

**W6** d Ausgabe ..... 2024

**REGELWERK**

**Richtlinie**

**für Trinkwasserreservoirs**

**Planung, Projektierung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von  
Reservoirs**

**Ergänzung 2: Korrosionsschutz**

**W6**



**W6** d Ausgabe ..... 2024

## **REGELWERK**

### **Richtlinie**

### **für Trinkwasserreservoirs**

### **Planung, Projektierung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Reservoirs**

### **Ergänzung 2: Korrosionsschutz**

#### IMPRESSUM

Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen unter  
[www.svgw.ch/AGB](http://www.svgw.ch/AGB)

Copyright by SVGW, Zürich  
Druck: Zofinger Tagblatt  
Auflage März 2013: 1400 Exemplare

Reproduktion verboten

Bezug bei der Geschäftsstelle des SVGW  
([support@svgw.ch](mailto:support@svgw.ch))

# W6



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Planung und Ausführung</b>	<b>5</b>
1.1	Grundkonzept für den Korrosionsschutz	5
1.2	Elektrisches Grundkonzept	5
<b>2</b>	<b>Korrosion von Metallen</b>	<b>5</b>
2.1	Begriffe	5
2.2	Korrosionsreaktionen	6
2.3	Korrosionspotential	6
2.4	Makroelemente	6
2.5	Korrosionsgeschwindigkeit	7
2.6	Auswirkung von Makroelementströmen	8
2.7	Nichtrostende Stähle	9
<b>3</b>	<b>Schutzmassnahmen</b>	<b>9</b>
3.1	Hinweise zur Werkstoffwahl	9
3.2	Überzüge und Beschichtungen	9
3.3	Galvanische Trennungen	10
<b>4</b>	<b>Beispiele</b>	<b>11</b>
4.1	Mauerdurchführung von Rohrleitungen	11
4.2	Rohre im Behälter aus bewehrtem Beton	11
4.3	Elektrische Anlageteile und elektrische Steuerungen auf galvanisch abgetrennten Installationen im Behälterbereich	12
4.4	Armaturen aus Gusseisen in Rohrleitungen aus nichtrostendem Stahl	12



# **1 Planung und Ausführung**

## **1.1 Grundkonzept für den Korrosionsschutz**

Der Korrosionsschutz muss den Erfordernissen bezüglich Nutzungsdauer und Betriebssicherheit angepasst werden. Dabei gilt es, im Einzelfall die wirtschaftlichste Lösung zu finden.

Von entscheidender Bedeutung ist, dass das Korrosionsschutzkonzept frühzeitig (nicht erst bei der Auftragsvergabe) und gleichzeitig mit dem elektrischen Konzept für die Anlage erstellt wird.

Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit müssen nicht nur die Investitionskosten, sondern die Gesamtkosten während der vorgesehenen Nutzungsdauer (Investition, Unterhalt, geplante Reparaturkosten) berücksichtigt werden. Diese müssen deshalb ebenfalls im Korrosionsschutzkonzept enthalten und für den Bauherrn klar ersichtlich sein.

## **1.2 Elektrisches Grundkonzept**

### **1.2.1 Erdungen**

In Trinkwasserbehältern wird ein Fundamenterder mit den entsprechenden Anschlüssen gemäss den Vorgaben der SN 414113 . erstellt.

### **1.2.2 Potentialausgleich**

Der Potentialausgleich hat den Zweck, Spannungsdifferenzen (Erd- oder Kurzschlüsse zwischen gleichzeitig berührbaren, elektrisch leitfähigen Teilen) zu begrenzen.

Alle ausgedehnten, leitfähigen Teile (Rohre über 3 m Länge und Metallflächen über 1 m<sup>2</sup>) sind gemäss den Niederspannungsinstallationsvorschriften des SEV in den Potentialausgleich einzubeziehen. Grössere Anlageteile dürfen aus Korrosionsschutzgründen dann galvanisch abgetrennt werden, wenn zusätzliche Schutzvorkehrungen gemäss «Weisung ARA» des ESTI eingehalten werden.

### **1.2.3 Blitzschutz**

Als Erder für den Blitzschutz kann ebenfalls der Fundamenterder gemäss den Vorgaben der SN 414113 verwendet werden.

# **2 Korrosion von Metallen**

## **2.1 Begriffe**

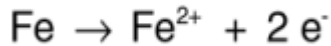
Der Begriff Korrosion bedeutet zerstören, zernagen und wird sowohl bei Metallen wie bei Beton verwendet. Die Begriffe zur Korrosion sind in SN EN ISO 8044 zusammengefasst.

Von einem Korrosionsschaden spricht man erst, wenn die Funktion eines Bauteils oder eines ganzen Systems infolge Korrosion beeinträchtigt wird und nicht, wenn erste Korrosionserscheinungen auftreten.

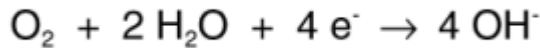
## 2.2 Korrosionsreaktionen

Die Reaktion eines metallischen Werkstoffs mit seiner Umgebung ist eine elektrochemische Reaktion an der Metalloberfläche, wobei Oxidation (Anodenreaktion) und Reduktion (Kathodenreaktion) gleichzeitig ablaufen.

An der Anode werden Metalle zu Metallionen oxidiert:



An der Kathode erfolgt im Wasser praktisch immer die Reduktion des Angriffsmittels, des im Wasser gelösten Sauerstoffs:



Wenn anodische und kathodische Bereiche unmittelbar nebeneinander liegen, erfolgt ein gleichmässiger, flächenhafter Abtrag. Ein solches Korrosionsverhalten zeigen aktive Metalle wie Stahl oder verzinkter Stahl in Wasser, falls keine dicken Rostschichten oder Ablagerungen vorhanden sind. Bei der Korrosion passiver Metalle sind die anodischen und kathodischen Bereiche dagegen meistens getrennt, wie zum Beispiel bei der Loch- oder Spaltkorrosion von nichtrostenden Stählen oder Aluminium in chloridhaltigem Wasser.

## 2.3 Korrosionspotential

Das Potenzial, das ein Metall in einer bestimmten Umgebung annimmt, nennt man Korrosionspotential. Es liegt zwischen den Gleichgewichtspotenzialen, der beiden Teilreaktionen, die die Korrosion verursachen.

Stahl hat im Wasser ein Gleichgewichtspotenzial von -1'000 mV gemessen gegen eine Kupfer-/Kupfersulfat Referenzelektrode (CSE). Die Reduktion des im Wasser gelösten Sauerstoffs hat ein Potenzial von +500 mVCSE. Die Potentialdifferenz von 1,5 Volt zwischen den beiden Teilreaktionen ist die Ursache des Korrosionsvorgangs.

Metall		E <sub>k</sub> [mV <sub>CSE</sub> ]	
Stahl in Trinkwasser		-650	-450
Stahl in anaerobem Wasser		-950	-700
Nichtrostender Stahl in belüftetem Wasser		-200*	+100*
Bewehrungsstahl in Beton	Luft, Erdreich	-200*	0*
	In Wasser	-500	-200*
Verzinkter Stahl in belüftetem Wasser		-1'000	-800
Aluminium in belüftetem Wasser		-600*	-50 *

\* im passiven Zustand

Tab. B 2.3: Typische Korrosionspotenziale von Metallen in Trinkwasser

## 2.4 Makroelemente

Ein Makroelement ist ein galvanisches Element. Die Triebkraft für den Makroelementstrom und damit für den Korrosionsangriff ist die Differenz der Korrosionspotenziale zwischen



verschiedenen Bereichen einer metallischen Struktur, die metallisch und elektrolytisch miteinander in Kontakt stehen.

In Trinkwasserbehältern sind zwei Makroelemente von Bedeutung:

- das Makroelement mit Fremdkathoden
- das Belüftungselement

Ein Makroelement mit einer Fremdkathode entsteht, wenn zwei verschiedene Strukturen mit unterschiedlichen Korrosionspotentialen metallisch miteinander verbunden sind und in den gleichen Elektrolyten eintauchen. Dies ist bei einer Mischkonstruktion der Fall, wenn Teile aus nichtrostendem und unlegiertem Stahl sind oder wenn Einbauten aus unlegiertem Stahl metallisch mit der Bewehrung von Betonstrukturen in Kontakt sind. Der Korrosionsangriff durch den Makroelementstrom erfolgt auf der Metallstruktur mit dem negativeren Korrosionspotential (lokale Anode). Die Struktur mit dem positiveren Korrosionspotential wird zur «Fremd»- Kathode.

Ein Belüftungselement entsteht dann, wenn ein Teil der Metalloberfläche mit Ablagerungen bedeckt ist, die den Sauerstoffzutritt zur Metalloberfläche behindern. Die lokale Anode im Belüftungselement entsteht beim negativeren Korrosionspotential, das heisst am Ort der geringeren Sauerstoffkonzentration unter der Ablagerung.

## 2.5 Korrosionsgeschwindigkeit

Massgebend für die Korrosionsgeschwindigkeit von aktiven Metallen ist die Diffusion des Sauerstoffs zur Metalloberfläche. Diese Diffusion hängt nicht nur vom Sauerstoffgehalt, sondern auch von der Viskosität, der Temperatur und den Strömungsverhältnissen ab. Die Korrosionsgeschwindigkeit aktiver Metalle im Trinkwasser ist im Allgemeinen gering ( $\leq 0,1$  mm/Jahr).

Noch wesentlich kleiner ist die Korrosionsgeschwindigkeit bei den passiven Metallen und bei Metallen, deren Korrosionsprodukte eine schwerlösliche Schutzschicht bilden. Passive Metalle bilden auf der Oberfläche einen dünnen Oxidfilm (bei den nichtrostenden Stählen etwa 3 nm), der im Wasser schlecht löslich ist, und der damit den Ablauf der Korrosionsreaktionen stark behindert. Ein Beispiel für ein schwerlösliches Korrosionsprodukt, das die Korrosion stark verzögert, ist die Zinkkarbonat-Schutzschicht auf Zink respektive auf verzinkten Stahlteilen.

Wesentlich grössere Korrosionsraten als die oben erwähnten treten dann auf, wenn Gleichströme auf eine Metallstruktur einwirken. Die Quelle solcher Gleichströme können Streuströme von Gleichstrombahnen sein; sie können aber auch in Makroelementen innerhalb einer Anlage entstehen. Auch bei lokalen Angriffen auf passive Werkstoffe wie Loch-, Spalt- und Spannungsrisskorrosion entstehen Makroelemente mit der Angriffsstelle als kleine Anode und der restlichen Oberfläche als Kathode. An der Anode können lokal grosse Korrosionsströme austreten, was zu Korrosionsgeschwindigkeiten bis zu 2 mm pro Jahr führt.

Der Metallabtrag an der Anode eines Makroelements ist direkt proportional zum Stromfluss im Makroelement. Pro mA werden pro Jahr die in Tabelle 2.5 angegebenen Metallmengen aufgelöst:

Metall	Abtrag pro mA	
	g/Jahr	cm <sup>3</sup> /Jahr
Aluminium	2,90	1,08
Unlegierter Stahl/Gusseisen	9,13	1,16
Zink	10,69	0,98

Tabelle B 2.5: Jährlicher Metallabtrag pro mA Makroelementstrom

Für die Korrosionsgeschwindigkeit ist die Austrittsstromdichte im Makroelement massgebend (Strom pro Flächeneinheit). Die Korrosionsgeschwindigkeit im Makroelement kann mit Hilfe der Flächenregel abgeschätzt werden:

$$v_a = v_a^0 \frac{F_a + F_k}{F_a} \quad [ \text{mm/a} ]$$

- $v_a$ : Korrosionsgeschwindigkeit der Anode im Makroelement
- $v_a^0$ : Korrosionsgeschwindigkeit des die Anode bildenden Metalls ohne Makroelementeinfluss
- $F_a$ : Fläche der Anode
- $F_k$ : Fläche der Kathode

Aus der Flächenregel folgt, dass nur dann grosse Korrosionsgeschwindigkeiten entstehen, wenn kleine Anoden mit grossen Kathoden verbunden sind. Gefährlich hohe Stromdichten treten insbesondere dann auf, wenn sich der Stromaustritt auf kleine Flächen konzentriert, z.B. an beschichteten Stahlstrukturen, welche Verletzungen oder Fehlstellen in der Beschichtung aufweisen.

## 2.6 Auswirkung von Makroelementströmen

Im Makroelement fliesst ein Elektronenstrom im Metall von der Kathode zur Anode und ein Ionenstrom zwischen Kathode und Anode. Die positiv geladenen Kationen fließen von der Anode in Richtung Kathode und die negativ geladenen Anionen in Richtung Anode. Dieser Ionenstrom kann nun auf seinem Weg verschiedene Effekte verursachen:

- Im Bereich der Anode wird der Elektrolyt durch die Anreicherung mit aggressiven Anionen immer aggressiver. Die Metallauflösung konzentriert sich deshalb auf die primär anodischen Stellen. Es entstehen lokale, kraterförmige Anfressungen.
- Im Bereich der Kathode (z.B. nichtrostender Stahl) entsteht durch die Anreicherung mit Kationen und durch die Reaktionsprodukte der kathodischen Teilreaktion eine alkalische Lösung auf der Oberfläche. In gewissen Wässern können auf diesen Oberflächen deshalb Verkalkungen mit grauer bis bräunlicher Farbe entstehen.
- Wenn nun der Ionenstrom auf seinem Weg zwischen Anode (z.B. erdverlegte Wasserleitung) und Kathode (z.B. nichtrostende Einbauten im Behälter oder Bewehrung in den Betonmauern des Behälters) hindurchfliesst, werden beim Stromaustritt aus dem Beton oder Mörtel ins Wasser des Behälters u.a. Ca +2 -Ionen ins Wasser transportiert. Falls der Beton oder Mörtel wassergefüllte Poren enthält

(Leitfähigkeit etwa 100 x grösser als im angrenzenden Beton oder Mörtel), fliesst ein grosser Teil des Stromes durch diese wassergefüllten Poren, wodurch das Calcium aus diesen Poren entfernt wird und mit der Zeit Flecken oder gar Löcher im Mörtel oder Beton entstehen.

## **2.7 Nichtrostende Stähle**

Diese Stähle heissen nichtrostende Stähle, weil sie im Wasser nicht rosten. Im Trinkwasser werden vor allem nichtrostende Stähle der Korrosionswiderstandsklasse II (z.B. 1.4301 oder 1.4306) oder III nach SN EN 1993-1-4/A1:2015 (z.B. 1.4404 oder 1.4571) verwendet. Diese Stähle verdanken ihre Beständigkeit einem schwer löslichen dünnen Oxidfilm, der nur etwa 3 nm dick ist und der sich im Wasser oder in Luft neu bilden (repassivieren) kann. Dieser Film kann durch kleine Spuren von Chlorid lokal in konstruktionsbedingten Spalten (Spaltkorrosion) oder bei etwas grösseren Chlorid-Konzentrationen auch auf den Flächen (Lochfrass) angegriffen werden kann. Die nichtrostenden Stähle der Korrosionswiderstandsklasse II sind in kaltem Trinkwasser bis 200 mg Chlorid pro Liter gegen Lochfrass, nicht aber gegen Spaltkorrosion beständig. Die nichtrostenden Stähle der Korrosionswiderstandsklasse III sind in Trinkwasser beständig.

Wichtig für die Beständigkeit der nichtrostenden Stähle sind eine sorgfältige Verarbeitung und eine saubere Nachbearbeitung der Schweissnähte (keine Kratzer, keine Zunderschichten). Im Zweifelsfalle lohnt es sich, für die Beurteilung der Qualität der Verarbeitung einen Korrosionsfachmann zuzuziehen.

## **3 Schutzmassnahmen**

### **3.1 Hinweise zur Werkstoffwahl**

Grundsätzlich müssen Werkstoffe eingesetzt werden, deren Korrosionsbeständigkeit unter den gegebenen Angriffsbedingungen ausreichen, damit während der vorgesehenen Nutzungsdauer keine Korrosionsschäden auftreten.

Die Kombination von unterschiedlichen metallischen Werkstoffen führt in vielen Fällen zu einer Korrosionsgefährdung durch Makroelementbildung (siehe auch SVGW W10018), die weitere Schutzmassnahmen, wie: galvanische Trennung oder kathodischen Schutz erfordern. Mischkonstruktionen aus verschiedenen metallischen Werkstoffen mit unterschiedlichen Korrosionspotentialen sind deshalb nach Möglichkeit zu vermeiden.

Sind Mischinstallationen nicht zu verhindern, so ist darauf zu achten, dass die Anzahl der notwendigen galvanischen Trennungen möglichst klein gehalten wird. Diesem Umstand ist durch eine geeignete Anordnung der Teile aus unterschiedlichen Werkstoffen Rechnung zu tragen.

### **3.2 Überzüge und Beschichtungen**

Überzüge dienen physikalisch als Barriere zwischen Werkstoff und Angriffsmittel. Für Trinkwasser sind die folgenden Überzüge von Bedeutung:

- metallische Überzüge, z.B. Feuerverzinkung
- nicht metallische anorganische Überzüge, z.B. Emaillierung
- organische Überzüge, z.B. Epoxidharz-Beschichtung

Die Qualität von Beschichtungen ist in hohem Masse von der Vorbehandlung und der Arbeitsdurchführung abhängig. Es empfiehlt sich, die Arbeiten nach Möglichkeit in der Werkstatt auszuführen und das Beschichten vor Ort auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Minimalanforderungen an die Beschichtungen sind zu vereinbaren und Prüfverfahren sowie Abnahmebedingungen festzulegen. Erfahrungsgemäss müssen im Wasserbereich Mindestschichtdicken für organische Beschichtungen von  $> 300 \mu\text{m}$  eingehalten werden.

### **3.3 Galvanische Trennungen**

#### **3.3.1 Prinzip**

Schäden durch Makroelementbildung mit Fremdkathoden können grundsätzlich vermieden werden, indem Teile mit unterschiedlichen Korrosionspotentialen galvanisch voneinander getrennt werden.

Beim klassischen kathodischen Schutz ist eine galvanische Trennung zwischen den zu schützenden Teilen und dem Rest der Anlage notwendig, um ein Abfliessen des Schutzstroms in benachbarte Anlageteile zu verhindern.

#### **3.3.2 Ausführung der galvanischen Trennungen**

Werden galvanische Trennungen vorgenommen, so ist darauf zu achten, dass sie vollständig vom Rest der Anlage getrennt werden.

##### **Isolierende Zwischenlagen und Isolierflansche**

Diese können für alle zugänglichen, kontrollierbaren Auftrennungen ausser den im folgenden Abschnitt «Isolierstücke und isolierende Rohrstücke» geschilderten Sonderfällen eingesetzt werden. Schraubenverbindungen zwischen den aufzutrennenden Teilen sind (vorzugsweise) mittels Kunststoff-Hülsen (für die Schraubendurchführungen) und -Unterlagscheiben zu isolieren. Schrumpfschläuche sind anfällig auf Verletzungen bei der Montage; ihre Verwendung führt deshalb häufig zu hohen Fehlerquoten.

##### **Isolierstücke und isolierende Rohrstücke**

Als Isolierstücke können Rohrstücke aus Kunststoff, Faserzement oder innen und aussen beschichtete Stahlrohre (in Verbindung mit Isolierflanschen) verwendet werden. Ihre Länge muss mindestens fünfmal dem Rohrdurchmesser, mindestens aber 50 cm betragen. Diese Anforderung gilt auch für Isolationsstücke zwischen kathodisch geschützten und nicht kathodisch geschützten Anlageteilen.

##### **Elektrisch angespiesene Teile in abgetrennten Bereichen**

Um die Überbrückung der galvanischen Trennung zwischen metallischen Strukturen über den Schutzleiter zu verhindern, muss der Makroelementstromfluss im Schutzleiter verhindert werden. Dazu stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Trenntransformatoren
- Fehlerstrom-Schutzschalter (FI), eventuell mit sekundärseitiger Sondererde
- Abgrenzeinheiten (Polarisationszellen, antiparallele Dioden)
- Verwendung schutzisolierter Apparate.

Die technischen Ausführungsmöglichkeiten sind in der «Weisung ARA» des Eidg. Starkstrominspektorates ausführlich beschrieben.

##### **Kontrolle**

Galvanische Trennungen sind periodisch zu kontrollieren. Ausserhalb der Wasserkammer liegende Trennungen können mittels elektrischer Widerstandsmessungen sowie Spannungsdifferenzmessung überprüft werden.

Die galvanischen Trennungen innerhalb der Wasserkammer müssen mindestens bei jeder Leerung des Behälters einer visuellen Kontrolle unterzogen werden (Rostspuren können auf eine defekte Isolation hinweisen).

### 3.3.3 Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)

Das Prinzip des kathodischen Schutzes beruht darauf, die anodische Teilreaktion des Korrosionsprozesses, die Metallauflösung, zu verhindern, indem für die Reduktion des Angriffsmittels Sauerstoff «Fremdelektronen» zur Verfügung gestellt werden. Dieser Prozess geschieht beim kathodischen Schutz dadurch, dass die Elektronen über einen Gleichrichter und inerte Anoden oder direkt von Opferanoden her auf den zu schützenden Bauteil geleitet werden und dort das Angriffsmittel  $O_2$  in korrosionsschützende  $OH^-$  umwandeln. Dadurch wird das Potential des zu schützenden Teiles abgesenkt. Die angestrebte Erhöhung des pH Werts (Erhöhung der  $OH^-$  Konzentration) wird bei Teilen aus C-Stahl dann erreicht, wenn an der Phasengrenze Metall/Elektrolyt ein Potential von  $-850\text{ mV}_{\text{CSE}}$  vorliegt.

Eine Voraussetzung für die Anwendbarkeit des kathodischen Korrosionsschutzes ist die durchgehende Längsleitfähigkeit der zu schützenden Struktur und, bei konventioneller Ausführung, die galvanische Trennung zu anderen Metallstrukturen. Falls diese Trennung nicht möglich ist, kann der «lokale» KKS eingesetzt werden.

## 4 Beispiele

Die in den vorangehenden Kapiteln beschriebenen Korrosionsphänomene und mögliche Schutzmassnahmen werden im Folgenden anhand von typischen Beispielen aus der Praxis erläutert.

### 4.1 Mauerdurchführung von Rohrleitungen

Mauerdurchführungen durch Betonmauern sollen mittels Durchführungsstücke aus nichtrostendem Stahl (Werkstoffe mit der Korrosionswiderstandsklasse III), welche beidseitig mit Flanschen versehen sind, realisiert werden. Diese Rohrstücke dürfen keinen Kontakt zur Bewehrung haben. Bestehen die weiterführenden Leitungen aus unlegiertem Stahl oder Guss und sind diese nicht in den Potentialausgleich miteinbezogen (z.B. im Erdboden oder eingetaucht in Wasser), so sind die Flanschverbindungen als Isolierflansche auszubilden.

Bei erdverlegten Durchführungen aus nichtrostenden Stählen ist zwingend eine vollständige Trennung zum Erdreich erforderlich. Diese kann durch Korrosionsschutzbänder erreicht werden.

### 4.2 Rohre im Behälter aus bewehrtem Beton

#### Rohre aus nichtrostenden Stählen

Es sind vorzugsweise Rohre aus austenitischen der Korrosionswiderstandsklasse III zu verwenden. Um ein Verkalken der Oberfläche der Rohre zu vermeiden, ist der Flansch zwischen Mauerdurchführung und Rohr im Behälter als Isolierflansch auszubilden.

#### Rohre aus beschichteten C-Stählen oder aus verzinkten Stählen

Um einen Angriff durch die Makroelementströme auf den Rohren im Behälter zu vermeiden, ist der Flansch zwischen der Mauerdurchführung aus nichtrostendem Stahl und den Rohren als Isolierflansch auszubilden.

#### **Rohre aus Kunststoff**

Rohre aus Kunststoff (z.B. PE) können direkt an den Flansch der Mauerdurchführung aus nichtrostendem Stahl angeschlossen werden.

### **4.3 Elektrische Anlageteile und elektrische Steuerungen auf galvanisch abgetrennten Installationen im Behälterbereich**

Um das Fließen des Makroelementstroms über den PEN-Leiter und den Potentialausgleich zwischen zwei mit einem Isolierflansch galvanisch getrennten Bauteilen zu verhindern, sind:

- Anspeisung der elektrischen Anlage über einen Trenntransformator
- Anspeisung der elektrischen Anlage über einen Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter)
- Anspeisung der elektrischen Anlage über eine Abgrenzeinheit im Schutzleiter.

### **4.4 Armaturen aus Gusseisen in Rohrleitungen aus nichtrostendem Stahl**

Werden in nichtrostende Stahlleitungen Gussarmaturen respektive beschichtete Gussarmaturen eingebaut, so sind diese durch Makroelementbildung gefährdet.

Die Armaturen sind durch Isolierflansche von den nichtrostenden Leitungen galvanisch getrennt und dadurch geschützt einzubauen. Bei elektrisch angetriebenen Armaturen kann der Makroelement-Stromfluss im Schutzleiter durch im Abschnitt 4.3 beschriebenen Massnahmen verhindert werden.