



Merkblatt 828

Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle an der Atmosphäre



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 ist einsehbar unter www.edelstahl-rostfrei.de/Publikationen.

Impressum

Merkblatt 828
Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle an der Atmosphäre
3. überarbeitete Auflage 2016

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

Autoren:
Dr.-Ing. Andreas Burkert,
Dipl.-Ing. Joachim Fischer,
Dipl.-Ing. Jens Lehmann,
Dipl.-Ing. Thoralf Müller,
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Titelfoto:
Martina Helzel, München

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 Atmosphärische Korrosion	3
3 Einsatz nichtrostender Stähle unter atmosphärischen Bedingungen	5
4 Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle unter atmosphärischen Bedingungen	6
5 Einflussgrößen bei anwendungsgerechter Werkstoffauswahl	9
5.1 Oberflächenausführung	9
5.2 Lieferzustand	10
5.3 Lagerung und Transport	10
5.4 Konstruktion	10
5.5 Verarbeitung und Nachbehandlung	10
5.6 Reinigung und Pflege	11
6 Literatur	12

1 Einleitung

Im allgemeinen Sprachgebrauch ist „Edelstahl Rostfrei“ als Sammelbegriff für nichtrostende Stähle weit verbreitet. Gemeint sind Stähle, die mindestens 10,5 Masse-% Chrom (Cr) enthalten und gegenüber unlegierten Stählen eine deutlich verbesserte Korrosionsbeständigkeit aufweisen (**Bild 1**). Ursächlich hierfür ist die Ausbildung einer Passivschicht, die als Barriere zwischen der Legierung und den sie umgebenden Medien fungiert [1]. Der ohne weitere Korrosionsschutzmaßnahmen gute Widerstand dieser Legierungen gegen Korrosion an „normaler“ Umgebungsatmosphäre hat zur Namensgebung „nichtrostende Stähle“ geführt. Seit Erfindung der nichtrostenden Stähle im Jahre 1912 haben Hersteller und Verarbeiter unterschiedliche Synonyme wie V2A, V4A oder Inox in Umlauf gebracht, die in der Regel jedoch nur eine Werkstoffgruppe spezifizieren. Eindeutig werden die Werkstoffe mit den in diesem Merkblatt verwendeten Bezeichnungen der aktuellen europäischen Normung DIN EN 10088 [2] mit Werkstoff-Nummer und Kurzname gekennzeichnet.

Über das Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle bei atmosphärischer Beanspruchung liegen umfangreiche Erfahrungen von jahrzehntelangen praktischen Anwendungen in den unterschiedlichsten Gebieten weltweit sowie aus systematischen Auslagerungsversuchen vor. Die gewonnenen Daten erlauben je nach Zusammensetzung der umgebenden Atmosphäre die Auswahl eines geeigneten Werkstoffes. Unter vielen atmosphärischen Bedingungen sind die nichtrostenden Stähle bei freier Bewitterung, auch unter langzeit- oder dauerfeuchten Bedingungen, im Unterschied zu Zink oder Aluminium, vollständig korrosionsbeständig. Die Auswahl der nichtrostenden Stähle muss den jeweiligen Einsatzbedingungen angepasst werden, um in jedem Fall sicherzustellen, dass der passive Zustand aufrechterhalten bzw. eine erneute Passivierung unter den gegebenen Einsatzbedingungen möglich ist. Störungen der Passivschichtausbildung führen zu verminderter Korrosionsbeständigkeit mit den für nichtrostende Stähle typischen örtlichen Korrosionserscheinungen.



Bild 1: Korrosionsbeständig und verschleißfest ermöglichen nichtrostende Stähle langlebige und wartungsarme Konstruktionen unter atmosphärischen Bedingungen (Foto: MetallArt Metallbau Schmid GmbH, Salach)

2 Atmosphärische Korrosion

Atmosphärische Korrosion ist nach Definition der DIN EN ISO 8044 [3] eine Korrosionsart, deren Spezifik darin besteht, dass die Erdatmosphäre bei Umgebungstemperatur das Korrosionsmedium bildet. Die Korrosion metallischer Werkstoffe an der freien Atmosphäre wird im Wesentlichen von der Luftfeuchtigkeit, der Temperatur sowie gasförmiger oder fester Verunreinigungen der Luft beeinflusst (**Bild 2**). Der Temperatur-Feuchte-Komplex ist dabei der wichtigste Einflussfaktor. Selbst für unlegierten bzw. niedriglegierten Baustahl ist die Korrosionsgeschwindigkeit im Allgemeinen unbedeutend, wenn die relative Luftfeuchte an der Stahloberfläche etwa 60 % nicht überschreitet. In den aktuell gültigen Regelwerken DIN EN ISO 9223 bis DIN EN ISO 9226 [4-7] und DIN EN ISO 12944-2 [8] werden grobe Abschätzungen des Korrosionsverhaltens von metallischen Werkstoffen auf der Grundlage von

- Atmosphärentyp
- klimatischen Einflüssen
- Aufstellungskategorie

vorgenommen und Korrosivitätskategorien für atmosphärische Umgebungsbedingungen mit Beispielen für typische Umgebungen definiert. Teilweise werden zusätzlich einige Besonderheiten wie beispielsweise Befeuchtungsdauer, Verhältnisse in Hohlkästen und Belastungen mit Kondenswasser berücksichtigt. Die Korrosivitätskategorie ist damit ein technisches Merkmal von atmosphärischen Umgebungen, welches eine Grundlage für die Auswahl von Werkstoffen und Korrosionsschutzmaßnahmen in Bezug auf konkrete Anforderungen der jeweiligen Anwendung, insbesondere der Nutzungsdauer, bildet. Innerhalb des o.g. Normenkomplexes werden aber nur metallene Werkstoffe erfasst, die eine weitgehend gleiche Geschwindigkeit der Korrosionsprozesse auf der gesamten Oberfläche (gleichmäßige Flächenkorrosion) zeigen, welche zu einem Massenverlust oder einer Massenzunahme führen können. Es wird in diesen Regelwerken darauf hingewiesen, dass die Korrosivitäts-

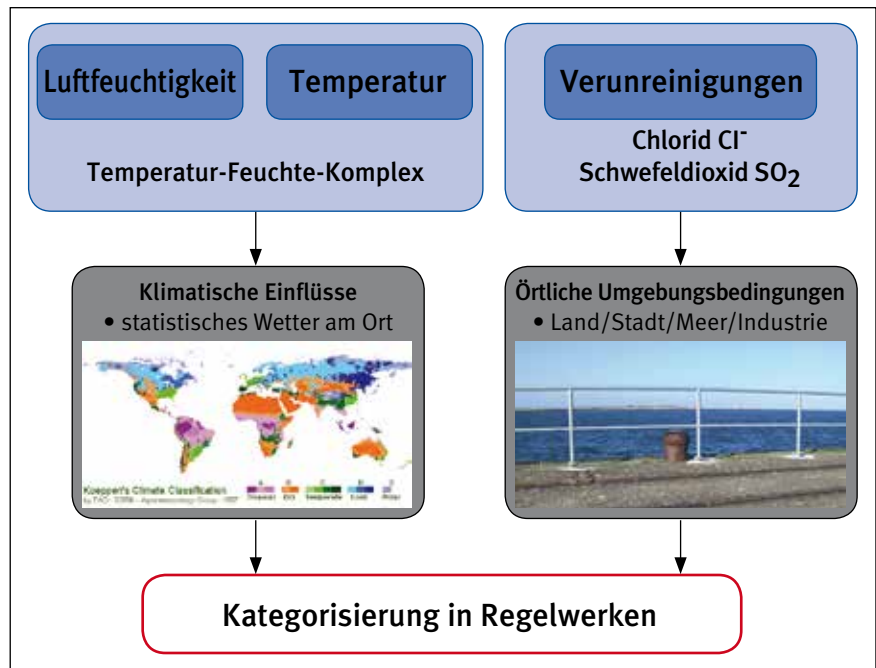


Bild 2: Hauptinflussparameter auf atmosphärische Korrosionsprozesse

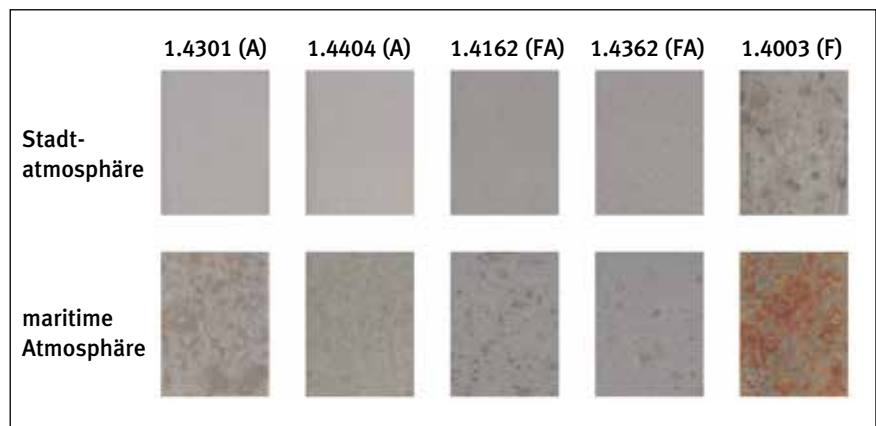


Bild 3: Einfluss der klimatischen Einsatzbedingungen Stadt-/maritime Atmosphäre auf die Korrosion verschiedener nichtrostender Stähle nach 22 Monaten Auslagungszeit (A = Austenit, FA = Duplex, F = Ferrit)

kategorien nicht auf nichtrostende Stähle anwendbar sind, da nichtrostende Stähle bei atmosphärischer Belastung einigen Besonderheiten unterliegen und spezielle Korrosionserscheinungen aufweisen können.

Wie bei allen metallischen Werkstoffen müssen auch bei nichtrostenden Stählen für die konkrete Einschätzung der Korrosionsbeständigkeit die örtlichen Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden. Da die Bedingungen an der Grenzfläche zwischen einem Bauteil und seiner Umgebung sehr unterschiedlich sein können, ist in jedem Einzelfall zu prüfen, welches Kleinklima im Einsatzbereich herrscht. Hier spielen Luftfeuchte, Taupunktunterschreitungen sowie örtliche Befeuchtung und deren Dau-

er, insbesondere in Kombination mit Schadstoffen und Verunreinigungen z.B. in Abhängigkeit von Windstärke und Windrichtung, eine wesentliche Rolle (**Bild 3 und 4**).

Besondere atmosphärische Korrosionsbedingungen herrschen beispielsweise in Straßentunneln und in Schwimmhallen, in Küstenregionen mit gleichzeitiger industrieller Luftverschmutzung, aber z.B. auch in Wüstenregionen mit Erdölförderung.

Mittlerweile kann eingeschätzt werden, dass die seit Jahrzehnten in einigen der o.g. Regelwerke hauptsächlich auf Basis der SO_2 -Belastung vergleichsweise benutzten Typisierungen nach Stadt-, Land- und Industrie-



Bild 4: Eine bewegliche Edelstahlskulptur aus dem nichtrostenden Duplexstahl 1.4462 an der South Shore Promenade in Blackpool (Foto: www.photo-genics.com/www.m-tec.uk.com)

atmosphäre heute zumindest in Europa nicht mehr zutreffend sind. Grund dafür ist die im europäischen Raum kaum noch vorhandene SO₂-Belastung. Umweltschutzmaßnahmen und andere Auflagen haben dazu geführt, dass selbst in Großstädten und Industriegebieten die früher typisch hohen SO₂-Belastungen heute nicht mehr erreicht werden. Für die Abschätzung der Korrosionsbelastung sind Kenntnisse über das Kleinklima deshalb einer der entscheidenden Faktoren. Die folgenden Einflussgrößen zur Beurteilung der Korrosionsgefährdung eines Korrosionssystems sind zu berücksichtigen:

- Chemische Einflussgrößen (Zusammensetzung und pH-Wert des Mediums)
- Physikalische Einflussgrößen (Temperatur, Druck)
- Mechanische Einflussgrößen (statische und dynamische Spannungen)
- Geometrische Einflussgrößen

(Spalten, Werkstoffpaarung, Himmelsrichtung)

- Zeitliche Einflussgrößen (ständige oder zeitweise Einwirkung des Mediums)
- Oberflächenzustand (geschliffen, gestrahlt, poliert)
- Kondensationsbedingungen (Bettauung kurzzeitig/ständig)

Unter Berücksichtigung einiger spezifischer Besonderheiten von Werkstoffen aus nichtrostenden Stählen können diese in Anlehnung an die oben genannten Kategorien und Einflussgrößen ausgewählt werden. Wenn es sich um sicherheitsrelevante, statisch tragende Bauteile handelt, gibt es in Deutschland für den Einsatz nichtrostender Stähle unter atmosphärischen Bedingungen konkrete Vorgaben, die in der vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) herausgegebenen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 [9] definiert sind. Hier werden mit Hilfe der zu erwartenden

Korrosionsbelastungen und typischen Anwendungsbeispielen sogenannte Korrosionswiderstandsklassen von I (gering) bis V (sehr stark) definiert. Die bereits erwähnten speziellen Anwendungen wie Straßentunnel und Schwimmhallen werden gesondert eingeschätzt. Als europäischer Standard gilt in diesem Zusammenhang der Anhang A im Eurocode 3, der DIN EN 1993-1-4 [10,11]. Hier sind seit der Änderung A1:2015 ergänzende Regeln zur Werkstoffauswahl nichtrostender Stähle enthalten. Ähnlich wie in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 werden Korrosionsbeständigkeitsklassen von I bis V definiert. Je nach Aktualisierungsstand enthalten beide Regelwerke in den jeweiligen Klassen weitgehend die gleichen Werkstoffe.

3 Einsatz nichtrostender Stähle unter atmosphärischen Bedingungen

Die nichtrostenden Stähle bilden je nach Kombination der Legierungselemente unterschiedliche Gefügestrukturen aus, die nach **Tabelle 1** entsprechend eingeteilt werden können.

Für den Einsatz unter atmosphärischer Korrosionsbelastung spielen die nichtrostenden martensitischen Stähle keine Rolle. Stähle mit diesem Gefüge erzielen nach entsprechender Wärmebehandlung hohe Festigkeiten und einen hohen Verschleißwiderstand, was sie für spezielle An-

Gefüge	Hauptlegierungsbestandteile
ferritisch	Cr
martensitisch	Cr, C (Kohlenstoffmartensite) oder Ni (Nickelmartensite)
austenitisch	Cr, Ni, Mo, Mn im Fall der Manganaustenite
austenitisch-ferritisch	Cr, Ni, Mo (höhere Cr- und niedrigere Ni-Gehalte als bei den austenitischen Stählen)

Tabelle 1: Einteilung der nichtrostenden Stähle nach Gefüge

wendungsfälle (Schneidwerkzeuge, Wälzlager etc.) interessant macht. Sie weisen für atmosphärische Anwendungen jedoch keine ausreichende Kaltzähigkeit auf und haben eine hohe Empfindlichkeit bezüglich des Auftretens von Spannungsrisskorrosion bereits in Atmosphären geringer Korrosivität.

Für die Anwendung unter atmosphärischen Bedingungen bisher nur wenig verbreitet sind nichtros-

tende Stähle mit ferritischem Gefüge. Bekannteste Vertreter sind die Werkstoffe 1.4003 (X2CrNi12) und 1.4016 (X6Cr17). Man unterscheidet grob zwei Gruppen dieser Stähle. Die mit einem Chromgehalt von etwa 11 bis 13 % (1.4003) und die mit einem Chromgehalt von etwa 17 % (1.4016). Durch den relativ geringen Chromgehalt der 11 bis 13 %igen Chromstähle ist deren Anwendung unter atmosphärischen Bedingungen begrenzt. Die 17 %igen Chromstähle

EN Kurzname	EN Werkstoff-Nr.	Gefüge	Korrosionswiderstandsklasse (KWK)	Typische Anwendungsgebiete
X5CrNi18-10 X2CrNi18-9 X6CrNiTi18-10 X3CrNiCu18-9-4 X2CrNiN18-7	1.4301 1.4307 1.4541 1.4567 1.4318	A A A A A	II	Standardwerkstoffe für alle bekannten Anwendungen bei zugänglichen Konstruktionen und Bauteilen wie Balkenbrüstungen, Geländerkonstruktionen, Verkleidungen, Befestigungsmittel in ländlicher und städtischer Umgebung ohne nennenswerte Belastungen durch Chloride und SO ₂ . Bei nicht freiberechneten Bauteilen ist zum Erhalt eines optisch ansprechenden Erscheinungsbildes eine mindestens einmal jährliche Unterhaltsreinigung erforderlich.
X5CrNiMo17-12-2 X2CrNiMo17-12-2 X6CrNiMoTi17-12-2 X3CrNiCuMo17-11-3-2 X2CrNiN23-4 X2CrNiN22-2 X2CrMnNiN21-5-1 X2CrNiMnMoCuN24-4-3-2	1.4401 1.4404 1.4571 1.4578 1.4362 1.4062 1.4162 1.4662	A A A A FA FA FA FA	III	Standardwerkstoffe für Konstruktionen mit mäßigen Belastungen durch Chloride z.B. durch Tausalze oder in maritimer Umgebung in gemäßigttem Klima und/oder mäßiger Belastung durch SO ₂ und auch für Konstruktionen und Bauelemente, bei denen aufgrund ihrer Lage und Zugänglichkeit eine Inspektion und regelmäßige Reinigung nicht möglich ist und die Lebensdauererwartung über 50 Jahre liegt. Bei hohen optischen Anforderungen ist einer geeigneten Oberflächenausführung besondere Beachtung zu schenken.
X2CrNiMoN22-5-3 X2CrNiMoN17-13-5 X1NiCrMoCu25-20-5	1.4462 1.4439 1.4539	FA A A	IV	Diese Werkstoffe sind geeignet für hohe Korrosionsbelastung durch Chloride, auch im Spritzwasser und Sprühnebelbereich, insbesondere in Umgebungen mit gleichzeitig erhöhten SO ₂ -Konzentrationen und hoher Luftfeuchtigkeit sowie bei erheblicher Aufkonzentration von Schadstoffen.
X2CrNiMnMoN25-18-6-5 X1NiCrMoCuN25-20-7 X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4565 1.4529 1.4547	A A A	V	Einsatz bei Vorliegen von extremen Chloridbelastungen, die mit der gleichzeitigen Einwirkung von z.B. SO ₂ oder Chlorgas zur Ausbildung stark saurer Oberflächenfilme führen können, ggf. im Zusammenhang mit höheren Temperaturen; der Möglichkeit einer erheblichen Aufkonzentration der Stoffe infolge fehlender Beregnung oder Reinigung; in allen Anwendungsgebieten, in denen das Auftreten von Spannungsrisskorrosion an tragenden Bauteilen nicht sicher auszuschließen ist (Schwimmhallenatmosphäre, Straßentunnel).

(A) Austenit, (F) Ferrit, (FA) Duplex

Tabelle 2: Häufig verwendete nichtrostende Stähle nach Korrosionswiderstandsklassen (KWK)

erreichen eine etwas höhere Korrosionsbeständigkeit. In den aktuellen Regelwerken [9,10] werden die nichtrostenden ferritischen Stähle der Korrosionswiderstandsklasse I zugeordnet. Als Anwendungsbeispiele werden Konstruktionen in Innenräumen mit Ausnahme von Feuchträumen angegeben. Die Entwicklung und weitere Verbreitung molybdänhaltiger ferritischer Stähle könnte hier das Einsatzgebiet in Zukunft erweitern, sofern gleichzeitig die erforderliche Kaltzähigkeit sichergestellt werden kann.

Im Gegensatz zu den vorgenannten nichtrostenden Stählen mit ferritischem oder martensitischem Gefüge werden nichtrostende austenitische Stähle sehr häufig und stetig zunehmend auch nichtrostende austenitisch-ferritische Stähle für den Einsatz unter atmosphärischen Korrosionsbedingungen eingesetzt. **Tabelle 2** enthält eine Auswahl der am häufigsten angewendeten Werkstoffe und ihre Zuordnung zu den Korrosionswiderstandsklassen in Anlehnung an die Zuordnung in [9,10].

Nichtrostende austenitische Stähle sind gekennzeichnet durch einen Nickelgehalt $\geq 8\%$. Sie bieten eine besonders günstige Kombination von Verarbeitbarkeit, mechanischen Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit und sind deshalb die bedeutendste Gruppe der nichtrostenden Stähle. Mit zunehmendem Legie-

rungsgehalt, insbesondere an Chrom und Molybdän, kann die Korrosionsbeständigkeit weiter gesteigert werden. Die bekanntesten Vertreter dieser Werkstoffgruppe sind die Stähle mit der Werkstoff-Nr. 1.4301, 1.4307 bzw. 1.4404 und 1.4571, die häufig mit den Synonymen V2A bzw. V4A bezeichnet werden.

Die nichtrostenden austenitisch-ferritischen Stähle, wegen ihrer zwei Gefügebestandteile häufig als Duplexstähle bezeichnet, sind gegenüber den nichtrostenden austenitischen Stählen gekennzeichnet durch hohe Chromgehalte und einen reduzierten Nickelgehalt. Diese chemische Zusammensetzung führt zur Ausbildung eines zweiphasigen austenitisch-ferritischen Gefüges, idealerweise im Verhältnis 50:50. Üblicherweise ist noch Molybdän zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit zulegiert. Bekanntester Vertreter dieser Werkstoffgruppe ist der Stahl 1.4462 (X2CrNiMoN22-5-3).

Mit einem weiter reduzierten Nickelgehalt finden die so genannten Lean Duplexstähle, die in **Tabelle 2** mit den Stählen 1.4062, 1.4162, 1.4362 und 1.4662 vertreten sind, zunehmend Verwendung.

4 Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle unter atmosphärischen Bedingungen

Unter normalen atmosphärischen Bedingungen sind die nichtrostenden austenitischen und austenitisch-ferritischen Stähle bei freier Bewitterung üblicherweise vollständig korrosionsbeständig. Dies betrifft sowohl die Querschnittsintegrität als auch das optische Erscheinungsbild der Werkstoffoberfläche.

Auf der Oberfläche nichtrostender Stähle bildet sich primär durch die Reaktion des Legierungselements Chrom mit Sauerstoff und Feuchtigkeit eine Chromoxidschicht, die sogenannte Passivschicht aus, die den Werkstoff vor weiterer Auflösung schützt. Diese Passivschicht ist nicht als starre Schicht zu verstehen, vielmehr ist sie ständigen Auf- und Abbauprozessen unterworfen und kann sich in legierungsabhängigen Grenzen an sich ändernde Umgebungsbedingungen anpassen.

Nach jedem Oberflächenbearbeitungsprozess muss sich die Passivschicht auf der Werkstoffoberfläche wieder neu ausbilden. Der dafür benötigte Zeitraum ist abhängig von der Legierungszusammensetzung, der Luftfeuchte, Temperatur und Oberflächenausführung. In Laborversuchen wurde mit Hilfe eines Indikatortests die Dauer der Passivschichtbildung an geschliffenen Proben überprüft. Eine fein bearbeitete Oberfläche ist in der Lage, in weniger als 24 Stunden Feuchtlagerung eine optimale Passivschicht auszubilden (**Bild 5**).

Konstruktionen, die keiner direkten Beregnung ausgesetzt sind, müssen je nach den korrosiven Belastungsbedingungen einer regelmäßigen Reinigung unterzogen werden, um das gewünschte optische Erscheinungsbild dauerhaft sicherzustellen.

Als mögliche Korrosionsarten kommen bei nichtrostenden Stählen unter atmosphärischen Bedingungen nur einige wenige in Frage. **Abtragende Flächenkorrosion**, wie sie

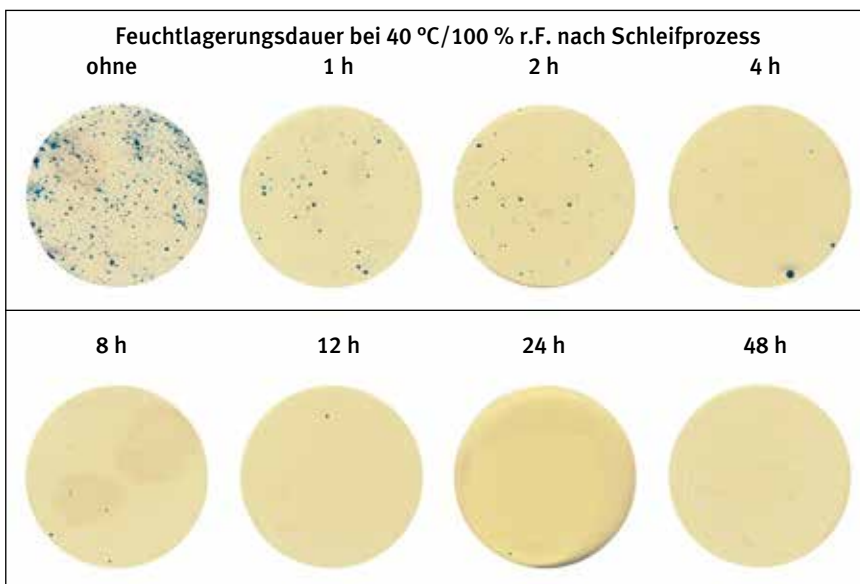


Bild 5: Ergebnisse von Indikatortests nach verschiedenen Feuchtlagerungszeiten von präparierten Schleifproben, blaue Indikatorpunkte zeigen korrosionsaktive Oberflächenbereiche

bei unlegierten Baustählen ohne Korrosionsschutz häufig beobachtet werden kann, ist bei nichtrostenden Stählen nur in Säuren und starken Laugen möglich. Unter atmosphärischen Bedingungen tritt diese Korrosionsart nicht auf. Für nichtrostende Stähle unter atmosphärischer Beanspruchung haben Korrosionsarten wie **Lochkorrosion**, **Spaltkorrosion**, **interkristalline Korrosion (IK)** und **Spannungsrissskorrosion (SpRK)** große Bedeutung.

Lochkorrosion kann auftreten, wenn die Passivschicht örtlich durchbrochen wird. Chloridionen in Feuchtfilmen sind die häufigste Ursache für Passivschichtstörungen und verursachen Lochkorrosion an nichtrostenden Stählen. Chloride müssen dazu in Form von wässrigen Elektrolyten vorliegen. Die Korrosion erfolgt nur nach Überschreiten eines kritischen Potentials, welches als Lochkorrosionspotential bezeichnet wird und von den Parametern des Werkstoffs und des Elektrolyten abhängig ist. Mit ansteigenden Gehalten an Legierungselementen wie Chrom und Molybdän steigt das Lochkorrosionspotential und die Wahrscheinlichkeit der Lochkorrosionsbildung nimmt entsprechend ab. Störungen in der gleichmäßigen Elementverteilung des Werkstoffs durch Ausscheidungen infolge eines Wärmeeintrags, wie z.B. durch die schweißtechnische Verarbeitung, einer unsachgemäßen Oberflächenbearbeitung, falscher Reinigung oder ansteigender Gehalte an Chloridionen (Aufkonzentration) begünstigen die Lochkorrosion. Ist Lochkorrosion erst einmal initiiert, ist das Fortschreiten der Korrosionsprozesse meist ein autokatalytischer Vorgang. Die typische Geometrie der Lochkorrosionsstellen an nichtrostenden Stählen ist dadurch gekennzeichnet, dass sich Hohlräume bilden, die sich unter der Oberfläche ins Metallinnere ausdehnen. In bereits gebildeten Hohlräumen ist mit weiterer Korrosion zu rechnen, da sich aufgrund des fehlenden oder behinderten Austausches die Aggressivität des Lochelektrolyten durch Hydrolyse und die damit verbundene Absenkung des pH-Wertes noch erhöht (**Bild 6**).

Spaltkorrosion ist bei nichtrostenden Stählen als Lochkorrosion in Spalten zu verstehen. Ebenso wie die Loch-

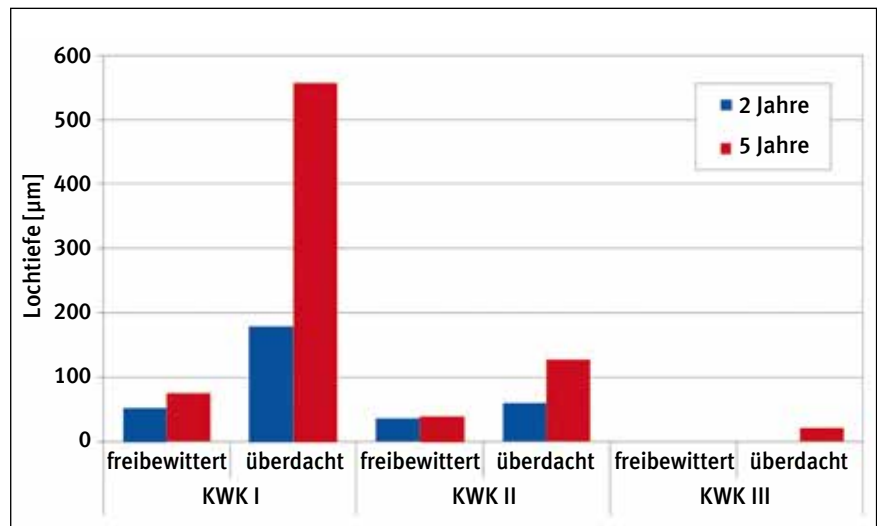


Bild 6: Einfluss der Korrosionswiderstandsklasse (KWK) auf die Lochtiefenentwicklung in maritimer Atmosphäre freibewittert/überdacht

korrosion hängt auch die Spaltkorrosion vom Potential ab. Sie erfolgt nur oberhalb kritischer Potentiale, die aber stets negativer als das Lochkorrosionspotential in der betreffenden Umgebung sind. Besonders korrosionsgefährdet sind Spalte zwischen nichtrostenden Stählen und Nichtleitern sowie Spalte unter Ablagerungen von Luftinhaltsstoffen. Bei höherem Chloridangebot wird Spaltkorrosion aber auch in Spalten Metall/Metall beobachtet. Außer dem Material, mit dem der nichtrostende Stahl einen Spalt bildet, hängt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Spaltkorrosion vor allem von der Spaltgeometrie ab.

Ursache der Spaltkorrosion bei atmosphärischer Beanspruchung ist die Ansammlung von Ablagerungen in schlecht belüfteten oder der Reinigung nicht zugänglichen Spalten von Konstruktionen. Gleichzeitig sind die Spaltbereiche häufig länger feucht oder sogar dauerfeucht. Die Ablagerungen können Chloridionen aus der Umgebung beinhalten, so dass im Spalt kritische Bedingungen schneller erreicht werden. Durch Hydrolyse der bei ablaufender Spaltkorrosion entstehenden Korrosionsprodukte sinkt der pH-Wert der Elektrolytlösung im Spalt, wodurch sich der Korrosionsvorgang weiter beschleunigt.

Interkristalline Korrosion (IK) ist eine selektive Korrosion, bei der korngrenzennahe Bereiche korrodieren. Die Ursache ist die Verarmung von für die Korrosionsbeständigkeit wichti-

gen Legierungselementen in korngrenzennahen Bereichen durch Ausscheidungen auf den Korngrenzen. Bei Verbindungsschweißungen können solche Ausscheidungen in den wärmebeeinflussten Zonen neben den Schweißnähten entstehen. Für nichtrostende Stähle hat die durch Ausscheidung chromreicher Carbide erzeugte Verarmung an Chrom in umgebenden Gefügebereichen die größte Bedeutung für die Anfälligkeit gegenüber interkristalliner Korrosion. In der Praxis wird der interkristallinen Korrosion dadurch begegnet, dass man den Kohlenstoffgehalt, der für die Carbidbildung nötig ist, stark absenkt (z.B. Werkstoffe 1.4307, 1.4404) oder durch Zulegieren von Titan oder Niob (z.B. Werkstoffe 1.4541, 1.4571) stabilisiert.

Spannungsrissskorrosion kann an nichtrostenden Stählen auftreten, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden. Es muss ein spezifisch wirkendes Angriffsmedium in Verbindung mit einem für Spannungsrissskorrosion anfälligen Werkstoff vorhanden sein und an der Oberfläche des Bauteiles müssen Zugspannungen (äußere Spannungen aus der Konstruktion oder Eigenspannungen im Material) anliegen. Die nichtrostenden austenitischen Stähle der KWK II und III sind unter Einwirkung chloridhaltiger, saurer Oberflächenfilme empfindlich gegen Spannungsrissskorrosion, auch bei moderaten Umgebungstemperaturen. Höhere Temperaturen begünstigen das Auftreten von Spannungsrissskorrosion.

Infolge dieser Korrosionsart können Bauteile ohne Vorankündigung versagen. Deshalb ist der Einsatz von nichtrostenden Stählen, die als tragende Konstruktionen eingesetzt werden, in Normen und Zulassungen geregelt.

Bimetallkorrosion ist eine spezielle Form der galvanischen Korrosion, bei der das Korrosionselement durch zwei unterschiedliche Metalle gebildet wird. Das Auftreten von Bimetallkorrosion ist an bestimmte Voraussetzungen gebunden, die im Folgenden aufgeführt sind:

- (1) Ein unterschiedliches Korrosionspotential der Metalle im betrachteten System
- (2) Zwischen den Metallen besteht eine elektronenleitende Verbindung
- (3) Beide Metalle verbindet ein leitfähiger Feuchtigkeitsfilm (Elektrolyt)

Während die Voraussetzungen (1) und (2) bei Konstruktionen mit nichtrostenden Stählen oft vorhanden sind, ist Voraussetzung (3) unter atmosphärischen Bedingungen häufig nicht gegeben. Meist ist die

Feuchtigkeitseinwirkung nicht dauerhaft und die Reichweite des sich bildenden Bimetallelements ist gering. Unter Bedingungen von z.B. küstennahen Atmosphären muss mit der Ablagerung von hygroskopischen chloridhaltigen Salzen gerechnet werden. Verschmutzungen und hygroskopische Ablagerungen auf Bauteilen können die Befeuchtungsdauer maßgeblich beeinflussen. Schlecht belüftete Spalte, etwa im Bereich von Dichtungen oder Blechüberlappungen, können zu einer fast ständigen Befeuchtung führen. Dennoch ist auch in diesen Fällen die Reichweite des Korrosionselementes gering - ein wesentlicher Unterschied etwa zu Korrosionselementen in Wassersystemen.

Bimetallkorrosion ist bei elektronenleitenden Verbindungen von nichtrostenden Stählen mit anderen Metallen unter atmosphärischen Bedingungen dennoch möglich. Korrosionsgefährdet ist dabei immer das unedlere Kombinationsmaterial in dieser Materialpaarung. Der nichtrostende Stahl bildet in solchen Kombinationen üblicherweise das edlere Kombinationsmaterial und ist daher meist nicht durch Bimetallkor-

rosion gefährdet. Als Befestigungs- und Verankerungselemente für sicherheitsrelevante Bauteile sind sie deshalb hervorragend geeignet. Die unterschiedlichen Werkstoffe beeinflussen sich unter atmosphärischen Bedingungen gegenseitig meist nur in einer schmalen Zone neben der Kontaktlinie. Zur Vermeidung von Bimetallkorrosion reicht es daher häufig aus, den nichtrostenden Stahl in einer zentimeterbreiten Zone neben der Kontaktlinie abzudecken.

Zur Vermeidung möglicher Probleme mit den unedleren Kombinationswerkstoffen ist es sinnvoll, bereits bei der Planung Korrosionsschutzfachleute einzubeziehen, um mögliche spätere Folgeschäden an den unedleren Kombinationsmaterialien zu vermeiden [12].



Bild 7: Der nichtrostende Stahl 1.4404 mit polierter Oberfläche widersteht den Abgasen des Verkehrs ebenso wie der Seeluft des nahen Mittelmeeres (Foto: Claude O`Sughrue, Montpellier (F))

5 Einflussgrößen bei anwendungsgerechter Werkstoffauswahl

5.1 Oberflächenausführung

Die Korrosionsbeständigkeit der nichtrostenden Stähle wird neben dem Gehalt an Legierungselementen wie Chrom, Nickel, Molybdän und teilweise auch Stickstoff vor allem durch den Oberflächenzustand der Werkstoffe bestimmt [13]. Die höchste Korrosionsbeständigkeit zeigen Oberflächen, die frei von Fremdstoffen und Anlauffarben sind und gleichzeitig eine geringe Oberflächenrauheit aufweisen (Bild 7). Alle Abweichungen von diesem Zustand bedingen eine mehr oder weniger starke Veränderung der Korrosionsbeständigkeit. Bei Korrosionsuntersuchungen kann deshalb durchaus beobachtet werden, dass nichtrostende Stähle einer höheren Widerstandsklasse mit grob bearbeiteten oder verunreinigten Oberflächen eine deutlich geringere Korrosionsbeständigkeit aufweisen als Stähle einer niedrigeren Widerstandsklasse mit besserem Oberflächenzustand.

Die Beeinflussung der Korrosionsbeständigkeit eines Bauteils durch unterschiedliche Oberflächenbearbeitung wie Beizen, Schleifen, Strahlen oder Bürsten wurde in diversen Arbeiten umfassend beschrieben und nachgewiesen. Auslagerungsversuche und elektrochemische Korrosionsuntersuchungen zeigen nach den unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren, dass diese signifikante Auswirkungen auf die Korrosionsbeständigkeit der nichtrostenden Stähle haben.

Die höchste Korrosionsbeständigkeit wird an gebeizten oder elektropolierten Oberflächen festgestellt. Beide Vorgänge führen praktisch zu einer Einebnung der Oberflächen und zu einem signifikanten Abbau energetisch bevorzugter Bereiche, von denen die Metallauflösung ausgeht.

Untersuchungen zum Einfluss der Oberflächenbehandlung auf das

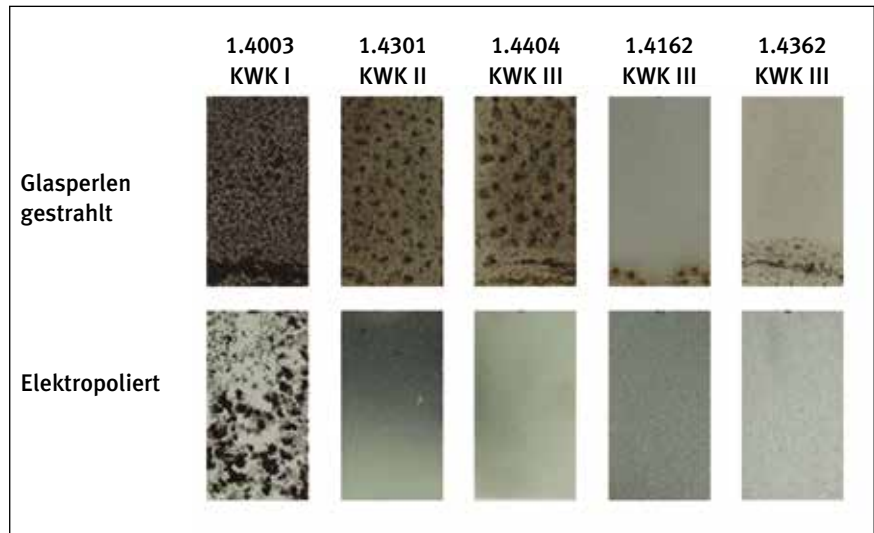


Bild 8: Einfluss der Oberflächenausführung auf die Korrosionsbeständigkeit verschiedener nichtrostender Stähle nach 14-monatiger Auslagerung in Schwimmhallenatmosphäre

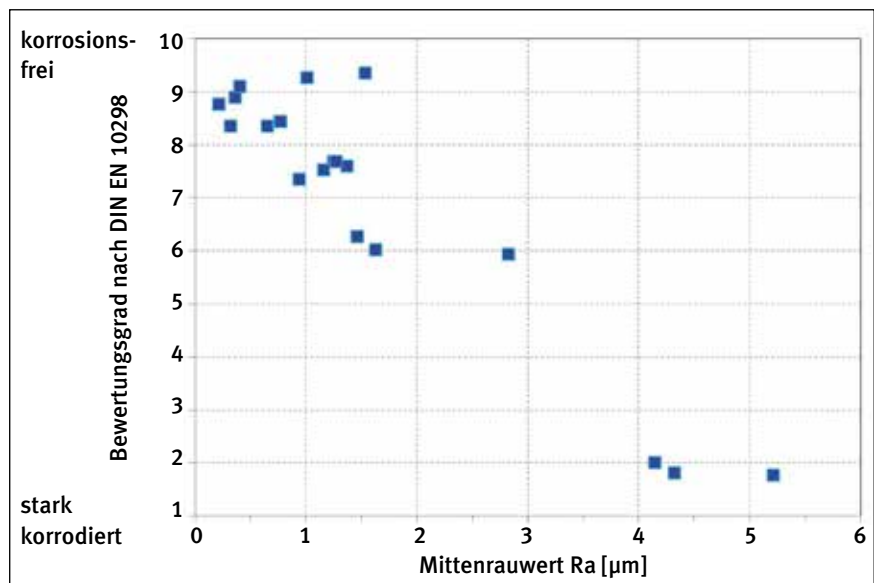


Bild 9: Einfluss der Rauheit geschliffener Proben auf die Korrosionsbeständigkeit nach 96 Stunden Salzsprühnebelprüfung

optische Erscheinungsbild haben unter Bedingungen erhöhter Korrosivität einen positiven Einfluss des Elektropolierens gegenüber dem Glasperlenstrahlen auf die Korrosionsbeständigkeit der nichtrostenden Stähle festgestellt (Bild 8).

Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung zum Einfluss der Rauheit auf das Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle [14] haben nachgewiesen, dass mit Werten für die Mittenrauheit Ra von weniger als 0,5 µm die Korrosionsbeständigkeit signifikant erhöht ist (Bild 9). Kaltgewalzte Oberflächen haben mittlere Rauheitswerte um 0,1 µm. Neben dem

Rauheitswert Ra hat auch die mikroskopische Topographie der Oberflächen einen wesentlichen Einfluss auf das Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle.

Normalerweise werden die nichtrostenden Stähle nach einer abschließenden Oberflächenbehandlung Umgebungsbedingungen ausgesetzt, unter denen die Neubildung der Passivschicht, ein Passivschichtwachstum bzw. Umbauprozesse in der vorhandenen Passivschicht stattfinden. Die idealen Bedingungen für die Ausbildung der Passivschicht sind durch ausreichende O₂-Konzentration und Luftfeuchtigkeit gekennzeichnet. Da für die

Ausbildung und die dauerhafte Beständigkeit der Passivschicht ein kathodischer Prozess nötig ist, bieten hohe Luftfeuchten ideale Bedingungen zur Bildung und Stabilisation der Passivschicht (**Bild 5**).

Bei ungünstiger Oberflächengeometrie (z.B. Mikropalte) kann die Ausbildung der Passivschicht erschwert oder auch völlig verhindert werden. Dies ist insbesondere dann anzunehmen, wenn in den Spaltbereichen Reste von Beizmitteln verbleiben oder ölhaltige Rückstände (aus Prozess- oder Pflegemitteln) den Zutritt von Wasser und Sauerstoff behindern. Kann sich die Passivschicht in bestimmten Bereichen nicht stabil ausbilden oder liegen in dieser Phase bereits kritische Korrosionsbedingungen (hohe Chloridgehalte, Beizmittelreste) vor, können die Fehlstellen weiterwachsen und so zu sichtbaren Korrosionserscheinungen führen.

5.2 Lieferzustand

Weil die Oberflächenqualität für die Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle einer der Haupteinflussfaktoren ist, müssen Qualitätsstandards zwischen Lieferant und Kunde vereinbart und eingehalten werden. Insbesondere wenn hohe Anforderungen an das optische Erscheinungsbild gestellt werden, ist mit Referenzmustern zu arbeiten. Eine normgerechte Bestellung sollte folgende Angaben beinhalten:

- verlangte Menge
- Erzeugnisform
- Nennmaße, Grenzabmaße, Maßnorm
- Art des Werkstoffs
- Technische Lieferbedingung
- Werkstoff-Kurzname oder Werkstoff-Nummer
- gegebenenfalls das Kurzzeichen für den Wärmebehandlungs- oder Kaltverfestigungszustand
- Kurzzeichen für die verlangte Ausführungsart bzw. Oberflächenbeschaffenheit
- gegebenenfalls die Überprüfung der inneren Beschaffenheit
- gegebenenfalls die Anforderung einer Prüfbescheinigung (Prüfbescheinigung 3.1)

5.3 Lagerung und Transport

Die Tatsache, dass nichtrostende Stähle gegenüber den unlegierten Stählen bei Zutritt von Feuchtigkeit keine Korrosionserscheinungen zeigen, darf nicht zu einem leichtfertigen Umgang verleiten. Es muss beachtet werden, dass neben dem Zutritt von Feuchtigkeit häufig noch mit zusätzlichen Faktoren (Verschmutzung, Auftausalze) zu rechnen ist, die dann längerfristig doch zu Korrosionsproblemen führen können. Nichtrostende Stähle sollten in geeigneten Lagerplätzen vorzugsweise trocken und geschützt vor korrosiven Substanzen gelagert werden.

Die langfristige Lagerung geschliffener Materialien in Folienschläuchen oder mit Klebefolien in Außenlagerbereichen kann problematisch sein, wenn sich wegen des mangelhaften Sauerstoff- und Feuchtigkeitszutritts unterhalb der Folie keine optimalen Voraussetzungen für die Passivschichtausbildung entwickeln. Durch Zersetzungsprodukte von Kleber oder Folie kann es darüber hinaus zur Entstehung korrosiver Bedingungen kommen.

5.4 Konstruktion

Auch für nichtrostende Stähle sind einige konstruktive Gegebenheiten zu beachten, um das Risiko von Korrosionserscheinungen zu vermeiden. In besonders korrosionsgefährdeten Bereichen wie Schwimmhallen [15] oder Straßentunneln können oft nicht oder schwer zu reinigende Oberflächen, Spalte oder problematische Abluftführungen auftreten, die korrosiv wirkende Ablagerungen begünstigen. Konstruktiv ist daher zu berücksichtigen, dass Edelstahloberflächen von korrosionsfördernden Ablagerungen freigehalten werden, indem sie für eine Reinigung zugänglich sind. Hierzu gehört insbesondere der Einsatz geschlossener oder im Inneren leicht zugänglicher Profile. Spalte, wie sie beispielsweise unter überlappenden Klemm- und Steckverbindungen entstehen, sind zu vermeiden, da diese potentielle Angriffspunkte für Spaltkorrosion bilden können.

Auch wenn an bestehenden Konstruktionen spätere Eingriffe oder notwendige Änderungen vorgenommen werden, weil sie bei planmäßiger Nutzung so nicht absehbar waren, müssen korrosionsschutztechnische Aspekte im Fokus bleiben.

5.5 Verarbeitung und Nachbehandlung

Bei der Verarbeitung nichtrostender Stähle können Abweichungen vom gewünschten passiven Idealzustand der Edelstahloberfläche entstehen. In der praktischen Anwendung sind derartige Abweichungen dann auch die häufigste Ursache für unerwartete Korrosionserscheinungen an nichtrostenden Stählen.

So kann bei der Verarbeitung Eisenabrieb von unlegiertem Stahl auf den nichtrostenden Stahl übertragen werden, z.B. bei einer Verformung von den Verformungswerkzeugen, von Hebevorrichtungen oder auch durch Eisenabrieb von Schleifwerkzeugen, die zuvor für unlegierte Stähle verwendet worden sind. Dieser Eisenabrieb, eingedrückt in die Passivschicht der Edelstahloberfläche, führt zu Rostflecken und nachfolgend an diesen Stellen zu tiefergehender Korrosion.

Insbesondere bei der schweißtechnischen Verarbeitung kann der Gefügestand durch Ausscheidungen oder Seigerungen und der Oberflächenzustand durch Bildung von oxidischen Deckschichten (Anlauffarben) beeinträchtigt werden. Die Nachbearbeitung mit falschen Werkzeugen oder eine sehr grobe mechanische Bearbeitung der Schweißnahtbereiche kann ebenso zu unerwünschten Veränderungen führen wie eine Beizbehandlung, bei der die gründliche Nachreinigung bzw. Neutralisation unterbleibt.

Ebenso können Beizbehandlungen an spaltbehafteten Konstruktionen zu Problemen führen, da sich Beizreste in Spaltbereichen häufig nicht vermeiden lassen. Unter Einsatzbedingungen treten die Beizmittelreste dann aus den Spaltbereichen hervor und führen zu unerwünschten

ten Verfärbungen bzw. Korrosionserscheinungen.

5.6 Reinigung und Pflege

Reinigung und Pflege sind, ein-satzabhängig, entscheidende Ein-flussfaktoren für die Korrosionsbe-ständigkeit und das gewünschte optische Erscheinungsbild nichtrostender Stähle [16,17].

Bei Außenanwendungen und der Wahl einer geeigneten Oberflächen-ausführung reicht meist die reini-gende Wirkung des Regens aus, um Ablagerungen zu entfernen. Unter Freibewitterung ist deshalb eine jährliche bis halbjährliche Unter-haltsreinigung zur Sicherstellung des optischen Erscheinungsbildes in der Regel ausreichend. Aber auch hier können sich in Abhängigkeit von der konkreten Belastungssitu-ation, der gewählten Oberflächen-ausführung und den optischen Ansprüchen andere Intervalle er-geben. Flächen, die im Freien nicht vom Regen direkt erreicht werden, müssen zum Erhalt des erwarteten optischen Erscheinungsbildes, wie die Oberflächen anderer Bauteile auch, einer regelmäßigen Reinigung unterzogen werden. Wichtig ist die Reinigung besonders in Küstennä-he oder in der Nähe vielbefahrener Straßen, auf denen Tausalz einge-setzt wird. Hier zeigen die Erfah-rungen, dass bei einer erheblichen Aufkonzentration von Schadstoffen auch an Stählen der KWK III ohne re-gelmäßige Reinigung Lochkorrosion auftreten kann.

Besonders kritische Bedingungen herrschen in Straßentunneln, wes-halb hier auch Sonderregelungen zur Anwendung kommen, wenn nichtrostende Stähle, z.B. als Halterung für Beleuchtungen oder Lüfter, einge-setzt werden sollen. In Straßentun-neln sammeln sich immer Chloride aus Tausalzen oder Schmelzwässern zusammen mit Schadstoffen aus Au-toabgasen (SO_2 , HCl , NO_x) an und können sich auf den Edelstahlober-flächen ablagern und aufkonzentrieren, da hier der reinigende Regen fehlt. Aufkonzentration von Chloriden in Ablagerungen und Verschmutzun-gen, die bei regelmäßiger Reinigung

leicht zu entfernen wären, können so zu hoher Korrosionsbelastung füh-ren. Selbst wenn regelmäßige Reini-gungen im Tunnel vorgenommen wer-den, geschieht dies meist nur in den Bodenbereichen, während die an der Decke befestigten Bauteile vernach-lässigt werden.

Im trockenen Innenbereich reduziert sich die Korrosion meist auf das op-tische Erscheinungsbild. In erster Linie sind es Fingerspuren, die das Erscheinungsbild in publikumsbe-anspruchten Bereichen stören. Ab-lagerungen von Staub, aber auch Farbspuren und Graffiti sind leicht zu entfernen. Die Palette der Reini-ger reicht von lösungsmittelhaltigen, sauren und alkalischen Reinigern bis hin zu gewöhnlichen Glasreinigern. Es muss bei der Verwendung dieser Reinigungsmittel alles vermieden werden, was die Oberflächen me-chanisch zerkratzen kann. Messer, metallische Schaber und Scheuer-mittel sollten nicht zur Anwendung kommen.

Eine Ausnahme bei der Anwen-dung nichtrostender Stähle im In-nenbereich ist die Verwendung in Schwimmhallen. Hier gibt es, wie schon bei den Straßentunneln be-schrieben, spezielle Vorschriften, um die Sicherheit und Zuverlässigkeit tragender Konstruktionen zu gewähr-leisten. Aber auch nichttragende Konstruktionen werden in Schwimm-hallen zunehmend aus nichtrostenden Stählen gefertigt. Grund ist die dekorative Wirkung und ein hoher Hygienestandard, der sich aber nur durch regelmäßige Reinigung sicher-stellen lässt.

In jedem Fall empfiehlt sich bei at-mosphärischer Anwendung eine definierte Grundreinigung nach Ab-schluss der Montagearbeiten durch-zuführen. Aus dem Grundverständ-nis der Passivität und langjährigen Erfahrungswerten tut hierzu warmes Wasser mit etwas Spülmittel einen guten Dienst und ist nicht zuletzt von der Kostenseite jedem anderen Ver-fahren überlegen. Bei typischen Ein-satzbedingungen und unter der Vor-aussetzung eines werkstoffgerechten Oberflächenzustandes ist eine sol-che Nachbehandlung in jedem Fall ausreichend.

Hinweise zur laufenden Unterhalts-reinigung müssen sich immer an den Einsatzbedingungen orientieren. So ist in Schwimmhallen eine tägliche Unterhaltsreinigung der nicht stän-dig von Wasser umspülten Bereiche durch Abspülen mit klarem Leitungswasser anzuraten, mindestens aber eine wöchentliche, meist mit dann bereits erhöhtem Aufwand. Unter-bleibt dies, kommt es zwangsläufig zu fortschreitenden Korrosionser-scheinungen. Unter Freibewitterung ist eine jährliche bis halbjährliche Unterhaltsreinigung zur Sicherstel-lung des optischen Erscheinungsbildes ausreichend. Aber auch hier können sich in Abhängigkeit von der konkreten Belastungssituation und den Ansprüchen andere Intervalle ergeben.

6 Literatur

- [1] „Edelstahl Rostfrei – Eigenschaften“
ISER-Merkblatt 821, 5. Auflage, 2014
- [2] **DIN EN 10088-1**
Nichtrostende Stähle – Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle
- [3] **DIN EN ISO 8044**
Korrosion von Metallen und Legierungen – Grundbegriffe und Definitionen
- [4] **DIN EN ISO 9223**
Korrosion von Metallen und Legierungen – Korrosivität von Atmosphären – Klassifizierung, Bestimmung und Abschätzung
- [5] **DIN EN ISO 9224**
Korrosion von Metallen und Legierungen – Korrosivität von Atmosphären – Anhaltswerte für die Klassifizierung, Bestimmung und Abschätzung
- [6] **DIN EN ISO 9225**
Korrosion von Metallen und Legierungen – Korrosivität von Atmosphären – Messung der die Korrosivität von Atmosphären beeinflussenden Umweltparameter
- [7] **DIN EN ISO 9226**
Korrosion von Metallen und Legierungen – Korrosivität von Atmosphären – Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit von Standardproben zur Ermittlung der Korrosivität
- [8] **DIN EN ISO 12944-2**
Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen
- [9] **Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 22. April 2014 für Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen**
erhältlich als Sonderdruck 862 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 2014
- [10] **DIN EN 1993-1-4**
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln – Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen
- [11] **DIN EN 1993-1-4/NA**
Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln – Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen
- [12] **Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen**
ISER-Merkblatt 829, 4. Auflage, 2005
- [13] **Edelstahl Rostfrei: Oberflächen im Bauwesen**
ISER-Dokumentation 960, 2. Auflage, 2006
- [14] **AiF-Abschlussbericht 15554 N / 1 Beeinträchtigung der Funktionalität nichtrostender Stähle durch unzureichende Passivschichtausbildung**
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) Berlin, 2010
- [15] **Edelstahl Rostfrei in Schwimmbädern**
ISER-Merkblatt 831, 3. Auflage, 2015
- [16] **Die Reinigung von Edelstahl Rostfrei**
ISER-Merkblatt 824, 1. Auflage, 1995
- [17] **Reinigung nichtrostender Stähle im Bauwesen**
ISER-Merkblatt 965, 1. Auflage, 2009



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

