



Merkblatt 829

Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen



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 und
- Marktforschung 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,
- 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.

Impressum

Merkblatt 829
Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen
4. überarbeitete und erweiterte Auflage 2005

Herausgeber:

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Postfach 10 22 05
40013 Düsseldorf
Telefon: 0211 / 67 07-8 36
Telefax: 0211 / 67 07-3 44
Internet: www.edelstahl-rostfrei.de
E-Mail: info@edelstahl-rostfrei.de

Autoren:

Dr. N. Arlt,
ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld
Dr. A. Burkert,
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
Prof. Dr. B. Isecke,
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Abbildungen:

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld

Titelfoto:

Verbindung von nichtrostendem Stahl mit einer ebenfalls aus Edelstahl Rostfrei bestehenden Unterlegscheibe auf einem großflächigen Al-Flansch (Foto: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin).

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

Inhalt

	Seite
1 Einleitung	2
2 Grundlagen der Bimetallkorrosion	2
3 Einflussgrößen und Beispiele	3
3.1 Elektrolytwiderstand	3
3.2 Befeuchtungsdauer / Umgebung	4
3.3 Kinetik der Elektrodenreaktionen	5
3.4 Flächenverhältnis Kathode / Anode	5
4 Praktische Erfahrungen in verschiedenen Anwendungsbereichen	6
4.1 Wasser- und Abwassertechnik	7
4.2 Bauteile an der Atmosphäre	9
4.3 Edelstahl Rostfrei im Bauwesen	10
4.4 Edelstahl Rostfrei im Fahrzeugbau	10
5 Häufig gestellte Fragen	11
6 Vermeidung von Bimetallkorrosion	11
7 Literatur	12

1 Einleitung

In vielen Konstruktionen erfordern unterschiedliche Eigenschaftsanforderungen an Komponenten und Bauteile häufig die Kombination verschiedener metallischer Werkstoffe. In der Praxis sind aber auch sogenannte „Zufallskombinationen“ häufig anzutreffen, bei denen die Kombination allein durch die momentane Verfügbarkeit z.B. eines Befestigungsmittels oder eines Zwischenstückes zustande kommt. Unter bestimmten Einsatzbedingungen kann eine solche Kombination, die auch unter dem Begriff Mischbauweise bekannt ist, zu Korrosionsproblemen an einem der beiden Partner führen. Korrosionsprobleme im Zusammenhang mit einer aus Sicht der Korrosion ungünstigen Kombination von Werkstoffen sind in der Praxis unter dem Begriff **Kontaktkorrosion** bekannt. In der aktuellen Normung wird diese Erscheinung als **Bimetallkorrosion** bezeichnet. Die Bimetallkorrosion ist eine spezielle Form der *galvanischen Korrosion*¹⁾, bei der das Korrosionselement durch zwei unterschiedliche Metalle gebildet wird.

Als Folge der Elementbildung kann es zu einer beschleunigten Korrosion des unedleren Werkstoffs kommen. Der unedlere Werkstoff kann dabei korrosionsbedingte Abtragsraten erleiden, die unter den gegebenen Einsatzbedingungen ohne Kombination mit dem edleren Werkstoff nicht zu erwarten waren. Treten dann korrosionsbedingte Folgeschäden wie etwa optische Beeinträchtigung von Sichtflächen, Undichtigkeiten von Rohrleitungssystemen oder das Versagen von Befestigungselementen auf, kann dies zu einer drastischen Herabsetzung der erwarteten Lebensdauer der Konstruktion bzw. einem vorzeitigen Sanierungsbedarf führen. Rost- und säurebeständige Stähle sind in den meisten technischen Anwendungsfällen der Werkstoff mit dem positiveren Korrosionspotential, so dass eine Korrosionsgefährdung in erster Linie für die meist unedleren Kontaktwerkstoffe besteht.

Die tatsächliche Gefährdung einer Konstruktion in Mischbauweise bezüglich Kontaktkorrosion hängt von

einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab. Dazu gehören neben den verwendeten Werkstoffen, die Umgebungseinflüsse und die konstruktive Gestaltung. Pauschale Aussagen zur „Verträglichkeit“ von Werkstoffen sind deshalb nicht möglich. Das vorliegende Merkblatt stellt die Grundlagen der Bimetallkorrosion und die Einflussfaktoren dar und soll für Konstruktionen, in denen nichtrostende Stähle in Kombination mit anderen Werkstoffen vorkommen, eine Einschätzung des Gefährdungspotentials ermöglichen.

¹⁾ Beschleunigte Korrosion eines Metalls, die auf die Wirkung eines Korrosionselementes zurückzuführen ist. Weitere Korrosionselemente können sein Konzentrationselemente, Belüftungselemente, Aktiv/Passiv-Elemente.

2 Grundlagen der Bimetallkorrosion

Das Auftreten von Bimetallkorrosion ist an bestimmte Voraussetzungen gebunden, die im folgenden aufgeführt sind:

- ein unterschiedliches Korrosionspotential der Metalle im betrachteten System
- zwischen den Metallen besteht eine elektronenleitende Verbindung
- beide Metalle verbindet ein leitfähiger Feuchtigkeitsfilm (Elektrolyt)

Nur wenn alle drei Voraussetzungen erfüllt sind, kann Bimetallkorrosion überhaupt auftreten. Das **Bild 1** verdeutlicht die notwendigen Voraussetzungen nochmals in graphischer Form.

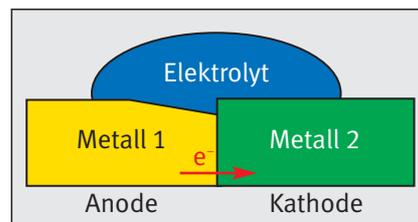


Bild 1: Voraussetzungen für das Auftreten von Bimetallkorrosion

Tritt Bimetallkorrosion auf, kommt es zu einem bevorzugten Angriff des unedleren Werkstoffes (Anode), während der edlere Werkstoff (Kathode)

sogar vor einem möglichen Korrosionsangriff geschützt wird. Der Schutz des edleren Kontaktpartners wird bei Anwendungen zum kathodischen Korrosionsschutz mit galvanischen Anoden gezielt ausgenutzt.

Durch den Kontakt zweier Metalle mit unterschiedlichem Potential, die einer leitfähigen Lösung ausgesetzt sind, kommt es zu einem Elektronenfluss von der Anode zur Kathode. Die ablaufenden elektrochemischen Reaktionen sind dabei die gleichen, wie sie auch an einem einzelnen Metall auftreten. Jedoch steigt der Korrosionsangriff der Anode stark an. In einigen Fällen kann die Elementbildung auch zu Korrosionserscheinungen an Werkstoffen führen, die unter den vorliegenden Umgebungsbedingungen eigentlich korrosionsbeständig sind. Dies ist bei passiven Werkstoffen möglich (z.B. Aluminium) die umgebungsabhängig in kritische Bereiche polarisiert werden können. Dadurch kann es zur Initiierung örtlicher Korrosionserscheinungen (Spaltkorrosion, Lochkorrosion) kommen, die ohne die Potentialverschiebung infolge der Elementbildung nicht aufgetreten wären.

Die Höhe der Potentialdifferenz allein gestattet keinen Rückschluss auf die tatsächliche Gefährdung durch Bimetallkorrosion, auch wenn sich diese Ansicht sehr hartnäckig hält. Die Potentialdifferenz gestattet lediglich die Aussage, ob mit einer Gefährdung überhaupt gerechnet werden muss. In diesem Zusammenhang ist weiterhin zu beachten, dass die in vielen Veröffentlichungen dargestellte Reihe der Standardpotentiale der Metalle nur einen ersten Anhaltspunkt bezüglich der Potentialdifferenz liefert. Entscheidend ist aber nicht die Potentialdifferenz unter den Bedingungen, die für die Ermittlung der Standardpotentiale herangezogen wurden, sondern die tatsächliche Potentialdifferenz unter den jeweiligen Einsatzbedingungen. Für häufig vorkommende Medien (z.B. Meerwasser) gibt es deshalb auch praktische Spannungsreihen, welche die Potentiallage verschiedener Metalle in den betreffenden Medien wiedergeben (**Bild 2**). Diese sind für eine Einschätzung des Gefährdungspotentials bezüglich Bimetallkorrosion besser geeignet.

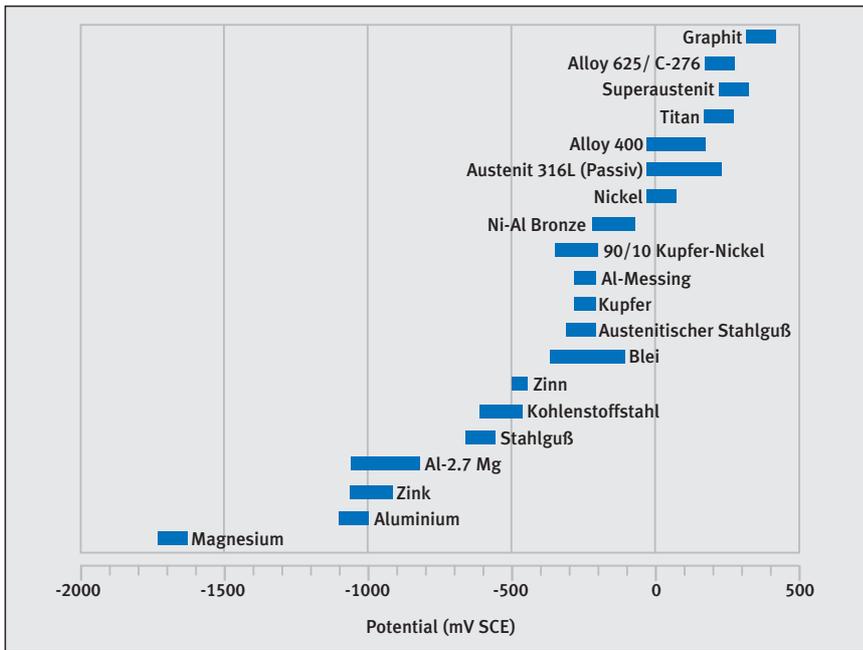


Bild 2: Praktische Spannungsreihe verschiedener metallischer Werkstoffe in Meerwasser [11]

Die Kenntnis der Voraussetzungen für das Auftreten von Bimetallkorrosion gestattet die Einschätzung, ob mögliche Korrosionsprobleme im Zusammenhang mit einer Werkstoffkombination überhaupt einer weiteren Betrachtung bedürfen. Damit können eine ganze Reihe diesbezüglicher Problemstellungen bereits ausgeschlossen werden. Das Bild 3 veranschaulicht verschiedene Bedingungen, unter denen keine Bimetallkorrosion auftreten kann.

netzte Abhilfemaßnahmen ableiten. Auf diese Abhilfemaßnahmen wird im Abschnitt 6 eingegangen.

3 Einflussgrößen und Beispiele

Über das Faradaysche Gesetz sind elektrochemische Korrosionsprozesse direkt mit einem Ladungsumsatz (fließender Strom) verknüpft. Als Maß

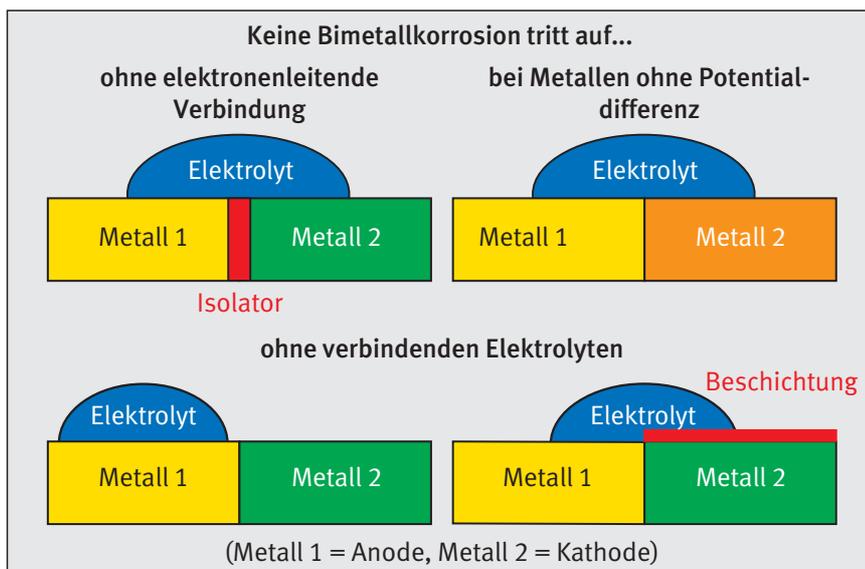


Bild 3: Darstellungen von Bedingungen ohne Gefährdung hinsichtlich Bimetallkorrosion

Gleichzeitig lassen sich aus der Kenntnis der Voraussetzungen und der im Bild 3 gezeigten Beispiele auch geeig-

für die Korrosion dient deshalb häufig die Angabe von Strömen bzw. Stromdichten. Sind die Voraussetzungen für

das Auftreten von Bimetallkorrosion grundsätzlich erfüllt, so setzt sich der Gesamtkorrosionsstrom I_{Ges} aus einem Stromanteil aus der Eigenkorrosion I_{Eigen} (Korrosionsanteil ohne Kontakt zum anderen Werkstoff) und einem Anteil Elementstrom I_{EL} (Korrosionsanteile infolge des zwischen den Partnern fließenden Elementstromes) zusammen.

$$I_{Ges} = I_{Eigen} + I_{EL} \quad (Gl. 1)$$

Die Größe der Elementkorrosion wird bestimmt durch die Potentialdifferenz zwischen den Metallen (ΔU), den Elektrolytwiderstand (R_{EL}) und den Polarisationswiderständen an der Anode ($R_{P,A}$) und der Kathode ($R_{P,K}$).

$$I_{EL} = \frac{\Delta U}{R_{EL} + R_{P,A} + R_{P,K}} \quad (Gl. 2)$$

Aus dieser Formel können wichtige Einflussfaktoren, die das Ausmaß der Bimetallkorrosion bestimmen, abgeleitet werden. Diese Einflussfaktoren bestimmen letztlich, ob das grundsätzlich vorhandene Gefahrenpotential durch Bimetallkorrosion in der Praxis tatsächlich ein technisch relevantes Problem darstellen wird. Deshalb soll die Wirkung dieser Einflussgrößen nachfolgend erläutert werden.

3.1 Elektrolytwiderstand

Mit steigendem Elektrolytwiderstand nimmt die Gefahr für Bimetallkorrosion ab. Ursache dafür ist, dass die Reichweite der Elemente verringert wird und die an der Anode erreichte Potentialverschiebung begrenzt ist. Diese Zusammenhänge werden im Bild 4 verdeutlicht.

Eine Potentialmessung entlang der Oberfläche gibt im Falle einer isolierten Anode die Potentiallage von Kathode und Anode ohne gegenseitige Beeinflussung wieder. Im Übergangsbereich wird ein deutlicher Potentialsprung beobachtet. Bei elektrisch leitender Verbindung zwischen Kathode und Anode wird bei Elektrolytfilmen mit hohem Widerstand (z.B. Kondenswasserbelastung) eine ge-

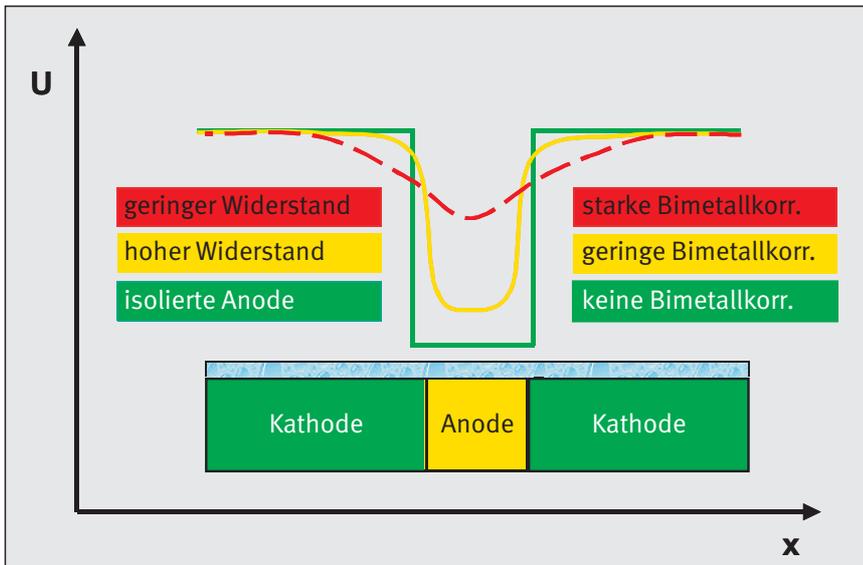


Bild 4: Einfluss des Elektrolytwiderstandes auf die Polarisation der Anode

Medium	Spezifische Leitfähigkeit (Ohm cm) ⁻¹
Reines Wasser	5×10^{-8}
Destilliertes Wasser	2×10^{-6}
Regenwasser	5×10^{-5}
Trinkwasser	$2 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$
Flussbrackwasser	5×10^{-3}
Meerwasser	$3,5 \times 10^{-2} - 5 \times 10^{-2}$

Tab. 1: Typische Werte der spezifischen Leitfähigkeit von Wässern

ringförmige Polarisation der Anode zu positiveren Werten, bei Elektrolytfilmen mit geringem Widerstand (Salzwasserbelastung) eine sehr starke Polarisation beobachtet. Mit zunehmender Polarisation steigt die Korrosionsgeschwindigkeit an der Anode (aktiver Werkstoff) bzw. die Wahrscheinlichkeit für die Erreichung kritischer (korrosionsauslösender) Potentialwerte an passiven Werkstoffen.

In der Tab. 1 werden verschiedene Werte der spezifischen Leitfähigkeit von Wässern gezeigt.

3.2 Befeuchtungsdauer / Umgebung

Im engen Zusammenhang mit dem Elektrolytwiderstand steht die Befeuchtungsdauer. Sie ist überall dort von ausschlaggebender Bedeutung, wo Bauteile nicht ständig wässrigen Medien ausgesetzt sind. Bereits aus

statt. Für die Praxis bedeutet dies, dass unter Bedingungen, bei denen die Ausbildung von Elektrolytfilmen nicht auftritt, aus korrosionstechnischer Sicht alle Metalle miteinander verbunden werden können. Dies trifft grundsätzlich für Innenraumbereiche ohne Kondenswasserbildung zu. So können z.B. für die Konstruktion von Leuchten oder innenarchitektonischen Gestaltungselementen in normal belüfteten und beheizten Innenräumen praktisch beliebige Metallkombinationen eingesetzt werden, ohne dass Restriktionen bezüglich des Korrosionsrisikos beachtet werden müssen.

Sowohl die Befeuchtungsdauer als auch der Elektrolytwiderstand werden in der Praxis sehr stark von der vorliegenden Beanspruchung bestimmt. So ist in unmittelbarer Meeresnähe, in Industrieklimaten und in Schwimmballenatmosphäre wesentlich eher mit Problemen durch Bimetallkorrosion zu rechnen als in ländlicher Atmosphäre. Bild 5 zeigt den Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die Abtragungsgeschwindigkeit von Zink mit und ohne Kontakt zu nichtrostendem Stahl. Aus dieser Darstellung wird deutlich, dass der Anteil der Elementkorrosion (Differenz zwischen den Abtragungsraten) in Küstennähe sowie in der Meerwasserspritzzone die Größenordnung der Eigenkorrosion (Abtragungsraten am Zink ohne Kontakt zum nichtrostenden Stahl) erreicht bzw. sogar übersteigt.

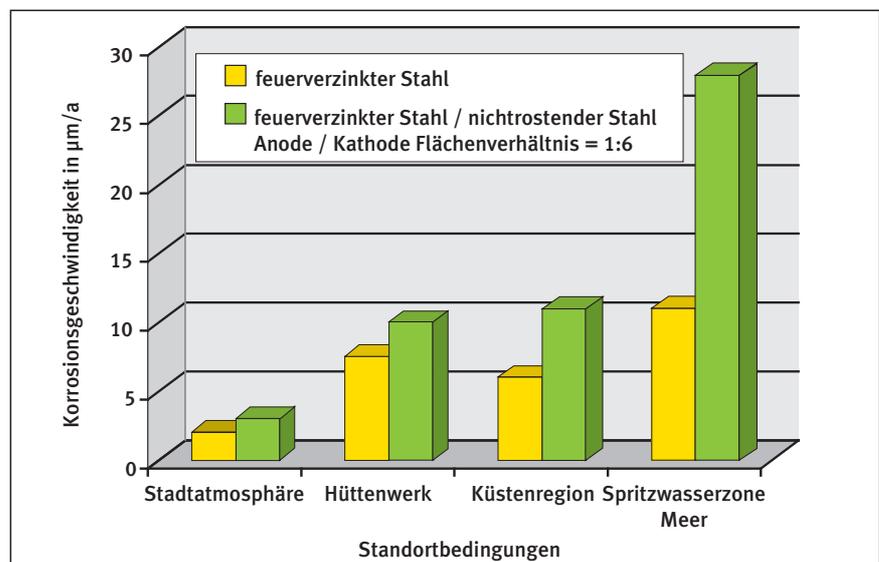


Bild 5: Korrosionsgeschwindigkeit von feuerverzinktem Stahl mit und ohne Kontakt zu nichtrostendem Stahl unter verschiedenen Umgebungsbedingungen

Neben der umgebenden Atmosphäre spielt die konstruktive Gestaltung eine entscheidende Rolle. Alle Faktoren, die eine rasche Abtrocknung von Feuchtigkeitsfilmen unterstützen, wirken korrosionsentlastend (gute Belüftung, Vermeidung von Spalten, ungehinderter Ablauf von Regenwasser). Dagegen können dauerfeuchte Bereiche in Spalten, unter Abdeckungen, stehendes Wasser und Flächen mit stärkeren Verschmutzungen die Bimetallkorrosion erheblich fördern.

3.3 Kinetik der Elektrodenreaktionen

Die unterschiedliche Kinetik von Elektrodenreaktionen wird in der Gl. 3 durch die Polarisationswiderstände der Anode und der Kathode ausgedrückt. So ist es möglich, dass bereits Potentialunterschiede von 100 mV zu Korrosionsproblemen führen können, während Metalle mit wesentlich größeren Potentialdifferenzen problemlos verbunden werden. Grund dafür ist, dass die Potentialdifferenz keine Informationen über die Kinetik der galvanischen Korrosion liefert. Die Kinetik der ablaufenden Reaktionen ist vor allem vom Metall abhängig. So kann Titan den gelösten Sauerstoff wesentlich schlechter reduzieren als z.B. Kupfer. Daher korrodiert un- bzw. niedriglegierter Stahl im Kontakt mit Kupfer stärker als im Kontakt mit Titan, obwohl Titan ein positiveres Potential als Kupfer hat.

Eine bedeutsame Rolle spielt in diesem Zusammenhang auch die Ausbildung von Deckschichten. Deckschichten können zu einer stark veränderten Potentiallage eines Werkstoffes führen und die anodische und/oder die kathodische Teilreaktion behindern.

3.4 Flächenverhältnis Kathode/Anode

Der Quotient aus Kathodenfläche (F_K) und Anodenfläche (F_A) geht als Faktor in die Berechnung der Elementstromdichte i_{EL} (flächenbezogener Elementstrom) ein und bestimmt deshalb

wesentlich die Stärke der Bimetallkorrosion (Gl. 3).

$$i_{EL} = \frac{F_K}{F_A} \cdot \frac{\Delta U}{R_{EL} + R_{P,A} + R_{P,K}} \quad (\text{Gl. 3})$$

Solange die Kathodenflächen (edleres Metall des Kontaktpaares) im Verhältnis zu den Anodenflächen (unedleres Metall des Kontaktpaares) sehr klein sind, wird keine Beeinflussung des Korrosionsverhaltens beobachtet. Dieses Verhältnis ist im **Bild 6** dargestellt.

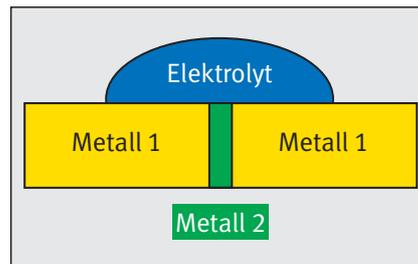


Bild 6: Keine Schäden infolge Bimetallkorrosion bei kleiner Kathode (Metall 2) und großer Anode (Metall 1)

Typische Praxisbeispiele sind hier Befestigungselemente aus rostfreiem Stahl für Aluminiumbauteile oder Bauteile aus verzinktem Stahl. Einige Anwendungsfälle werden im **Bild 7** gezeigt. Auch unter korrosiven Umgebungsbedingungen tritt bei diesen Anordnungen praktisch keine Bimetallkorrosion auf.

Unter atmosphärischen Bedingungen sind die tatsächlich wirksamen Flächenanteile von Anode und Kathode häufig nicht in konkrete Zahlen zu fassen. Für eine praktische Abschätzung des Verhaltens ist dies aber auch nicht notwendig. Meist reicht eine allgemeine Betrachtung des Systems aus. Bei Werkstoffkombinationen sollten die Verbindungselemente stets aus dem edleren Material bestehen, so dass nur kleine Kathodenflächen entstehen.

Die Umkehrung der Verhältnisse führt dagegen häufig zu Problemen. Liegt

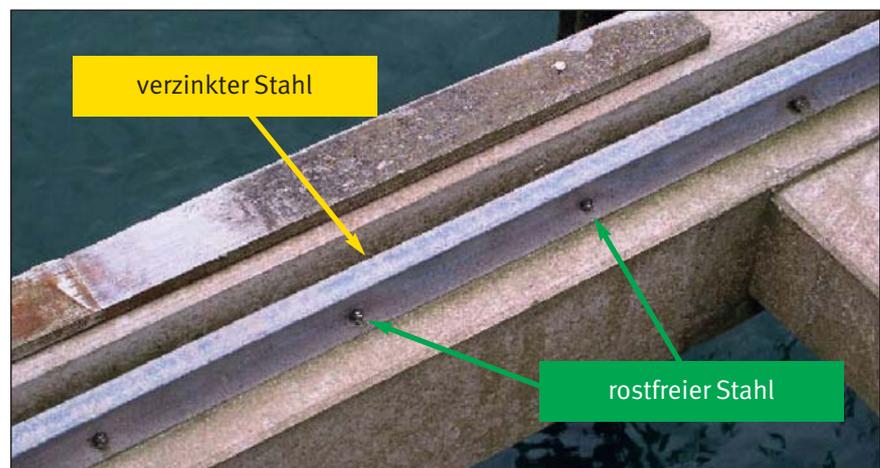
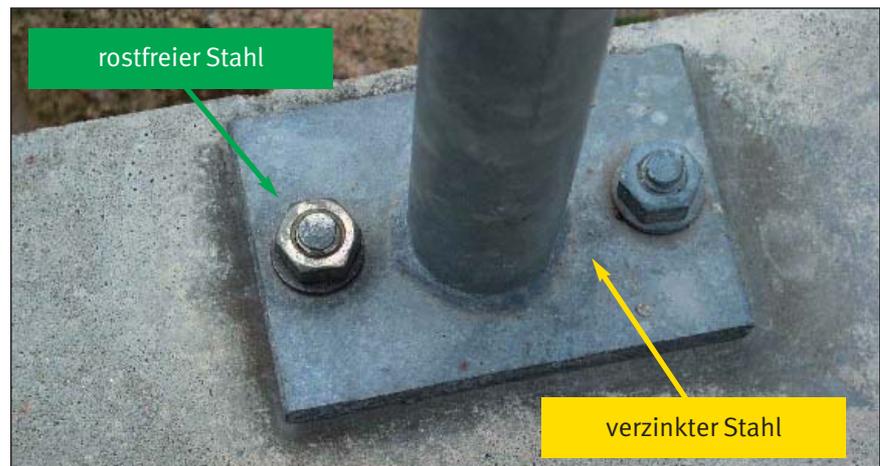


Bild 7: Praktische Anwendungen zur Prinzipdarstellung von Bild 6 (verzinkter Stahl im Kontakt mit nichtrostendem Stahl in Küstennähe)

eine kleine Anodenfläche in der Umgebung einer großen Kathodenfläche, kann Bimetallkorrosion auftreten. Im **Bild 8** sind diese Verhältnisse dargestellt.

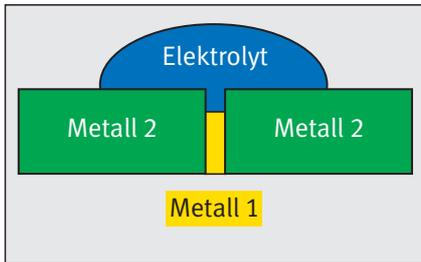
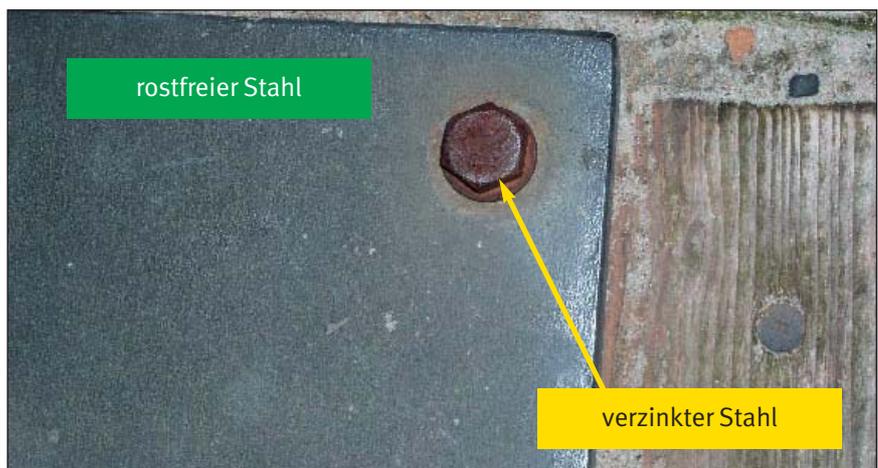
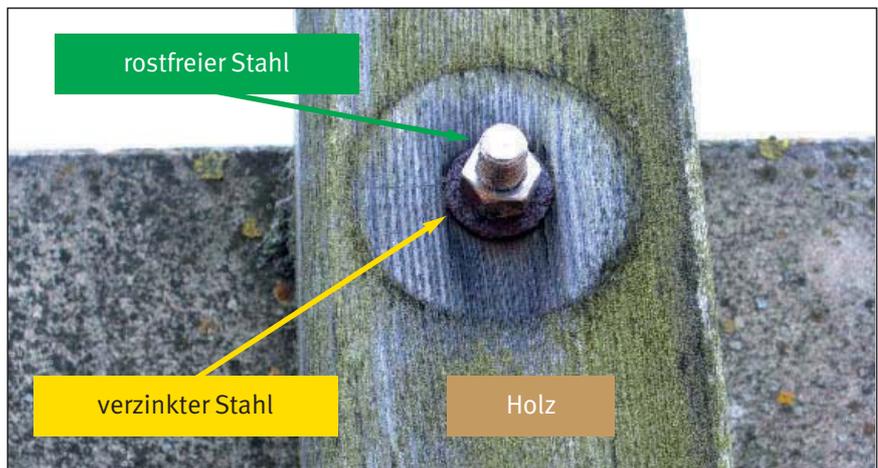


Bild 8: Bimetallkorrosion bei kleiner Anode (Metall 1) und großer Kathode (Metall 2)

Typische Praxisbeispiele zu diesem Verhältnis zeigt **Bild 9**. Diese Beispiele lassen erkennen, dass bei entsprechend kritischen Korrosionsbedingungen mit einer verstärkten Korrosion am Kontaktpartner des nichtrostenden Stahles gerechnet werden muss.

Bild 9:
Praktische Anwendungen zur Prinzipdarstellung von Bild 8 (verzinkter Stahl im Kontakt mit nichtrostendem Stahl in Küstennähe)



4 Praktische Erfahrungen in verschiedenen Anwendungsbereichen

Es liegen eine ganze Reihe von Untersuchungsergebnissen und praktischen Erfahrungen bezüglich des Korrosionsverhaltens von Werkstoffkombinationen mit Edelstahl Rostfrei unter verschiedenen Einsatzbedingungen vor. Einige wesentliche Ergebnisse sind in den **Tab. 2 bis 5** aufgeführt. Die Ergebnisse beziehen sich alle auf stabilisierte Stähle mit höheren C-Gehal-

ten. Grundsätzlich sind die gewonnenen Resultate der tabellarischen Werte auch auf die heute häufig verwendeten Qualitäten mit niedrigeren C-Gehalten übertragbar (z.B. 1.4307 und 1.4404). Weitere Anhaltspunkte können ggf. der Literatur entnommen werden, sofern dort das Korrosionssystem in seiner Gesamtheit ausreichend beschrieben ist.

Korrosionselement		Medium	Flächenverhältnis	Metallabtrag (mm/Jahr)
1.4016	unlegierter Stahl Zink (Zn 99,9) Al 99,9 F-Cu Titan	Trinkwasser, belüftet	1:1	0,47
			0,26	
			0,17	
			0,07	
			< 0,01	
1.4541	SF-Cu	künstliches Seewasser	1:1	0,12
			1:10	0,07
			10:1	1,00
	unlegierter Stahl		1:1	0,38
			1:10	0,25
			10:1	1,10
	Zink Titan		1:1	0,61
			1:1	< 0,01

Tab. 2: Abtragungsraten verschiedener Werkstoffe bei Kontakt mit Edelstahl Rostfrei

Korrosionselement		Flächenverhältnis	Metallabtrag (mm/Jahr)
1.4541	ZnCuTi	1:1	4,39
		1:5	1,43
1.4571	ZnCuTi	1:1	3,88
		1:5	0,91

Tab. 3: Abtragungsraten von ZnCuTi in Kontakt mit den Stählen 1.4541 und 1.4571 in 0,1 N NaCl (belüftet, CO₂-gespült; Raumtemperatur) (DIN 50919)

Korrosionselement	Metallabtrag (mm/Jahr)		
	X6CrMo17-1 1.4113	X2CrTi12 1.4512	X5CrNi18-10 1.4301
Unlegierter Stahl	0,62	0,66	0,69
Unlegierter Stahl, feuerverzinkt	0,51	0,51	0,55
ZnAl 4 Cu 1	0,66	0,66	0,69
AlMg 1	0,15	0,29	0,29
SF-Cu	0,04	0,04	0,04
CuZn 40	0,04	0,04	0,04

Tab. 4: Abtragungsraten verschiedener metallischer Werkstoffe in Kontakt mit unterschiedlichen nichtrostenden Stählen in einer wässrigen NaCl-Lösung mit 5 Massen-% NaCl bei 35°C; Flächenverhältnis 1:1 (DIN 50919)

Korrosionselement		Flächenverhältnis	Metallabtrag (mm/Jahr)
1.4439	unlegierter Stahl	1:1	0,31
		4:1	0,75
		10:1	2,10
1.4439	AlMg 4.5 Mn	1:1	0,17
		4:1	0,26
		10:1	0,95
1.4439	CuNi 10 Fe	4:1	0,07
1.4439	CuZn 20 Fe	4:1	0,18

Tab. 5: Abtragungsraten verschiedener Werkstoffe in Kontakt mit Edelstahl Rostfrei 1.4439 in der Nordsee (Feldversuche), Versuchszeit 1 Jahr

Neben konkreten Zahlenwerten lassen sich für verschiedene Anwendungsbereiche aufgrund vorliegender Erfahrungen eine Reihe allgemeiner Aussagen treffen, die in den folgenden Abschnitten zusammengefasst dargestellt werden.

4.1 Wasser- und Abwassertechnik

Je nach Wasserzusammensetzung ergeben sich für nichtrostende Stähle sehr unterschiedliche Korrosionsbeanspruchungen: Entionisiertes Wasser ohne Verunreinigungen wirkt nicht korrosiv (außer bei extrem hohen Temperaturen). Trinkwässer und Wässer mit ähnlicher Zusammensetzung enthalten moderate Chloridionenkonzentra-

tionen (max. 250 mg/l nach Trinkwasserverordnung) und können in ungünstigen Fällen zu Loch-, Spalt- und bei erhöhten Temperaturen und gleichzeitiger Aufkonzentration zu Spannungsrisskorrosion führen. In den meisten Fällen sind austenitische CrNiMo-Stähle wie 1.4401, 1.4404 und 1.4571 bei Berücksichtigung der Verarbeitungsrichtlinien beständig, in vielen Fällen auch schon CrNi-Stähle wie 1.4301.

In Trinkwässern ist das Risiko für das Auftreten von Bimetallkorrosion moderat: Hier hat sich seit vielen Jahren im Warm- und Kaltwasserbereich der gemeinsame Einsatz von Rohren, Verbindungselementen, Behältern u.a. aus nichtrostendem Stahl, Kupfer, Cu-Legierungen und Rotguss bewährt, ohne dass dabei Kontaktkorrosions-

erscheinungen auftreten. Während sich unlegierte Stähle in sauerstoffarmen Wässern ebenfalls mit nichtrostendem Stahl kombinieren lassen, besteht bei Paarungen mit verzinktem Stahl und Aluminiumwerkstoffen für diese Werkstoffe generell eine Bimetallkorrosionsgefährdung [2].

In Abwassersystemen sind die Verhältnisse weniger eindeutig. Hier liegen sehr unterschiedliche Wässer mit teilweise hoher Leitfähigkeit vor. Aufgrund der insgesamt erhöhten Korrosivität besteht für viele Werkstoffe ein erhöhtes Korrosionsrisiko, so dass auch mit Auftreten von Bimetallkorrosionserscheinungen gerechnet werden muss. Die Tab. 6 zeigt eine Übersicht zur Kompatibilität zwischen verschiedenen Werkstoffe in belüftetem Abwasser.

Werkstoff mit großer Fläche	Werkstoff mit kleiner Fläche				
	C-Stahl Guss	Zink verz. Stahl	Al	Cu	Edelstahl Rostfrei
C-Stahl / Guss	+*	+*	-	o / -	+*
Zink / verz. Stahl	-	+	-	o*	+*
Al	-	o / -	+*	-	+*
Cu	-	-	-	+*	+*
Edelstahl Rostfrei	-	-	-	o	+
Stahl in Beton	-	-	-	+	+

Legende: + gut o unsicher - schlecht

* Kombination beeinflusst Korrosion der einzelnen Partner nur unwesentlich, wegen starker Eigenkorrosion des unedleren Partners nicht zu empfehlen.

Tab. 6: Kompatibilitätstabelle für belüftetes Abwasser

Bei Lotverbindungen nichtrostender Stähle ist auf einen für den Verwendungszweck ausreichend beständigen Lotwerkstoff zu achten.

Meerwasser (typische Chloridionenkonzentration etwa 16.000 mg/l) und ähnlich chloridionenreiche Wässer implizieren wesentlich stärkere Korrosionsbeanspruchungen und erfordern in der Regel höherlegierte Güten (z.B. 1.4462, 1.4439, 1.4539, 1.4565) oder Nickelbasislegierungen. Handlungsempfehlungen für einen korrosionssicheren Einsatz der wichtigsten metallischen Werkstoffe in Wässern gibt die DIN EN 12502, Teil 1-5 [2]. Die Kontaktkorrosionsgefahr hängt wesentlich von der Leitfähigkeit des Wassers ab (vgl. Kap. 3). Entionisiertes Wasser ist in dieser Hinsicht normalerweise unkritisch.

Als sehr gut leitfähiges Medium begünstigt Meerwasser das Auftreten von Bimetallkorrosion. Hier sind bei kritischen geometrischen Verhältnissen nicht nur Bauteile aus Aluminiumwerkstoffen, Zink, verzinktem Stahl und unlegiertem Stahl gefährdet, sondern auch solche aus Kupfer und Rotguss.

Den Einfluss des Flächenverhältnisses Kathode zur Anode auf die Kontaktkorrosion der Metallkombination Edelstahl / niedriglegierter Stahl in Meerwasser verdeutlicht Bild 10. Man

erkennt, dass der Abstand Kathode zur Anode in diesem gut leitfähigen Medium keinen wesentlichen Einfluss ausübt. Die Metallteile können also bei Kontaktkorrosion auch weiter voneinander entfernt sein, falls der elektrische Kontakt anderweitig (z.B. über eine gemeinsame Erdleitung) hergestellt wurde.

Eine Gefahr für galvanische Korrosion besteht grundsätzlich dann, wenn Edelstahl Rostfrei bei der Aufbereitung von Wasser in Kontakt mit Aktivkohle

kommt, die in verschiedenen Anwendungsbereichen als Filtermaterial verwendet wird. In einigen Fällen können Bestandteile des Filtermaterials aus dem Filter ausgetragen werden und mit nichtrostenden Stählen in Kontakt treten. Die große Oberfläche des Filtermaterials kann dann als großflächige Kathode wirksam werden. In der Folge kann es zu einer Polarisation des nichtrostenden Stahls um 200 bis 300 mV in positive Richtung kommen. Diese Potentialverschiebung kann bei ferritischen und molybdän-

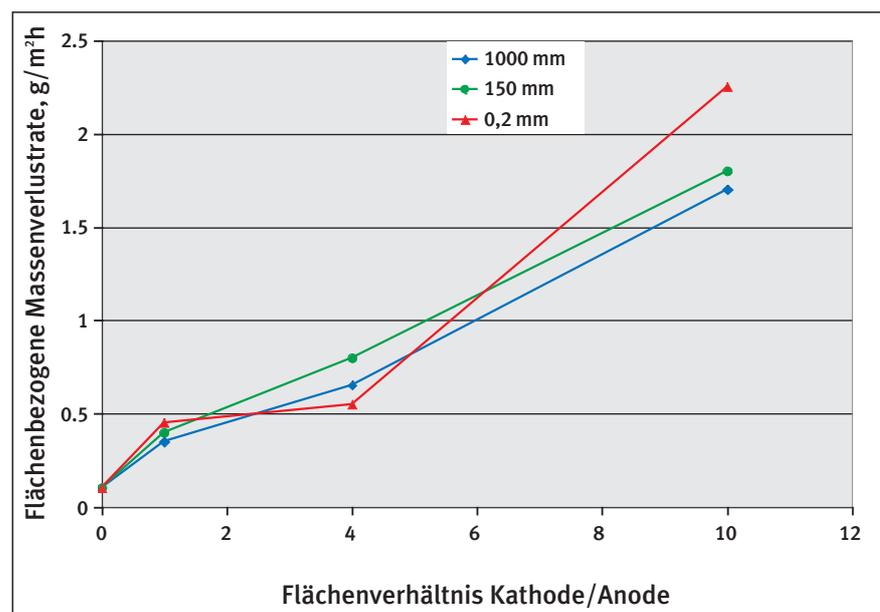


Bild 10: Einfluss von Flächenverhältnis und Abstand von Kathode und Anode auf die Massenverlustrate von niedriglegiertem Stahl in Kontakt mit nichtrostendem Stahl in Meerwasser (Dauertauchzone Nordsee).

freien austenitischen Stählen auch bei geringen Chloridgehalten zur Auslösung von Spalt- und Lochkorrosionserscheinungen führen. Ein Beispiel hierfür wird in **Bild 11** gezeigt. Die dort gezeigten Korrosionsschäden traten in verschiedenen Rohwasserfilterbecken (mittlerer Chloridgehalt 150 mg/l) eines Wasserwerkes an den Befestigungselementen aus Edelstahl Rostfrei auf, die der Verankerung von Filterdüsen-Bodenplatten an Stahlbetonstegen dieser Filterbecken dienen. Korrosionsschäden in Form von Loch- und Spaltkorrosion wurden nur in Filterbecken beobachtet, bei denen Aktivkohle als Filtermaterial eingesetzt wurde und über Spülprozesse an die Befestigungselemente gelangte. Als Werkstoff für die verschiedenen Einzelteile der Befestigungselemente kamen neben den laut Vorgabe zu verwendenden austenitischen Stählen (1.4301, 1.4571, 1.4401) für einen Teil der Ankerschrauben abweichend auch ein ferritischer Chromstahl (1.4016) zum Einsatz. Erwartungsgemäß war dieser Werkstoff von den Korrosionserscheinungen auch am stärksten betroffen.

Bild 11: Galvanische Korrosion an Befestigungselementen aus nichtrostendem Stahl durch den Kontakt zu Aktivkohle, Filterbecken Wasserwerk



Befestigungselement im montierten Zustand



Ankerschraube (1.4016) nach der Demontage, starke Querschnittsminderung durch Korrosion

Werkstoff mit großer Fläche	Werkstoff mit kleiner Fläche				
	C-Stahl Guss	Zink verz. Stahl	Al	Cu	Edelstahl Rostfrei
C-Stahl / Guss	+*	-	-	+*	+*
Zink / verz. Stahl	+*	+	+	o	+
Al	o / -	o	+	o / -	+
Cu	-	-	-	+	+
Edelstahl Rostfrei	-	-	o / -	+	+

Legende: + gut o unsicher - schlecht

* Kombination beeinflusst Korrosion der einzelnen Partner nur unwesentlich, wegen starker Eigenkorrosion des unedleren Partners nicht zu empfehlen.

Tab. 7: Kompatibilitätstabelle für atmosphärische Beanspruchung

Erfahrungen in der Praxis haben gezeigt, dass auch die Verwendung von graphitierten oder Graphitdichtungen, insbesondere bei molybdänfreien austenitischen nichtrostenden Stählen zu Kontaktkorrosion führen kann, die oft als Spaltkorrosion gedeutet wird.

4.2 Bauteile an der Atmosphäre

Während in Ver- und Entsorgungsleitungen, Behältern und Becken für wässrige Medien überwiegend von einer ständigen Anwesenheit eines Elektrolyten ausgegangen werden kann, ist dies bei Bauteilen an der Atmosphäre nicht immer der Fall. Korrosionsprozesse können dann nur während einer Feuchtigkeitseinwirkung ablaufen. Dabei muss die Oberfläche nicht direkt mit Niederschlags- oder Spritzwasser in Kontakt kommen. Häufig sind mikroskopisch dünne Feuchtigkeitsfilme von aus der Luft adsorbiertem Wasser oder auch sichtbarer Kondenswasseranfall vorhanden. 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. Häufig ergeben sich unter solchen Bedingungen nur geringe

Reichweiten für die Elementbildung - ein wesentlicher Unterschied etwa zu Korrosionselementen in Wassersystemen. Die beiden Werkstoffe beeinflussen sich gegenseitig nur in einer schmalen Zone neben der Kontaktlinie und „sehen“ die dahinterliegende Oberfläche des jeweils anderen Partners nicht mehr. Unterschiedliche Oberflächengrößen wirken sich nur noch eingeschränkt aus, so dass die Flächenregel nur bedingt anwendbar ist.

Wegen der begrenzten Reichweite der Elemente bei atmosphärischer Bewitterung reicht es zur Vermeidung von Bimetallkorrosion häufig aus, den Edelstahl in einer schmalen Zone neben der Kontaktlinie abzudecken.

Probleme können dauerfeuchte Spalten zwischen Edelstahl Rostfrei und unedleren Werkstoffen wie Aluminiumlegierungen oder Zink bzw. verzinkten Bauteilen darstellen. Abhilfe schafft oft ein Ausfüllen des Spalttraumes mit dauerelastischen Dichtmitteln. Verspröde Dichtstoffe, die auf Bewegungen in den Spaltbereichen mit Rissbildung reagieren, können hingegen die Probleme in den Spaltbereichen noch verstärken.

In der **Tab. 7** werden entsprechende Angaben zur Kompatibilität zwischen verschiedenen Werkstoffen bei atmosphärischer Beanspruchung gegeben.

4.3 Edelstahl Rostfrei im Bauwesen

Die Verwendung von Edelstahl Rostfrei im Bauwesen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Neben den architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten spielen seine gute Verarbeitbarkeit und Korrosionsbeständigkeit eine herausragende Rolle. Edelstahl Rostfrei wird eingesetzt für Sichtflächen, Strukturkomponenten und Befestigungselemente wie Schrauben. Zur Verwendung kommen hauptsächlich Güten der Typen 18/9-CrNi und 17/12/2-CrNiMo, letztere besonders für anspruchsvolle Oberflächen in Industrie- und Stadtumgebung sowie für unzugängliche Elemente mit tragender Funktion wie Fassadenbefestigungen. Eine Verbindung mit anderen Werkstoffen lässt sich dabei nicht immer vermeiden. Das Kontaktkorrosionsverhalten hängt wesentlich von konstruktiven Faktoren ab: In Oberflächenbereichen, die unter Außenbewitterung oder Innenklimaeinwirkungen durch Regen oder Kondensation mit einem Feuchtigkeitsfilm bedeckt werden, erstreckt sich die gegenseitige Beeinflussung von Metallen gewöhnlich nicht über weite Strecken, sondern findet nur unmittelbar neben der Kontaktlinie statt.

Für frei bewitterte Konstruktionen oder Konstruktionen mit Kondenswasserbeaufschlagung ist die Befeuchtungsdauer entscheidend. Gelegentliche und nur kurzzeitig vorliegende Feuchtigkeitsfilme führen i.a. nicht zu Problemen hinsichtlich Bimetallkorrosion. In diesem Punkt kommt demnach der konstruktiven Gestaltung eine entscheidende Rolle zu. Alle Faktoren, die eine rasche Abtrocknung von Feuchtigkeitsfilmen unterstützen, wirken korrosionsentlastend (gute Belüftung, Vermeidung von Spalten, ungehinderter Ablauf von Regenwasser, glatte Oberflächen). Dagegen können dauerfeuchte Bereiche in Spalten, unter Abdeckungen, stehendes Wasser und Flächen mit stärkeren Verschmutzungen die Bimetallkorrosion erheblich fördern. Freibewitterte Bauteile, bei denen durch direkte Beregnung die Oberflächen von Verunreinigungen befreit werden und die durch gute Belüftung rasch abtrocknen, sind des-

halb weniger gefährdet als solche, die zwar vor direkter Beregnung geschützt sind, aber infolge schlechterer Belüftung längere Zeit feucht sind und wo sich zusätzlich Verunreinigungen aufkonzentrieren können.

Auch wenn die Flächenregel bei atmosphärischer Beanspruchung nur bedingt anwendbar ist, sollten Konstruktionen mit kleinflächigen Anoden innerhalb großflächiger Kathoden grundsätzlich vermieden werden. Wird dies nicht beachtet, ist eine Bimetallkorrosion auch bei guter Belüftung nicht auszuschließen. In Bild 12 wird hierfür ein Beispiel gezeigt. Die obere Profilabdeckung von senkrechten Profilen aus korrosionsbeständigem Stahl einer Stahl/Glas-Fassade wurde mit jeweils 2 verzinkten Stahlschrauben befestigt. Diese zeigen ausgehend vom Spaltbereich zwischen der Profilabdeckung und den Schrauben eine auffällige Weißrostbildung und teilweise bereits eine Korrosion des Grundmaterials. Die Erscheinungen wurden nach einem Einsatzzeitraum von ca. 12 Monaten festgestellt, so dass hier keine dauerhafte Lösung vorliegt. Die verzinkten Befestigungsschrauben sollten durch solche aus nichtrostendem Stahl ersetzt werden.

In der Bedachungstechnik wird nichtrostender Edelstahl sowohl bei neuen als auch älteren Konstruktionen vorwiegend als Verbindungselement im Kontakt mit anderen metallischen

oder mit Überzügen versehenen Werkstoffen eingesetzt. Aufgrund der günstigen Flächenverhältnisse besteht bei diesen Werkstoffkombinationen generell keine Korrosionsgefährdung durch Kontaktkorrosion. Im Falle von Instandsetzungen an Bedachungen werden häufig auch großflächige Verbindungen mit nichtrostendem Stahl erzeugt, die ebenfalls als unkritisch zu bewerten sind, wenn das Flächenverhältnis zwischen dem nichtrostenden Stahl und beispielsweise einem verzinkten oder aus Aluminium bestehenden Bauteil nicht deutlich oberhalb von 1 liegt.

4.4 Edelstahl Rostfrei im Fahrzeugbau

Bei Automobilen und anderen Straßenfahrzeugen werden nichtrostende Stähle (Ferrite mit etwa 12–18 % Cr und Austenite mit etwa 18 % Cr) eingesetzt für Zierteile, Abgassysteme, Treibstofftanks und zunehmend auch für Karosserie- und Fahrwerkskomponenten; bei Schienenfahrzeugen finden bevorzugt ferritische Güten mit etwa 12 % Cr in Verbindung mit einem Korrosionsschutz Verwendung.

Edelstahl Rostfrei wird dabei zunehmend in Mischbauweise eingesetzt zusammen mit sehr viel unedleren Werkstoffen wie Aluminium, Magnesium sowie Stahl mit Verzinkung und anderen Überzügen (Dacromet).

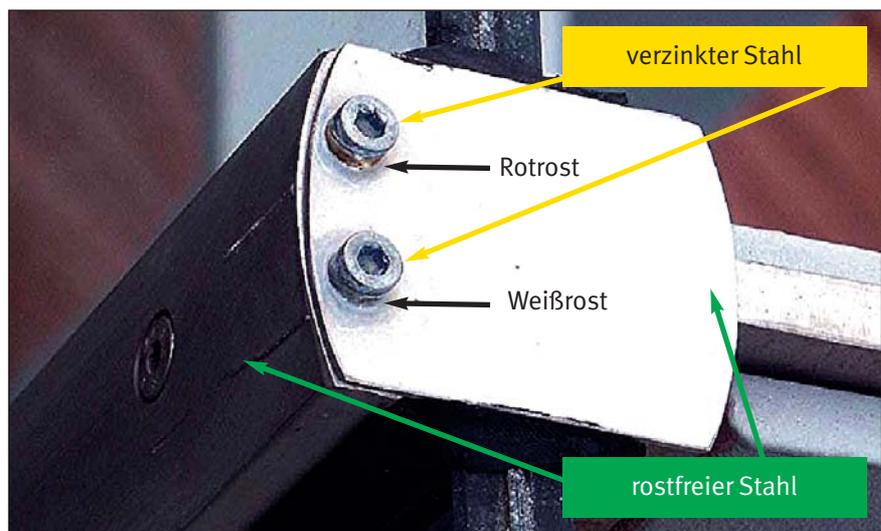


Bild 12: Befestigung einer Profilabdeckung aus Edelstahl Rostfrei mit verzinkten Stahlschrauben im Fassadenbereich, verzinkte Stahlschrauben mit Weißrostbildung (Zinkkorrosion) und beginnender Rotrostbildung (Stahlkorrosion); 1 Jahr in Stadtatmosphäre

Oft ist es nicht möglich, zur Vermeidung von Kontaktkorrosion unterschiedliche Materialien elektrisch voneinander zu trennen, da mechanische Kräfte übertragen werden müssen. Gelegentlich lassen sich hierfür Keramiktrennkörper verwenden.

Zu achten ist wieder auf Spaltbildungen zwischen Komponenten aus Edelstahl und unedleren Werkstoffen, in denen sich unter Einwirkung von Schmutz und Feuchtigkeit ein Kontaktkorrosionsangriff entwickeln kann. Hier hilft oft wieder ein Ausfüllen mit einem geeigneten Kunststoffmaterial. Eine sehr effektive Maßnahme zur Vermeidung von Kontaktkorrosion im Fahrzeugbau ist oft das bereits beschriebene Abdecken der Kontaktzone auf Seiten des Edelstahls.

5 Häufig gestellte Fragen

Eine Reihe häufig gestellter Fragen des Kontaktes nichtrostender Stählen mit anderen Werkstoffen werden nachfolgend aufgeführt und beantwortet:

Frage:

Können nichtrostende Stähle unterschiedlicher Zusammensetzung verbunden werden? Besteht eine Gefährdung durch Bimetallkorrosion?

Antwort:

Zwischen nichtrostenden Stählen unterschiedlicher Legierungszusammensetzung (auch aus verschiedenen Widerstandsklassen) tritt grundsätzlich keine Bimetallkorrosion auf, da die freien Korrosionspotentiale gleich sind. Beachtet werden muss aber das Eigenkorrosionsverhalten der jeweiligen Legierung, d.h., der Werkstoff mit der geringeren Beständigkeit muss unter den jeweiligen Einsatzbedingungen ausreichend korrosionsbeständig sein.

Frage:

Kann in Hausinstallationen zur Instandsetzung geschädigter Rohrab-schnitte nichtrostender Stahl in Kombination mit Kupfer oder verzinktem Stahl eingesetzt werden?

Antwort:

Völlig unkritisch bei Cu-Leitungen, da im Trinkwasser ähnliche Korrosionspotentiale vorliegen. Installationen aus verzinktem Stahl können mit nichtrostendem Stahl kombiniert werden, wobei der Einsatz von Zwischenstücken aus Cu-Zink-Legierungen oder Rotguss zu empfehlen ist.

Frage:

Kann nichtrostender Stahl mit normalem Bewehrungsstahl in Stahlbetonkonstruktionen verbunden werden?

Antwort:

Ja. Für Bewehrungsstahl im passiven Zustand stellt diese Verbindung kein Problem dar, weil die Korrosionspotentiale gleich sind. Durch diese Kombination kann bei durchführenden Rohrleitungen oder der Durchführung von Bewehrung durch Dämmmaterial galvanische Korrosion vermieden werden. Die Verbindungszone muss dabei immer innerhalb des Betons und nicht in der unmittelbaren Randzone liegen (Mindestbetondeckung 3 cm). Bei Bewehrungsstahl im aktiven Zustand (Depassivierung durch Chlorideinwirkung und/oder Carbonatisierung) kann Bimetallkorrosion auftreten. Allerdings ist die Wirkung dieser Bimetallelemente eher kleiner als die häufig ohnehin vorhandene Elementbildung zwischen aktivem und passivem Betonstahl (galvanische Korrosion durch Aktiv/Passiv-Element), da die kathodische Sauerstoffreduktion am nichtrostenden Edelstahl wesentlich verlangsamt abläuft.

Frage:

Sind Unterlegscheiben aus isolierendem Kunststoff auch bei verschraubten Verbindungen wirksam, um Kontaktkorrosion zu vermeiden?

Antwort:

Zwar wird bei dieser Verbindung der elektrische Kontakt zwischen den Materialien im Gewindebereich nicht aufgehoben, trotzdem empfiehlt sich diese Maßnahme, da die am stärksten durch Kontaktkorrosion gefährdeten Bereiche durch die Unterlegscheibe zusätzlich abgedeckt sind.

Frage:

Können bei Geländerkonstruktionen Füllstäbe aus verzinktem Stahl mit

Stützelementen aus nichtrostendem Stahl kombiniert werden?

Antwort:

Falls durch die konstruktive Gestaltung dieser Verbindung das langzeitige Einwirken von Elektrolyten (z.B. Regen- oder Tauwasser) vermieden wird, ist der direkte Kontakt zulässig, ansonsten empfiehlt sich der Einsatz isolierender Kunststoffhülsen.

6 Vermeidung von Bimetallkorrosion

Am besten lässt sich Bimetallkorrosion vermeiden, wenn bereits bei der Planung von Anlagen und Konstruktionen geeignete, kompatible Werkstoffe ausgewählt werden. Ergibt sich dennoch die Notwendigkeit zur Verbindung von Werkstoffen, die sich hinsichtlich Bimetallkorrosion gegenseitig beeinflussen können, dann sind entsprechende Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Diese können sich an den unter Abschnitt 2 aufgeführten Grundlagen orientieren. Dort wurden im **Bild 3** alle Möglichkeiten aufgezeigt, mit denen es in der Praxis möglich ist Probleme zu vermeiden. Das sind:

- Elektrische Isolation der Bauteile (Isolierstücke, Kunststoffhülsen oder Isolierscheiben aus Polyamid)
- Verlagerung der Verbindungsstelle in einen Bereich ohne Feuchtigkeit Zutritt
- Beschichtung der Kathode bzw. von Anode und Kathode (großflächig oder im Verbindungsbereich)

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die alleinige Beschichtung der Anode keine geeignete Maßnahme zur Vermeidung von Bimetallkorrosion ist. Fehler oder Beschädigungen an der Beschichtung, die in der Praxis immer anzunehmen sind, schaffen ein kritisches Korrosionselement. Die Beschädigungen in der Beschichtung führen zu kleinflächigen Anoden, die dann mit hoher Abtragsrate korrodieren können.

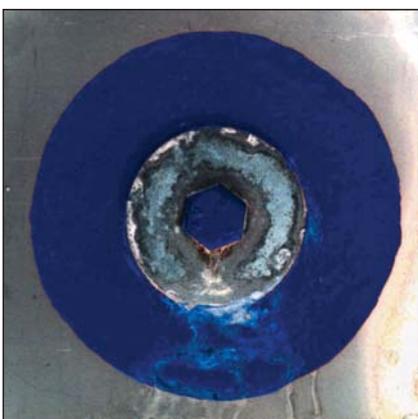
Um die Kathodenwirkung bei großflächigem Einsatz des nichtro-

stenden Stahls in einer Verbindung hinreichend abzumindern, reicht in der Regel eine Beschichtung des Edelstahl in der Umgebung der Verbindung aus (Bild 13). Wie bereits beschrieben, ist hierbei die abzudeckende Zone je nach Leitfähigkeit des Korrosionsmediums unterschiedlich breit. Bei Bauteilen an der Atmosphäre mit ihren sehr dünnen schlecht leitenden Elektrolytfilmen reicht es daher oft schon, einen zentimeterbreiten Streifen neben der Kontaktlinie auf der Seite des Edelstahls zu behandeln. Bei salzreichen Flüssigkeitsfilmen von wenigen Millimetern Dicke ist die wirksame Kathodenzone schon mehr als zehn Zentimeter breit.

Bild 13: Vermeiden von Kontaktkorrosion an verzinktem Stahl durch Abdecken der Edelstahl Rostfrei-Oberfläche in einer schmalen Zone neben der Kontaktlinie. (48h Salzsprühnebelprüfg. nach DIN 50021)



Kontaktbereich nicht abgedeckt. Rotrost-Bildung durch galvanische Korrosion.



Kontaktbereich mit Lack abgedeckt. Keine galvanische Korrosion, damit kein verstärkter Angriff

Auf die Möglichkeiten des konstruktiven Korrosionsschutzes wurde im Abschnitt 3 hingewiesen. Unter atmosphärischen Bedingungen sind eine gute Belüftung, die Vermeidung von Wasseransammlungen und offenen Spalten sowie die Verhinderung von Schmutzablagerungen wichtige Voraussetzungen für die Vermeidung von Problemen durch Bimetallkorrosion. Unvermeidliche Spalte sind dauerelastisch zu verschließen.

7 Literatur

- [1] **DIN EN ISO 8044**, Ausgabe:1999-11
Korrosion von Metallen und Legierungen - Grundbegriffe und Definitionen
- [2] **DIN EN 12502**
Teil 1 bis 5, Ausgabe:2005-03
Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe - Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und Speichersystemen
- [3] H. Gräfen,
„Korrosionsschutz durch Information und Normung“
Kommentar zum DIN-Taschenbuch 219, Verlag Irene Kuron, Bonn (1988) S. 37
- [4] H. Spähn, K. Fäßler
„Kontaktkorrosion“
Werkstoffe und Korrosion 17 (1966) S. 321
- [5] D. Kuron
„Aufstellung von Kontaktkorrosionstabellen für Werkstoffkombinationen in Wässern“
Werkstoffe und Korrosion 36 (1985) S. 173
- [6] D. Kuron, E.-M. Horn, H. Gräfen
„Praktische elektrochemische Kontaktkorrosionstabellen von Konstruktionswerkstoffen des Chemie-Apparatebaues“
Metalloberfläche 26 (1967) Nr. 2, S. 38
- [7] H. Spähn, K. Fäßler
„Kontaktkorrosion im Maschinen- und Apparatebau“
Der Maschinen Schaden 40 (1967) Nr. 3, S. 81
- [8] W. Schwenk
„Probleme der Kontaktkorrosion“
Metalloberfläche 35 (1981) Nr. 5, S. 158
- [9] K.-H. Wiedemann, B. Gerodetti, R. Dietiker, P. Gritsch
„Automatische Ermittlung von Kontaktkorrosionsdaten und ihre Auswertung mittels Polarisationsdiagrammen“
Werkstoffe und Korrosion 29 (1978) S. 27
- [10] E. Hargarter, H. Sass
„Kontaktkorrosion zwischen verschiedenen Werkstoffen in Meerwasser“
Jahrbuch der Schiffbau-technischen Gesellschaft 80 (1986) S. 105
- [11] R. Francis
Galvanic Corrosion: „A Practical Guide for Engineers“
NACE International (2001)
Houston Texas 77084
ISBN 1 57590 110 2
- [12] GfKorr-Merkblatt 1.013
„Korrosionsschutzgerechte Konstruktion“
(2005)
- [13] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6
„Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen“
(jeweils gültige Fassung)
Sonderdruck 862 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei



Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Postfach 10 22 05
40013 Düsseldorf
www.edelstahl-rostfrei.de