeit, mechanischen Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit. Sie empfehlen sich daher für viele Anwendungsmöglichkeiten und sind die bedeutendste Gruppe der nichtrostenden Stähle. Die wichtigste Eigenschaft dieser Stahlgruppe ist die hohe Korrosionsbeständigkeit, die mit zunehmendem Legierungsgehalt, besonders an Chrom und Molybdän, gesteigert wird. X 2 CrNi 19 11 (1.4306)

Wie bei den ferritischen Stählen, ist auch bei den austenitischen Stählen zur Erreichen guter technologischer Eigenschaften ein feinkörniges Gefüge notwendig. Als abschließende Wärme-behandlung wird ein Lösungsglühen bei Temperaturen zwischen 1000° C und 1150° C mit anschließender Abkühlung in Wasser oder Luft durchgeführt, um die Ausbildung von Ausscheidungen zu vermeiden. Austenitische Stähle sind im Gegensatz zu martensitischen Stählen nicht härtbar. Das hohe Dehnungsvermögen der austenitischen Stähle garantiert gute Kaltumformbarkeit.

Das austenitische Gefüge hat einen Anteil von 15 - 26% Chrom und 5 - 25% Nickel. Durch einen Legierungszusatz von 2 - 6% Molybdän wird die Rost - und Säurebeständigkeit erhöht. Hierzu gehören auch so genannte stabilisierte Edelstähle welche mit Titan oder Niob legiert sind. Diese Elemente verhindern die Bildung von Chromkarbiden beim Schweißen.

### 4. Austenitisch - ferritische Edelstähle (sog. DUPLEX - Stähle)

Duplex Edelstähle, benannt nach ihren zwei Gefügebestandteilen, enthalten 18 - 25% Chrom, 4 - 7% Nickel und bis zu 4% Molybdän in einem austenitisch - ferritischem Gefüge. Der Begriff „V2A“ stammt aus dem Jahre 1912 und bezeichnete ein Produkt aus der „Versuchsreihe 2 Austenit“. Dazu kam später auch „V3A“, „V4A“ etc. und obwohl diese Begriffe heute in der Abkürzung „A2“, „A3“, „A4“ etc. allgemein angewendet werden, sind diese Bezeichnungen nicht eindeutig. Heute gibt es ein europaweit gültiges Werkstoff - Nummernsystem. Hierbei ist zu beachten, dass zwischen AISI - bzw. UNS - Bezeichnungen und den Werkstoffnummern nach EN 10088 keine 1 : 1 - Beziehung besteht. So wird z.B. der Werkstoff AISI 304L mit der Werkstoffnummer 1.4306 gleichgesetzt obwohl er ähnliche Eigenschaften wie 1.4301 und 1.4541 aufweist.

## Verträglichkeit mit anderen Werkstoffen

In der praktischen Anwendung ergibt sich oft die Notwendigkeit nichtrostende Stähle mit unterschiedlichen metallischen Werkstoffen in einem Bauteil zu kombinieren. Bei elektrisch leitender Verbindung dieser Werkstoffe miteinander kommt es in Gegenwart eines leitenden Mediums zu Korrosionsreaktionen die zu Schäden durch Kontaktkorrosion führen können.

Nach DIN 50 900 Teil 1 ist die Kontaktkorrosion eine „beschleunigte Korrosion eines metallischen Bereichs, die auf ein Korrosionselement, bestehend aus einer Paarung Metall/ Metall oder Metall/ elektronenleitender Festkörper mit unterschiedlichen freien Korrosionspotentialen zurückzuführen ist. Hierbei ist der beschleunigt korrodierende metallische Bereich die Anode des Korrosionselementes". Die bei der Kontaktkorrosion auftretende Korrosionserscheinung ist häufig gleichmäßiger oder ungleichmäßiger Flächenabtrag. Der Flächenabtrag oder Massenverlust des „unedleren" Partners in der Kombination hängt von der Größe des fließenden Elementstroms („Potentialdifferenzstrom") und der Höhe der Eigenkorrosion beim sich einstellenden Mischpotential der Metallkombination ab. Der Elementstrom ist eine komplexe Größe, der von der geometrischen Anordnung, der Größe der medienberührten Elektrodenflächen, den Ruhepotentialen und den Polarisationswiderständen der Partner sowie von dem Elektrolytwiderstand des Mediums abhängt.

Für die Beurteilung der Korrosionsgefährdung des unedleren Partners in einer Werkstoffkombination ist nicht die Höhe der Potentialdifferenz (Spannungsunterschied) zwischen den miteinander verbundenen Werkstoffen, sondern die Charakteristik der Teilstromdichte-Potential-Kurven beider Werkstoffe im angreifenden Medium verantwortlich. Die Korrosionsstromdichte (Elementstrom) und damit der Kontaktkorrosionsangriff kann sich bei gleicher Potentialdifferenz je nach Charakteristik der anodischen und kathodischen Teilstromdichte-Potential-Kurven um mehrere Größenordnungen ändern. Ausschlaggebend ist, ob die anodischen oder die kathodischen Teilreaktionen ungehindert oder behindert, z.B. durch sich bildende Deckschichten, ablaufen können. Liegen bei guter Leitfähigkeit des korrosiven Mediums ungünstige Flächenverhältnisse (große Kathode/kleine Anode) vor, kann die Kontaktkorrosion zu Korrosionsschäden führen.

Demnach ist das Zugrundelegen der theoretischen Spannungsreihe aber auch der praktischen Spannungsreihen zur Abschätzung der Gefährdung von Werkstoffen bei leitendem Kontakt miteinander in der Praxis ungeeignet. Zur exakten Beurteilung der Gefährdung einer Werkstoffkombination sind Korrosionsuntersuchungen nach DIN 50 919 erforderlich.

## Physikalische Eigenschaften

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

Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen den ferritischen / martensitischen Chromstählen und den Chrom-Nickel-Stählen ist die Magnetisierbarkeit. Im Gegensatz zu den magnetisierbaren Chromstählen zeigen die austenitischen Stähle ein weitgehend unmagnetisierbares Verhalten im lösungsgeglühten Zustand.

Eine Kaltumformung kann bei den austenitischen Stählen zu einer Gefügeveränderung führen, so dass danach eine begrenzte Magnetisierbarkeit vorliegt. Der Nickelgehalt beeinflusst die Magnetisierbarkeit der austenitischen nichtrostenden Stähle jedoch wesentlich, so dass bei höherem Nickelgehalten die Magnetisierungsneigung auch im kaltumgeformten Zustand weitgehend vermieden werden kann.

## Physikalische Eigenschaften

Stahlsorte		Elastizi- tätsmodul bei 20° C Nm/mm <sup>2</sup>	magneti- sierbar	magnetisch
W. Nr.	Kurzname			
1.4016	X 6 Cr 17	200	nein	ja
1.4122	X 35 CrMo 17	200	ja	ja
1.4301	X 5 CrNi 18 10	200	nein	nein
1.4305	X 10 CrNiS 18 9	220	nein	nein
1.4404	X 2 CrNiMo 17 13 2	200	nein	nein
1.4510	X 6 CrTi 17	200	nein	ja

# Korrosion nichtrostender Stähle

## **Korrosionsbeständigkeit**

Grundsätzliche Voraussetzung für die Erzielung der optimalen Korrosionsbeständigkeit ist eine metallisch absolut saubere Oberfläche.

Nichtrostende Stähle zeichnen sich durch besondere Beständigkeit gegen chemisch angreifende, wässrige Medien aus. Sie haben im Allgemeinen einen Masseanteil des Elements Chrom (Cr) von mindestens 12% und einen Masseanteil des Elements Kohlenstoff (C) von höchstens 1,2%. (1.4016)

Die hohe Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle beruht auf ihrer Fähigkeit an der Oberfläche eine so genannte Passivschicht zu bilden. Dabei handelt es sich um eine nur wenige Angström dünne, chromreiche Metalloxid bzw. Metalloxidhydratschicht, die das Metall von dem angreifenden Medium trennt. Die Passivschicht eines nichtrostenden Stahles ist nicht etwas Unveränderliches, sondern stellt sich in ihrer Zusammensetzung und ihrem Aufbau im Zeitablauf mit dem umgebenden Medium ins Gleichgewicht. Nach einer mechanischen Verletzung der Metalloberfläche erfolgt die Bildung einer neuen Passivschicht im Allgemeinen selbstständig.

Kann sich in einem Medium keine ausreichende Passivschicht bilden oder wird die vorhandene Passivschicht auf chemischem Wege durchbrochen oder ganz zerstört, können Korrosionsschäden auftreten.

Das für die Fähigkeit der Passivschichtbildung entscheidende Legierungselement ist Chrom.

Durch Erhöhung des Chromanteils sowie Zulegieren von Molybdän [Mo] und auch anderen Legierungselementen lässt sich die Beständigkeit auf wesentlich aggressivere Einsatzbedingungen erhöhen.

Wirksam für die Passivierung ist nur der im Metall gelöste Gehalt an Legierungselementen. Die jeweils höchste Korrosionsbeständigkeit weist daher eine seigerungsfreie Matrix auf, die nicht durch Ausscheidungen oder Bildung intermetallischer Phasen wie Chrom und Molybdän verarmt ist. Nichtrostende Stähle können abtragende Flächenkorrosion und verschiedene Formen örtlicher Korrosion erleiden. Mit abtragender Flächenkorrosion ist primär beim Kontakt mit Säuren und starken Laugen zu rechnen. Für die Praxis wichtiger sind jedoch meistens die verschiedenen Formen örtlicher Korrosion.

## **Interkristalline Korrosion**

Interkristalline Korrosion ist ein Angriff entlang der so genannten Korngrenzen, während die Körner selbst nicht oder kaum abgetragen werden. Der Angriff der Korngrenzen kann so weit gehen, dass einzelne Körner aus dem Kornverband herausgelöst werden, wodurch das Gefüge seinen Zusammenhalt verliert.

Ursache der Interkristallinen Korrosion bei nichtrostenden Stählen sind Ausscheidungen von chrom-reichen Karbiden an den Korngrenzen, die eine Chromverarmung in den grenznahen Bereichen zur Folge haben.

Die so gebildeten chromarmen Zonen sind gegen die meisten angreifenden Medien nicht korrosionsbeständig genug und können daher schnell in Lösung gehen.

Die Chromkarbidausscheidungen setzen einen bestimmten Kohlenstoffgehalt voraus und finden im Temperaturbereich zwischen etwa 500° C und 800° C statt, wie z.B. bei Wärmebehandlungen oder Schweißvorgängen.

Zur Vermeidung einer Chromkarbidausscheidung kann man in nichtrostenden Stählen den Kohlenstoffgehalt auf unter 0,03% absenken oder aber den vorhandenen Kohlenstoff durch so genannte Stabilisierungselemente wie Titan (Ti) oder Niob (Nb), die eine größere Kohlenstoffaffinität als Chrom haben, anbinden.

Sind Chromkarbidausscheidungen aufgetreten, so können diese bei Lösungsglühtemperaturen oberhalb 1050° C wieder aufgelöst werden. Bei unstabilierten ferritischen Stählen kann eine bestehende Anfälligkeit gegen interkristalline Korrosion durch Glühen bei 800° C - 885° C beseitigt werden. Hierbei wird durch Nachdiffusion von Chrom aus dem Korninneren die Chromverarmungen in den korngrenznahen Bereichen aufgehoben.

## **Loch und Spaltkorrosion**

Loch- und Spaltkorrosion werden in der Praxis meistens durch Chloridionen verursacht. Daneben können auch die seltener auftretenden Halogenide Bromid und Jodid Auslöser sein.

Lochkorrosion wird eingeleitet durch eine Wechselwirkung zwischen den Halogenidionen und der Passivschicht, wobei die Passivschicht lokal durchbrochen wird. Es bilden sich nadelstichartige Vertiefungen und durch deren Erweiterung Lochfraßstellen, die eine unterschiedliche Ausprägung haben können. Die Lochkorrosionsgefahr nimmt mit steigender Konzentration der Halogenidionen, steigender Temperatur und Erhöhung des elektrochemischen Potentials des Stahls zu.

Spaltkorrosion tritt in Spalten auf, in denen der Flüssigkeitsaustausch mit der Umgebung eingeschränkt ist. Solche Spalten sind konstruktions- oder betriebsbedingt und liegen z.B. bei Flanschen, an Rohreinwalmungen, unter Dichtungen, Schraubenköpfen oder auch unter Ankrus-tungen vor.

Der Korrosionsmechanismus entspricht im Wesentlichen dem der Lochkorrosion. Als zusätzliche Einflussfaktoren treten noch die Spaltgeometrie und die Art der spaltbildenden Materialien in Erscheinung. Da Spaltkorrosion schon bei bedeutend schwächerer Korrosionsbeanspruchung auftritt als Lochkorrosion, sollte in chloridhaltigen Medien durch konstruktive Maßnahmen das Auftreten von Spalten möglichst vermieden werden.

Bei homogener Legierungselementverteilung kann die relative Loch- und Spaltkorrosionsbeständigkeit eines nichtrostenden Stahles in etwa über die Wirksumme „W“

$$W = \%Cr + 3,3x\%Mo + 30x\%N \text{ oder } W = \%Cr + 3,3x\%Mo$$

abgeschätzt werden

Der Einfluss des Legierungselementes Stickstoff ist allerdings komplexer als diese Beziehung ausdrückt. Die im Faktor 30 zum Ausdruck kommende hohe Wirksamkeit dürfte nur bei hochlegierten Stählen mit erhöhten Molybdängehalten voll zum Tragen kommen. Nichtmetallische Verunreinigungen, vor allem sulfidische Ausscheidungen, fördern Loch- und Spaltkorrosion, wenn sie an die Oberfläche treten.

Von Vorteil kann eine möglichst glatte Oberfläche sein, welche ein Anhaften von Ablagerungen die zur Spaltkorrosion führen können erschweren.

Eine hohe Loch- und Spaltkorrosionsbeständigkeit wird nur bei einwandfreier Oberflächenbeschaffenheit d.h. metallisch blanker Oberfläche, erreicht. Deshalb sind Anlauffarben und Zunderreste nach dem Schweißen, Fremdmetallabrieb, Fremdrost, Schleifmittelrückstände etc. gründlich zu entfernen.

### **Fremdrost**

Unter Fremdrost versteht man Ablagerungen von Rostteilchen, die nicht an der betreffenden Stelle entstanden, sondern von irgendwo her hinzu getragen wurden. Fremdrost tritt bevorzugt bei nicht getrennter Lagerung und Verarbeitung von „schwarzem“ und „weißem“ Stahl auf.

Aber auch Werkzeugabrieb kann zu Fremdrost führen. Durch Ablagerung von Fremdrost können die Bedingungen für Spaltkorrosion erfüllt sein.

### **Spannungsrissskorrosion**

Medien mit spezifisch wirkenden Komponenten - Besonders Chloridionen - können bei gleichzeitiger Einwirkung von Zugspannungen zu einem Korrosionsangriff unter Rissbildung bei nichtrostenden Stählen führen, auch wenn der Stahl ohne mechanische Beanspruchung in dem Medium ausreichend beständig ist. Diese als Spannungsrissskorrosion bezeichnete Erscheinung kann nicht nur durch von außen aufgebrachte betriebsbedingte Zugspannungen ausgelöst werden. Häufig liegt die Ursache vielmehr auch in Eigenspannungen, die bei der Verarbeitung eingebracht werden, wie z. B. beim Schweißen, Schleifen oder Kaltumformen.

Die Gefahr von chloridinduzierter Spannungsrissskorrosion nimmt wie bei der Loch- und Spaltkorrosion mit steigender Temperatur und Chloridkonzentration zu. Werkstoffseitig sind dazu andere Einflussgrößen wirksam. So sind austenitische Stähle des Typs 18/10 - CrNi und 18/10/2 - CrNiMo bei Temperaturen oberhalb von etwa 50°C durch chlorinduzierte Spannungsrissskorrosion besonders gefährdet. Durch Erhöhen des Molybdän- und besonders des Nickelgehaltes lässt sich die Beständigkeit aber erheblich steigern. Auch ferritische und austenitische, nichtrostende Stähle sind vergleichsweise wenig empfindlich.

### **Schwingungskorrosion**

Die Schwingungsfestigkeit aller nichtrostenden Stähle wird durch zusätzlichen chemischen Angriff mehr oder weniger stark herabgesetzt. Die Abnahme der Schwingungsfestigkeit hängt vom Angriffsmittel und von der Mehrachsigkeit der auftretenden Wechselbelastungen ab.

### **Kontaktkorrosion**

Die Möglichkeit von Kontaktkorrosion besteht dann, wenn in einem Korrosionsmedium zwei Metalle mit unterschiedlichem freien Korrosionspotenzial leitend miteinander verbunden sind. Das Metall mit dem niedrigeren freien Korrosionspotenzial kann zumindest zu höheren Potenzialen hin polarisiert und dadurch verstärkt angegriffen werden.

Auch bei großen Unterschieden zwischen den freien Korrosionspotenzialen der beteiligten Metalle tritt Kontaktkorrosion aber nicht notwendigerweise auf. Dies hängt von dem elektrochemischen Verhalten der beiden Metalle ab.

Von Bedeutung ist auch die Leitfähigkeit des Mediums und das Oberflächenverhalten der beteiligten Metalle. Wenn das „unedlere“ Metall eine sehr viel größere Fläche aufweist als das „edlere“, und das Korrosionsmedium eine hohe Leitfähigkeit aufweist, ist die Gefahr eines Korrosionsschadens geringer. Zu vermeiden ist jedoch die Verbindung zwischen einem „unedlen“ Metall mit kleiner Oberfläche und einem „edleren“ Metall mit großer Oberfläche. Nichtrostende Stähle nehmen im Allgemeinen hohe freie Korrosionspotenziale ein und unterliegen daher kaum der Gefahr, durch Kontaktkorrosion verstärkt angegriffen zu werden. Wesentlich häufiger ist der Fall, dass bei anderen Metallen mit niedrigem freien Korrosionspotenzial durch die Verbindung mit einem nichtrostenden Stahl Kontaktkorrosion auftritt.

## **Materialauswahl**

Anforderungen an die Gebrauchswerteigenschaften von Edelstahl, wie Festigkeit, Oberflächengestaltung, Verarbeitung, Verarbeitbarkeit, Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse und andere Medien sowie Qualität und Preis ermöglichen eine optimale Materialauswahl, die den Anforderungen an die zu fertigende Produkte genügt. Unsere Kunden haben die Möglichkeit zwischen verschiedenen Materialien zu wählen, bieten aber standardmäßig das günstigste Material bzw. die günstigste Materialkombination an.

In der Regel werden im Solarbereich rostfreie Edelstähle wie Chromstahl mit einem Chromgehalt von ca. 17% und einem Kohlenstoffgehalt von < 0,2% (X 6 Cr 17 1.4016) allein, in Verbindung mit einem Duplexedelstahl z.B. X 5 CrNi 18 10 (1.4301) oder vollständig aus Duplexedelstahl hergestellt. Letzterer Fall erleichtert die Fertigung beim Produzenten, kann aber nicht so preiswert hergestellt werden.

Weiterhin wird für Edelstahlanwendungen an der See, in Frei- und Hallenbäder X 5 CrNiMo 17 12 2 (1.4401) verwendet, da Chloridionen zu Loch- und Spaltenkorrosion führt. Die Zulegierung von Mo führt zu einer wesentlich verbesserten Beständigkeit gegen Loch- und Spaltenfraß.

Grundsätzlich ist bei der Edelstahlverarbeitung jede Schweißnaht eine Schwachstelle in Bezug auf Korrosion. Deshalb ist das von der Fa. ALTEC SOLARTECHNIK eingeführte Passivieren durch Edelstahl Kugelstrahlen inzwischen ein allgemein angewendetes Verfahren.

Damit werden Schweißspannungen abgebaut und durch die Verdichtung der Oberfläche die Korrosionsgefährdung weitgehend abgebaut.

## **Qualitätssicherung**

Die Fa. ALTEC SOLARTECHNIK ist ein zugelassener Schweißbetrieb mit allen Zulassungen die für eine qualitätsgerechte Produktion notwendig sind, wie z.B. Handschweißung und Automatschweißung für Stahl und Edelstahl. TÜV zertifizierte Schweißungen von Dachhaken aus den Materialien 1.4016, 1.4301 sowie Verbindungsschweißen von 1.4016 und 1.4301.

Dachhaken und Montagebügel werden auf einem statischen Prüfstand auf ihre Festigkeit getestet und auf einem dynamischen Prüfstand werden diese Haken einem Langzeittest unterzogen um eventuelle Materialermüdungserscheinungen auf zu decken, die in 40 oder 50 Jahren zum Bruch führen könnten. Alle Edelstahlkomponenten werden in Langzeittests auf mögliche Korrosionen untersucht. Die enge Zusammenarbeit mit dem TÜV, der SLV sowie Hochschulen, Universitäten und anderen Einrichtungen und Institutionen ermöglicht eine ständige Verbesserung und Weiterentwicklung unserer Produkte auf einem hohen Qualitätsniveau.

Der Betrieb arbeitet nach dem Qualitätssiegel und wird z.Z. zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2000.