

**DIN EN 17243**

ICS 47.020.30; 77.060

**Kathodischer Schutz der inneren Oberflächen von metallischen Tanks, Strukturen, Ausrüstung und Rohrleitungen die Meerwasser enthalten; Deutsche Fassung EN 17243:2020**

Cathodic protection of internal surfaces of metallic tanks, structures, equipment, and piping containing seawater;

German version EN 17243:2020

Protection cathodique des surfaces internes des réservoirs, ouvrages, équipements et tuyauteries métalliques contenant de l'eau de mer;

Version allemande EN 17243:2020

Gesamtumfang 59 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 17243:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 062-01-78 AA „Kathodischer Korrosionsschutz“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP) verantwortlich.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 15711                      siehe DIN EN ISO 15711

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 15711, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung des Widerstandes gegen kathodische Enthftung von Beschichtungen in Meerwasser*

Deutsche Fassung

## Kathodischer Schutz der inneren Oberflächen von metallischen Tanks, Strukturen, Ausrüstung und Rohrleitungen die Meerwasser enthalten

Cathodic protection of internal surfaces of metallic  
tanks, structures, equipment, and piping containing  
seawater

Protection cathodique des surfaces internes des  
réservoirs, ouvrages, équipements et tuyauteries  
métalliques contenant de l'eau de mer

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 11. November 2019 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

## Inhalt

|                                                                                                                                                              | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                                                                                                                   | 3     |
| Einleitung .....                                                                                                                                             | 4     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                                                                                    | 5     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                                                               | 5     |
| 3 Begriffe .....                                                                                                                                             | 5     |
| 4 Qualifikation des Personals .....                                                                                                                          | 7     |
| 5 Allgemeine Betrachtungen .....                                                                                                                             | 7     |
| 6 Kriterien für den kathodischen Korrosionsschutz .....                                                                                                      | 9     |
| 7 Auslegung .....                                                                                                                                            | 11    |
| 8 Systeme mit galvanischen Anoden .....                                                                                                                      | 18    |
| 9 Fremdstromsysteme .....                                                                                                                                    | 27    |
| 10 Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung .....                                                                                                          | 32    |
| Anhang A (informativ) Umweltcheckliste .....                                                                                                                 | 38    |
| Anhang B (informativ) Leitfaden zu Auslegungswerten des kathodischen Korrosionsschutzes<br>der Innenflächen von mit Meerwasser gefüllten Anlagenteilen ..... | 40    |
| B.1 Typische Auslegung für kathodische Stromdichten .....                                                                                                    | 40    |
| B.2 Beschichtungsreduktionsfaktor von Schutzbeschichtungssystemen .....                                                                                      | 41    |
| Anhang C (informativ) Berechnung der Potentialverteilung innerhalb einer Rohrleitung oder<br>eines Rohrs .....                                               | 42    |
| C.1 Potentialverteilung innerhalb einer Rohrleitung (ohne Berücksichtigung des<br>Anodenwiderstands) .....                                                   | 42    |
| C.2 Potentialverteilung innerhalb einer Rohrleitung (unter Berücksichtigung des<br>Anodenwiderstands) .....                                                  | 43    |
| C.3 Potentialverteilung innerhalb eines Rohrs .....                                                                                                          | 44    |
| Anhang D (informativ) Auslegung von Systemen mit galvanischen Anoden .....                                                                                   | 45    |
| D.1 Gleichungen für den Anodenwiderstand .....                                                                                                               | 45    |
| D.2 Berechnung des Anodenwiderstands am Ende der Nutzungsdauer .....                                                                                         | 46    |
| D.3 Elektrolytlösungswiderstand .....                                                                                                                        | 47    |
| D.4 Stromabgabe galvanischer Anoden .....                                                                                                                    | 49    |
| D.5 Nutzungsdauer der Anoden .....                                                                                                                           | 50    |
| D.6 Anforderung an das Mindestnettogewicht .....                                                                                                             | 50    |
| Anhang E (informativ) Übliche elektrochemische Merkmale von Fremdstromanoden .....                                                                           | 51    |
| Anhang F (informativ) Auslegung von Systemen mit Fremdstromanoden .....                                                                                      | 52    |
| F.1 Kathodischer Korrosionsschutz für die Innenflächen von Tanks .....                                                                                       | 52    |
| F.2 Beurteilung der maximalen Länge einer Stabanode, die in das fließende Wasser<br>hineinreicht und dabei ihre mechanische Festigkeit beibehält .....       | 53    |
| Literaturhinweise .....                                                                                                                                      | 55    |

## **Europäisches Vorwort**

Dieses Dokument (EN 17243:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis September 2020, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2020 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## Einleitung

Metallische Anlagen, die Meerwasser oder Brackwasser enthalten, unterliegen der Korrosionsgefahr. Auch wenn eine Beschichtung zur Reduzierung dieser Gefahr vorhanden ist, wird in der Regel ein kathodischer Korrosionsschutz (en: cathodic protection, CP) verwendet, um während der Auslegungslbensdauer der Anlage eine Korrosionskontrolle sicherzustellen. Besonders wichtig ist dies beim Vorhandensein von galvanischen Kopplungen zwischen unterschiedlichen Metallen und Legierungen, da die Korrosion in diesem Fall in der Hauptsache den weniger edlen Werkstoff betrifft.

Die Funktionsweise des kathodischen Korrosionsschutzes beruht auf einem ausreichend starken Gleichstrom, der auf die Innenfläche der in Kontakt mit Wasser stehenden Anlagen geleitet wird, um die Werte für das Anlage-Elektrolyt-Potential so zu verändern, dass die Korrosionsgeschwindigkeit vernachlässigbar ist.

Allgemeine Grundlagen und theoretische Aspekte des kathodischen Korrosionsschutzes im Meerwasser sind in EN 12473 ausführlich beschrieben.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Anforderungen und Empfehlungen für kathodische Korrosionsschutzsysteme fest, die auf Innenflächen von metallischen Tanks, Anlagen, Anlagenteilen und Rohrleitungen, die naturbelassenes oder behandeltes Meerwasser oder Brackwasser enthalten, angewendet werden, um dort einen wirksamen Korrosionsschutz zu bieten.

Der kathodische Korrosionsschutz von Frischwassersystemen fällt nicht in den Anwendungsbereich dieses Dokuments. Dies wird von EN 12499 abgedeckt.

ANMERKUNG EN 12499 enthält Informationen zum kathodischen Korrosionsschutz von Innenflächen in allen Arten von Wasser, einschließlich allgemeiner Aspekte für Meerwasser, jedoch ausschließlich industrieller Kühlwassersysteme. Dieses Dokument beschreibt gezielt Anwendungen in Meerwasser und Brackwasser.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 12473, *Allgemeine Grundsätze des kathodischen Korrosionsschutzes in Meerwasser*

EN 12496, *Galvanische Anoden für den kathodischen Schutz in Seewasser und salzhaltigem Schlamm*

EN 12499, *Kathodischer Korrosionsschutz für die Innenflächen von metallischen Anlagen*

EN 13509, *Messverfahren für den kathodischen Korrosionsschutz*

EN ISO 8044, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Grundbegriffe (ISO 8044)*

EN ISO 9606-1, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 1: Stähle (ISO 9606-1)*

EN ISO 15257, *Kathodischer Korrosionsschutz — Qualifikationsgrade von mit kathodischem Korrosionsschutz befassten Personen — Grundlage für ein Zertifizierungsverfahren (ISO 15257)*

EN ISO 15607, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Allgemeine Regeln (ISO 15607)*

EN ISO 15609-1, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 1: Lichtbogenschweißen (ISO 15609-1)*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 12473 und EN ISO 8044 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

### 3.1

#### Anodenredundanzfaktor

Multiplikator, der auf die theoretische Anzahl von Anoden angewendet wird, die erforderlich ist, um bei Beschädigungen oder Ausfällen von einer oder mehrerer Anoden den Korrosionsschutz zu erhalten, ohne dass das Stückgewicht der Anoden verändert wird

**3.2  
gegenelektromotorische Kraft  
(Gegen-EMK)**  
Überspannungen, die bei Betriebsbedingungen an den Grenzflächen zwischen Anode und Kathode entstehen

**3.3  
kathodischer Korrosionsschutzbereich**  
Teil der Anlage, der hinsichtlich des kathodischen Korrosionsschutzes separat betrachtet werden kann

**3.4  
Beschichtungsreduktionsfaktor**

$f_c$   
Verhältnis der kathodischen Stromdichte eines beschichteten metallischen Werkstoffs zur kathodischen Stromdichte des Werkstoffs ohne Beschichtung

**3.5  
kritisches Spaltpotential**  
Potential, das positiver ist als das Potential, bei dem für eine bestimmte Umgebung und Spaltgeometrie die Gefahr des Beginns einer Spaltkorrosion besteht

**3.6  
Treibpotential**  
Differenz zwischen dem Anlage-Elektrolyt-Potential und dem Anode-Elektrolyt-Potential, wenn der kathodische Korrosionsschutz in Betrieb ist

**3.7  
Überschutz**  
Ereignis, bei dem die Anlage-Elektrolyt-Potentiale negativer sind als für einen zufriedenstellenden kathodischen Korrosionsschutz nötig

Anmerkung 1 zum Begriff: Überschutz hat keine sinnvolle Funktion und kann aufgrund einer Wasserstoffversprödung empfindlicher Werkstoffe oder Ablösung der Beschichtung sogar Beschädigungen der Anlage, z. B. Rissbildung, hervorrufen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wird häufig inkorrekt als „übermäßiger Schutz“ bezeichnet.

**3.8  
Freiraumfaktor**  
 $u_f$   
Verhältnis der Oberfläche eines Ballasttanks, die in Kontakt mit Wasser stehen kann, zur gesamten Oberfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn die gesamte Oberfläche benetzt werden kann, gilt  $u_f = 1$ .

**3.9  
Benetzungsfaktor**  
 $k$   
Bruchteil der Auslegungslbensdauer der Anlage, während dem die Innenflächen eines Tanks oder einer Anlage in Kontakt mit Wasser stehen

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn der Tank dauerhaft mit Wasser gefüllt ist, gilt  $k = 1$ .

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei wechselnden Bedingungen kann ein Durchschnittswert verwendet werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Wird auch als Beladungsfaktor bezeichnet, siehe Literaturhinweis [1].

### 3.10

#### **Wasserstoffversprödung**

Vorgang, bei dem die Aufnahme von Wasserstoff zu einer Verminderung der Zähigkeit oder Duktilität eines Metalls führt

### 3.11

#### **wasserstoffinduzierte Spannungsrissbildung**

##### **WSR**

Rissbildung aufgrund von in einem Metall vorhandenen Wasserstoff sowie Zugspannung (Eigen- und/oder aufgebrachte Spannung)

Anmerkung 1 zum Begriff: WSR beschreibt die Rissbildung in Metallen, die durch Wasserstoff, der durch kathodische Polarisation entsteht, verspröden kann, wobei nachteilige Auswirkungen durch bestimmte Chemikalien, z. B. Sulfide, nicht auftreten.

## 4 Qualifikation des Personals

Das Personal, das für Planung, Beaufsichtigung der Installation, Inbetriebnahme, Beaufsichtigung des Betriebs, Messungen, Überwachung sowie die Beaufsichtigung der Wartung von kathodischen Korrosionsschutzsystemen zuständig ist, muss für die durchzuführenden Aufgaben angemessen qualifiziert sein. Diese Qualifikation sollte von unabhängigen Personen bewertet und dokumentiert werden.

EN ISO 15257 legt ein geeignetes Verfahren zur Beurteilung und Zertifizierung der Qualifikation von Personal für den kathodischen Korrosionsschutz fest.

Die für die durchgeführten Aufgaben angemessene Qualifikation von Personal für den kathodischen Korrosionsschutz sollte durch eine Zertifizierung in Übereinstimmung mit EN ISO 15257 oder durch ein anderes, gleichwertiges Präqualifikationsverfahren nachgewiesen werden.

## 5 Allgemeine Betrachtungen

### 5.1 Zu schützende Anlagen und Anlagenteile

Dieses Dokument gilt für die Einbauten von beliebigen metallischen Tanks, Anlagen, Anlagenteilen und Rohrleitungen. Beispiele dafür sind Ballasttanks, über- oder unterirdische Lagertanks einschließlich Löschwassertanks, Filter, wie z. B. Kiesfilter, Wärmetauscher und Kondensatoren, geflutete Bereiche von Hafen- und Schleusentoren sowie Küstenschutzbauten, Dalben und Fundamente von Offshore-Windkraftanlagen.

Dieses Dokument gilt für unter Wasser liegende Außenbereiche von Zubehörteilen und anderen, innerhalb von Tanks angebrachten, autarken Anlagenteilen, wie Pumpen und Rohrleitungen, wenn diese nicht elektrisch von der Anlage getrennt sind. Wenn dieses Dokument auf Tanks angewendet wird, müssen Anlagenteile im Innern, die feste Bestandteile des Tanks sind, wie Versteifungen, ebenfalls berücksichtigt werden.

Dieses Dokument gilt außerdem für den kathodischen Korrosionsschutz des Inneren von Rohrleitungen für Meerwasser oder Brackwasser, einschließlich Armaturen, Pumpen und Formstücken. In solchen Anwendungsfällen sind zusätzliche Betrachtungen hinsichtlich der Auslegung und der Montage des kathodischen Korrosionsschutzsystems erforderlich.

Dieses Dokument gilt auch für vorübergehend eingesetzte kathodische Korrosionsschutzsysteme, die zum Schutz vor Korrosion durch Meerwasser oder Brackwasser verwendet werden, wenn Anlagen einer hydrostatischen Druckprüfung unterzogen werden (siehe 7.3.4) und wenn gefüllte Tanks oder andere Anlagenteile vor Inbetriebnahme und Betrieb gelagert werden.

## **5.2 Werkstoffe**

Dieses Dokument gilt für den kathodischen Korrosionsschutz von Anlagen, die aus kohlenstoffarmem Stahl, Kohlenstoff-Mangan-Stahl oder Gusseisen hergestellt sind oder diese Werkstoffe enthalten. Dieses Dokument gilt für beschichtete und unbeschichtete Anlagen.

Dieses Dokument gilt außerdem für den kathodischen Korrosionsschutz von Anlagen, die aus nichtrostenden Stählen, Nickellegierungen, Kupferlegierungen oder Titanlegierungen hergestellt sind oder diese Werkstoffe enthalten. Dieses Dokument gilt für beschichtete und unbeschichtete Anlagen.

Die im vorliegenden Dokument beschriebenen Anforderungen und Empfehlungen für die kathodischen Korrosionsschutzsysteme sind dazu bestimmt, die Kontrolle aller galvanischen Kopplungen sicherzustellen, die durch die Verwendung von verschiedenen metallischen Werkstoffen verursacht werden könnten, und die Gefahren aufgrund von Wasserstoffversprödung oder wasserstoffinduzierter Spannungsrissbildung (siehe EN 12473) zu minimieren.

## **5.3 Umgebung**

Dieses Dokument gilt nur für Anlagen, die Meerwasser oder Brackwasser enthalten. Das Meerwasser kann entweder naturbelassen oder behandelt sein (z. B. mit Chlorierungsanlagen), um das Fouling von Rohrleitungen zu verhindern oder die Biodiversität aufrechtzuerhalten, wenn Ballasttanks von Schiffen in verschiedenen Teilen der Welt befüllt und entleert werden, siehe Literaturhinweis [2]. Besondere Anforderungen können für Anlagen gelten, die verschmutztes Meerwasser oder andere Flüssigkeiten enthalten, z. B. Altöltanks.

Bei Oberflächen, die abwechselnd in Wasser getaucht und der Atmosphäre ausgesetzt sind, ist der kathodische Korrosionsschutz nur wirksam, wenn die Anlage in Wasser getaucht und die Tauchzeit ausreichend lang ist, um die Polarisation des Metalls aufrechtzuerhalten.

## **5.4 Sicherheit und Umweltschutz**

### **5.4.1 Allgemeines**

Dieses Dokument enthält keine Informationen zu routinemäßigen Sicherheits- und Umweltschutzmaßnahmen, die nicht speziell im Zusammenhang mit dem kathodischen Korrosionsschutz stehen. Sicherheitstechnische Anforderungen, die speziell für die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes innerhalb des Anwendungsbereichs des vorliegenden Dokuments gelten, sind enthalten.

Eine Umweltcheckliste ist in Anhang A enthalten.

Bei kathodischen Korrosionsschutzsystemen mit Fremdstromsystemen (ICCP-Systeme; en: impressed current cathodic protection systems) muss das angelegte Potential automatisch gesteuert werden (siehe Unterabschnitt 9.1). Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um Funkenbildung zu verhindern, falls die Anode unter Spannung gesetzt wird, während sie sich oberhalb des Füllstands befindet. Anzuwendende Verfahren können die Positionierung der Anode umfassen, sodass sichergestellt wird, dass sie sich jederzeit unter Wasser befindet, und/oder die Anwendung eines Notabschaltungsverfahrens, bei dem die Gleichstromversorgung vollständig abgeschaltet wird, falls sich die Anode vorübergehend nicht unter Wasser befindet.

Der Einsatz von Fremdstromsystemen und einigen galvanischen Anoden kann für einige Anwendungen untersagt sein, beispielsweise wenn sich in der Nähe Tanks befinden, die Kohlenwasserstoffe enthalten (siehe Unterabschnitt 8.5).

#### 5.4.2 Entstehung gefährlicher Gase

Durch den kathodischen Korrosionsschutz entsteht gasförmiger Wasserstoff, und Sauerstoff und Chlor können entstehen. Einige Sauerstoff-Wasserstoff-Gemische sind explosiv; Chlor kann giftig und korrosiv sein.

Bei Auslegung und Betrieb der kathodischen Korrosionsschutzsysteme müssen diese Gefahren berücksichtigt werden, damit sichergestellt ist, dass keine schädlichen und gefährlichen Gasansammlungen entstehen können. Dies kann die Potentialsteuerung und/oder den Einsatz von Belüftungsanlagen umfassen.

Bei galvanischen Anoden sollte der Legierungswerkstoff so ausgewählt werden, dass die Gefahr minimiert wird.

#### 5.4.3 Freisetzung von Wasserstoffgas

Bei Fremdstromsystemen und galvanischen Anoden (insbesondere Magnesiumanoden) verursacht die Polarisation die Entstehung von gasförmigem Wasserstoff an der geschützten Anlage. Aus diesem Grund kann bei geschlossenen Tanks oder in ähnlichen Situationen, bei denen sich Wasserstoff ansammeln kann, Explosionsgefahr bestehen. Zur Minderung dieser Gefährdung müssen alle Auslegungen eine Belüftung aufweisen, damit die Ansammlung eines signifikanten Gasvolumens an Wasserstoff verhindert wird. Die Gaskonzentrationen sollten überwacht werden.

Die Entstehungsrate für Wasserstoff ist abhängig vom Anlage-Elektrolyt-Potential. Dort, wo die Entstehung von Wasserstoff eine Explosionsgefahr verursachen kann, muss das Anlage-Elektrolyt-Potential durch die Auslegung oder durch Steuerung begrenzt werden.

#### 5.4.4 Entstehung von Chlor

Bei kathodischen Korrosionsschutzsystemen mit Fremdstromsystemen, die in Meerwasser und Brackwasser betrieben werden, verursacht eine der anodischen Reaktionen die Entstehung von Chlor. Dies kann körperliche Beschwerden oder nachgelagerte Korrosionserscheinungen auslösen.

ANMERKUNG Angaben zu toxischen Mengen können den Literaturhinweisen [3] und [4] entnommen werden.

Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Chlorbildung und dem Betriebspotential sowie den Werkstoffen des ICCP-Systems. Um die Chlorbildung einzuschränken, kann während der Auslegungsphase eine kleinere Anodenstromdichte gewählt werden.

#### 5.4.5 Zugang und Entleeren

Vor dem Öffnen einer geschlossenen Anlage muss das ICCP-System abgeschaltet werden. Bei galvanischen Systemen und ICCP-Systemen müssen die eingeschlossenen Gaskonzentrationen für ungefährlich erklärt werden.

### 6 Kriterien für den kathodischen Korrosionsschutz

#### 6.1 Allgemeines

Die Kriterien für den kathodischen Korrosionsschutz müssen mit EN 12473 übereinstimmen. Die Kriterien beruhen auf dem Anlage-Elektrolyt-Potential, und die verwendeten Messverfahren müssen sicherstellen, dass eine präzise Messung erfolgt (siehe Unterabschnitt 10.2).

Wenn verschiedene Metalle und Legierungen eine elektrische Längsleitfähigkeit verursachen, muss das Schutzpotential das negativste sein, damit die galvanische Korrosion des am wenigsten edlen Werkstoffs vermieden wird.

Ein negativer Grenzwert für das Potential kann in Abhängigkeit vom Metallwerkstoff erforderlich sein, um eine Ablösung der Beschichtung (siehe ISO 15711) [5] und/oder nachteilige Auswirkungen aufgrund der Entstehung von Wasserstoff oder eines hohen pH-Werts zu vermeiden.

Die Kriterien für das Potential und die Grenzwerte werden ohne IR-Fehler ausgedrückt. IR-Fehler aufgrund von kathodischen Schutzströmen, die durch Elektrolytlösungen mit hohem Widerstand und Oberflächenfilme auf der geschützten Oberfläche fließen, sind in maritimen Anwendungen im Allgemeinen vernachlässigbar. Jedoch können in Anwendungen, die in diesem Dokument beschrieben werden, Potentialmessungen unter Verwendung von Sofort-Stopp-Verfahren oder Verfahren für einen Sofort-Stopp von Kupons erforderlich sein, um das Erreichen der Schutzkriterien angemessen nachzuweisen (siehe EN 13509). Besondere Aufmerksamkeit sollte diesem Punkt bei Anwendungen in Brackwasser und Sedimentablagerungen oder in der Nähe von Fremdstromanoden gewidmet werden.

Die aufgrund von unterschiedlichem Salzgehalt möglichen Fehler müssen berücksichtigt werden, wenn eine Ag/AgCl/Meerwasser-Bezugselektrode verwendet wird (siehe EN 12473).

## **6.2 Unlegierte und niedriglegierte Stähle**

Um den Schutz von unlegierten und niedriglegierten Stählen in belüftetem Meerwasser sicherzustellen, muss ein Schutzpotential mit einem negativeren Wert als  $-0,80\text{ V}$  in Bezug auf (bzgl.) Ag/AgCl/Meerwasser erreicht werden. Dies entspricht etwa  $+0,23\text{ V}$  bei Messung in Bezug auf eine Reinzinkelektrode (z. B. Legierungstyp Z2 nach EN 12496) oder  $+0,25\text{ V}$  bei Messung in Bezug auf eine Zinkelektrode hergestellt aus Legierung Z1, Z3 oder Z4 für galvanische Anoden nach EN 12496.

Bei Wassertemperaturen oder Oberflächentemperaturen des Stahls höher als  $60\text{ °C}$  muss das Kriterium  $-0,90\text{ V}$  bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser sein. Bei Temperaturen zwischen  $40\text{ °C}$  und  $60\text{ °C}$  muss das Schutzpotential zwischen  $-0,80\text{ V}$  und  $-0,90\text{ V}$  bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser interpoliert werden.

Bei Tanks und Anlagen, die Meerwasser oder Brackwasser enthalten und bei denen der Elektrolyt nicht häufig (z. B. seltener als einmal im Monat) ausgetauscht wird, muss, unabhängig von der Temperatur, das Kriterium für anaerobe Bedingungen, d. h.  $-0,90\text{ V}$  bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser, gelten.

## **6.3 Nichtrostende Stähle und Nickellegierungen**

In chlorhaltigen, belüfteten Umgebungen wie z. B. naturbelassenem Meerwasser und Brackwasser halten nichtrostende Stähle bekanntermaßen gleichmäßiger Flächenkorrosion stand, sodass die Möglichkeit von Spaltkorrosion und Lochkorrosion das Hauptproblem bleibt. Um den Schutz solcher Legierungen in diesen Umgebungen sicherzustellen, gelten die Schutzpotentiale nach EN 12473, d. h.  $-0,30\text{ V}$  bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser für nichtrostende Stähle mit  $\text{PREN} \geq 40$  und  $-0,50\text{ V}$  bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser für nichtrostende Stähle mit  $\text{PREN} < 40$ .

Es können jedoch auch weniger konservative Kriterien angewendet werden, vorausgesetzt, diese sind begründet und dokumentiert. In diesem Fall müssen die ausgewählten Schutzpotentiale negativer sein als das kritische Spaltpotential, das für die Kombination einer bestimmten Legierung (PREN, Mikrostruktur usw.), für Spaltparameter (Geometrie, Oberflächenbeschichtung, Dichtungstypen, Dichtungsdruck von Flanschen usw.) und für Betriebsumgebungsbedingungen (Zusammensetzung, Temperatur, Geschwindigkeit usw.) bestimmt wurde.

Die Bestimmung des kritischen Spaltpotentials muss auf der Grundlage von nachgewiesenen Rückmeldungen aus dem Betrieb und/oder Laborprüfungen erfolgen, die für die vorgesehenen Betriebsbedingungen relevant sind. Wenn für eine bestimmte Praxissituation kein geeigneteres Verfahren existiert, sollten die in den Literaturhinweisen [6], [7], [8] beschriebenen Verfahren angewendet werden.

Im Fall von galvanischen Kopplungen zwischen Teilen aus nichtrostendem Stahl oder Nickellegierungen und Teilen aus unlegiertem und niedriglegiertem Stahl muss das Schutzpotentialkriterium des unlegierten und des niedriglegierten Stahls negativer sein als  $-0,80\text{ V}$  bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser.

Bei chlorhaltigem Meerwasser sind die empfohlenen Schutzpotentialkriterien für nichtrostende Stähle und Nickellegierungen die gleichen wie bei naturbelassenem Meerwasser, die Schutzstromdichten können jedoch geringer sein (siehe Absatz 7.2.7).

## 6.4 Gefahr der Rissbildung durch Überschutz

Wenn für hochfeste Stähle oder andere Metalle, die durch den kathodischen Korrosionsschutz mit stark negativen Werten beeinträchtigt werden können, die Gefahr von Wasserstoffversprödung oder WSR besteht, muss ein weniger negativer Potentialgrenzwert definiert und angewendet werden. Falls für einen bestimmten Werkstoff keine ausreichenden Informationen vorliegen, muss dieser spezifische Potentialgrenzwert in Abhängigkeit von den metallurgischen und mechanischen Bedingungen durch Prüfung bestimmt werden. Weitere Informationen siehe EN 12473.

Für unlegierte und niedriglegierte Stähle wird ein negativer Potentialgrenzwert von  $-1,10\text{ V}$  bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser empfohlen, um die kathodische Enthaftung zu minimieren. Weitere negative Potentialgrenzwerte müssen angewendet werden, um eine WSR von gefährdeten Metallzusammensetzungen zu vermeiden (siehe EN 12473).

Bei nichtrostenden Stählen und Nickellegierungen können ferritische und martensitische Mikrostrukturen einer Wasserstoffversprödung unterliegen, wenn die Potentiale zu negativ sind. Potentiale, die negativer sind als die jeweiligen Grenzwerte, sollten vermieden werden. EN 12473 enthält Informationen dazu und Empfehlungen für die Qualifizierung der Werkstoffe.

Für Titan und Titanlegierungen besteht in Anwendungen mit kathodischem Korrosionsschutz die Gefahr der Titanhydridbildung. Dieses Hydrid kann Risse verursachen, wenn kritische Spannungen auftreten.

Die Einlassrohre von Wärmetauschern sind aufgrund ihrer Bauweise einer hohen mechanischen Spannung ausgesetzt. Beim Verpressen der Rohre von Wärmetauschern in die Rohrbleche können die Rohre hohen Restspannungen unterliegen. Rohre aus Grad-2-Titan sollten nicht einem negativeren Potential als  $-0,75\text{ V}$  bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser [9] ausgesetzt sein, wobei in der Literatur einige konservativere Werte zu finden sind, siehe Literaturhinweise [10], [11], z. B.  $-0,70\text{ V}$  [12] und sogar  $-0,65\text{ V}$  [13].

Dieser konservative Ansatz kann durch andere Kriterien ersetzt werden, vorausgesetzt, dass diese durch eine Bewertung begründet und dokumentiert sind, damit sichergestellt ist, dass das Risiko annehmbar ist. Die Bewertung muss alle Lastbeiträge berücksichtigen, die Spannungen und Dehnungen verursachen. In jedem Fall darf das Potential des Titans nicht negativer sein als  $-1,00\text{ V}$  bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser, wie in EN 12499 festgelegt und in der Literatur dokumentiert, siehe Literaturhinweis [9].

Für andere Anwendungen mit geringeren Spannungen und Dehnungen, z. B. Röhrchenplatten, ist ein negativer Grenzwert von  $-1,05\text{ V}$  bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser ausreichend konservativ, siehe Literaturhinweis [14].

## 7 Auslegung

### 7.1 Allgemeine Betrachtungen

Das Ziel eines kathodischen Korrosionsschutzsystems ist es, alle Teile der Innenflächen metallischer Tanks und Anlagen, einschließlich verbundener Anlagenteile, ausreichend mit Strom zu versorgen, damit die Schutzkriterien nach Abschnitt 6 erreicht werden. Der Strom sollte dabei so verteilt werden, dass das Anlage-Elektrolyt-Potential jedes Teils unter normalen Betriebsbedingungen innerhalb der durch die Schutzkriterien gegebenen Grenzwerte liegt (siehe Abschnitt 6). Es sollten Dauerbezugselektroden installiert werden, um Potentialmessungen an ausgewählten Stellen zu ermöglichen.

Möglicherweise kann es für einige Bereiche oder Teile von Anlagen schwierig sein, gleiche Niveaus kathodischen Korrosionsschutzes zu erreichen. In diesem Fall wird die Verwendung von in abgeschirmten Bereichen installierten Bezugselektroden empfohlen, insbesondere zur Unterstützung der Inbetriebnahme. Ein kathodisches Korrosionsschutzsystem für Tanks und Anlagen wird i. d. R. kombiniert mit einer Schutzbeschichtung, auch wenn einige Anlagenteile wie z. B. Pumpen und kleine Rohre möglicherweise nicht beschichtet sein können. Eine wirksame Beschichtung wird insbesondere empfohlen, wenn Temperatur und/oder Fließgeschwindigkeit des Wassers hoch sind, wie z. B. in Rohrleitungssystemen oder Kühlwasserbehältern von Wärmetauschern.

Wenn keine Anweisungen zur Auslegungslbensdauer des kathodischen Korrosionsschutzsystems vorliegen, muss es entweder für die Auslegungslbensdauer ausgelegt werden oder für einen Zeitraum, der einer geplanten Instandhaltung entspricht, wie z. B. dem Trockendockintervall bei Ballasttanks von Schiffen oder schwimmenden Offshore-Bauwerken. Wenn eine Auslegung des kathodischen Korrosionsschutzsystems für die Auslegungslbensdauer der Anlage nicht machbar oder eine geplante Instandhaltung nicht möglich ist, sollte das System so ausgelegt sein, dass die Bauteile des kathodischen Korrosionsschutzes leicht ausgetauscht werden können. Wartungsöffnungen für den Austausch von Anoden und Bezugselektroden, z. B. bei Rohrleitungssystemen, können in Betracht gezogen werden.

Bei voraussichtlich geringen Strombedarfen über die gesamte Auslegungslbensdauer der Anlage kann der kathodische Korrosionsschutz mit galvanischen Anoden umgesetzt werden. Fremdstromsysteme werden i. d. R. in anderen Situationen eingesetzt, wie bei höherem Strombedarf, zeitweisem Korrosionsschutz von großen, Meerwasser oder Brackwasser enthaltenden Anlagenteilen während hydrostatischer Druckprüfungen, für Rohrleitungssysteme oder Kühlwasserbehälter von großen Wärmetauschern.

Jede Phase der Auslegung, Montage, Aktivierung, Inbetriebnahme und des Langzeitbetriebs sowie die Aufzeichnungen aller Elemente von kathodischen Korrosionsschutzsystemen müssen dokumentiert und aufbewahrt werden.

Jede Teilaufgabe sollte in Übereinstimmung mit einem Qualitätsplan durchgeführt werden.

ANMERKUNG EN ISO 9001 [15] ist eine geeignete Norm zu Qualitätsmanagementsystemen.

Alle Prüfgeräte müssen über gültige Kalibrierscheine verfügen, die auf nationalen oder Europäischen Normen zur Kalibrierung beruhen.

Die gesamte oben geforderte Dokumentation muss Teil der dauerhaften Aufzeichnungen sein.

## **7.2 Auslegungsparameter**

### **7.2.1 Allgemeines**

Bei der Auslegung eines kathodischen Korrosionsschutzsystems müssen folgende Schritte durchlaufen werden:

- a) Bestimmung der beschichteten und unbeschichteten Bereiche, die dem Wasser ausgesetzt sind;
- b) Bestimmung der maximalen und mittleren Strombedarfe für jeden der ermittelten Bereiche unter Berücksichtigung von Temperatur und Fließgeschwindigkeit des Wassers;
- c) Bestimmung der Art des kathodischen Korrosionsschutzsystems (galvanisch, mit Fremdstrom oder hybrid);
- d) Bestimmung der Größe, Form und Anzahl von Anoden, deren Haltbarkeit der Auslegungslbensdauer des kathodischen Korrosionsschutzsystems zu entsprechen hat und mit denen die erforderliche Stromverteilung erreicht und alle Beschränkungen der Anlage berücksichtigt werden können;
- e) Bestimmung der Positionen für die Anoden und deren Montage;
- f) Bestimmung der Arten von Bezugselektroden, deren Positionen und deren Montage.

Für die Auslegung eines kathodischen Korrosionsschutzsystems muss nachgewiesen werden, dass jede Teilanlage mit dem kathodischen Schutzstrom versorgt wird, der erforderlich ist, um einen kathodischen Korrosionsschutz zu bewirken und die Kriterien nach Abschnitt 6 unter allen Betriebsbedingungen zu erfüllen.

Bei der Anordnung der Anoden müssen die Positionen von Grenzflächen zwischen unterschiedlichen Metallwerkstoffen berücksichtigt werden.

Es müssen zwei Werte betrachtet werden:

- $I_{\max}$ : maximaler Strombedarf, der den härtesten Betriebsbedingungen zugeordnet wird (z. B. Beschichtungsreduktionsfaktor am Ende der Nutzungsdauer und maximale Oberflächen, maximale Wassertemperatur und Fließgeschwindigkeit) und für die Auslegung des vom kathodischen Korrosionsschutzsystem bereitzustellenden maximalen Stroms herangezogen wird;
- $I_{\text{mean}}$ : mittlerer Strombedarf, der für die Berechnung der Mindestmasse an galvanischem Anodenwerkstoff oder der für die Aufrechterhaltung des kathodischen Korrosionsschutzes über die Auslegungslbensdauer erforderlichen Nutzungsdauer der Fremdstromanoden verwendet wird.

Um die Auslegung zu optimieren, sollte Folgendes festgelegt werden:

- Maximal- und Mindestwiderstand, -temperatur und -fließgeschwindigkeit des Wassers;
- Auslegungslbensdauer des kathodischen Korrosionsschutzsystems;
- Anfangsstromdichte, die erforderlich ist, um die anfängliche Polarisation der Anlage  $j_i$  zu erreichen;
- Erhaltungsstromdichte, die erforderlich ist, um die Polarisation der Anlage  $j_m$  aufrechtzuerhalten;
- mittlerer Beschichtungsreduktionsfaktor  $f_{\text{cm}}$ ;
- finaler Beschichtungsreduktionsfaktor  $f_{\text{cf}}$ .

ANMERKUNG Da die Dauer der anfänglichen Polarisation vor dem stabilen Zustand i. d. R. kurz ist im Vergleich zur Auslegungslbensdauer der Anlage, liegen die Werte der mittleren Stromdichte über die Auslegungslbensdauer der Anlage und der Erhaltungsstromdichte meist sehr nah beieinander.

Richtwerte für Erhaltungs- und Anfangsschutzstromdichten sowie mittlere und finale Beschichtungsreduktionsfaktoren herkömmlicher Beschichtungen finden sich in Anhang B.

Die Einheiten müssen in den nachfolgenden Berechnungen konsistent weiterverwendet werden und dem gegenwärtigen Stand der Technik entsprechen.

### 7.2.2 Unterteilung der zu schützenden Oberflächen

Die zu schützenden Anlagenteile sollten in verschiedene kathodische Korrosionsschutzbereiche unterteilt werden, damit eine gute Stromverteilung sichergestellt ist; diese Bereiche können hinsichtlich der Auslegung des kathodischen Korrosionsschutzes separat betrachtet werden, obwohl sie nicht notwendigerweise elektrisch voneinander getrennt sein brauchen.

ANMERKUNG Komplexe Geometrien, wie sie z. B. aufgrund von Versteifungen auf Böden von Ballasttanks zu finden sind, stellen ein typisches Beispiel dar.

Jeder kathodische Korrosionsschutzbereich darf aus mehreren Bauteilen bestehen, deren Parameter bestimmt werden sollten, darunter Werkstoff (Stahl, Gusseisen usw.), Oberfläche und ggf. Beschichtungsmerkmale (Art, Nutzungsdauer und Beschichtungsreduktionsfaktor).

### 7.2.3 Bei Berechnungen zu berücksichtigende effektive Oberflächen

Alle mit Wasser benetzten Oberflächen müssen in die Auslegung des kathodischen Korrosionsschutzsystems einbezogen werden. Zur Bestimmung der Oberflächen sollten vorzugsweise computerunterstützte Systeme eingesetzt werden.

Die maximale Oberfläche ( $S_{\max}$ ) wird als Grundlage für die Berechnung des maximalen Strombedarfs verwendet und umfasst flache Oberflächen sowie Stützstrukturen wie T-Träger, Lamellen, Rohrleitungen usw. In jedem Fall umfasst sie die Fläche an der Oberseite des Tanks oder der Anlage.

Bei Tanks mit unterschiedlichen Ebenen (z. B. Ballasttanks) müssen zwei weitere Faktoren berücksichtigt werden. Erstens der Freiraumfaktor ( $u_f$ ) der den maximalen Anteil der Tankoberfläche definiert, der benetzt werden soll und zweitens der Benetzungsfaktor ( $k$ ) der bestimmt für welchen Anteil der Nutzungsdauer die Oberflächen benetzt werden. Mit diesen zwei Faktoren lässt sich die mittlere Oberfläche ( $S_{\text{mean}}$ ) berechnen und der mittlere Strombedarf für Tanks mit unterschiedlichen Ebenen bestimmen. Die mittlere Oberfläche ist die maximale Oberfläche ( $S_{\max}$ ) multipliziert mit einem Freiraumfaktor ( $u_f$ ) und einem Benetzungsfaktor ( $k$ ).

$$S_{\text{mean}} = S_{\max} \cdot u_f \cdot k \quad (1)$$

Bei Wasserbehältern von Wärmetauschern fließt, bezogen auf deren beschichtete Stahloberfläche, der Hauptteil des Schutzstroms durch die Rohrböden, die i. d. R. aus unbeschichteter Kupferlegierung, Titan oder nichtrostendem Stahl bestehenden. Der Stromfluss durch die Rohre des Wärmetauschers muss ebenfalls berücksichtigt werden.

## 7.2.4 Berechnung des Strombedarfs beschichteter Oberflächen

### 7.2.4.1 Maximaler Strombedarf

Der maximale Strombedarf  $I_{\max c}$  wird wie folgt berechnet:

$$I_{\max c} = S_{\max c} \cdot f_{cf} \cdot j_m \quad (2)$$

Dabei ist

$S_{\max c}$  die maximale benetzte, beschichtete Oberfläche;

$f_{cf}$  der finale Beschichtungsreduktionsfaktor;

$j_m$  die Erhaltungsschutzstromdichte von unbeschichtetem Metall unter den hinsichtlich Temperatur und Fließgeschwindigkeit härtesten Bedingungen.

### 7.2.4.2 Mittlerer Strombedarf

Der mittlere Strombedarf  $I_{\text{mean } c}$  wird wie folgt berechnet:

$$I_{\text{mean } c} = S_{\text{mean } c} \cdot f_{cm} \cdot j_m \quad (3)$$

Dabei ist

$S_{\text{mean } c}$  die mittlere benetzte, beschichtete Oberfläche;

$f_{cm}$  der mittlere Beschichtungsreduktionsfaktor;

$j_m$  die Erhaltungsschutzstromdichte von unbeschichtetem Metall.

## 7.2.5 Berechnung des Strombedarfs unbeschichteter Oberflächen

### 7.2.5.1 Maximaler Strombedarf

Der maximale Strombedarf  $I_{\max b}$  wird wie folgt berechnet:

$$I_{\max b} = S_{\max b} \cdot j_i \quad (4)$$

Dabei ist

$S_{\max b}$  die maximale unbeschichtete Oberfläche;

$j_i$  die Anfangsschutzstromdichte von unbeschichtetem Stahl unter den hinsichtlich Temperatur und Fließgeschwindigkeit härtesten Bedingungen.

### 7.2.5.2 Mittlerer Strombedarf

Der mittlere Strombedarf  $I_{\text{mean } b}$  wird wie folgt berechnet:

$$I_{\text{mean } b} = S_{\text{mean } b} \cdot j_m \quad (5)$$

Dabei ist

$S_{\text{mean } b}$  die mittlere benetzte, unbeschichtete Oberfläche;

$j_m$  die Erhaltungsschutzstromdichte von unbeschichtetem Metall.

ANMERKUNG Bei geschlossenen Behältern entspricht der finale Strombedarf für die Repolarisation häufig dem Erhaltungsstrombedarf.

## 7.2.6 Schutzstromdichte für unbeschichtete unlegierte oder niedriglegierte Stähle

Die für unbeschichtete unlegierte oder niedriglegierte Stähle erforderliche Schutzstromdichte ist abhängig von Betriebstemperatur, Fließrate (Fließgeschwindigkeit des Wassers) und dem Gehalt an gelöstem Sauerstoff; diese Faktoren können sich auf komplexe Weise gegenseitig beeinflussen (siehe die Kommentare zur Auswirkung von Umweltfaktoren auf den Strombedarf in EN 12473).

Bei hohen Fließgeschwindigkeiten des Wassers findet der Sauerstofftransport zur Oberfläche mit erhöhter Geschwindigkeit statt, was einen erhöhten Schutzstrombedarf zur Folge hat.

Wenn der Gehalt an gelöstem Sauerstoff geringer als üblich ist (z. B. aufgrund einer Umwandlung des Sauerstoffs durch die kathodische Reaktion in Systemen mit geringem Wasserdurchsatz wie innerhalb von gefluteten Bauteilen), darf die Stromdichte reduziert werden.

Bei niedrigen Temperaturen (typischerweise weniger als 5 °C) und/oder hohen Fließgeschwindigkeiten (typischerweise größer als 10 m · s<sup>-1</sup>) tritt die Entstehung von Kalkschichten nur begrenzt auf, weshalb hohe Erhaltungsstromdichten erforderlich sind.

Leitlinien für erforderliche Schutzstromdichten finden sich in B.1.

Wenn keine spezifischen Daten vorliegen, darf der kathodische Schutzstrombedarf für andere Metalle und Legierungen wie z. B. Kupferlegierungen oder nichtrostende Stähle basierend auf der gleichen Hypothese wie für unlegierte oder niedriglegierte Stähle ermittelt werden.

## **7.2.7 Schutzstromdichte für nichtrostende Stähle und Nickellegierungen**

Die Auslegung von Stromdichten, die für den Schutz in unterschiedlichen Arten von Wasser erforderlich sind, sollte auf der Grundlage verfügbarer Daten erfolgen. Die in den Literaturhinweisen [16] und [17] aufgeführten Dokumente dienen als Leitlinien. Bei der Festlegung von Auslegungswerten für Stromdichten sollte darauf geachtet werden, dass die folgenden Phänomene berücksichtigt wurden.

- 1) Anfangsstromdichten, die erforderlich sind, um Kohlenstoffstähle auf  $-0,80$  V bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser zu polarisieren, sind zur Erfüllung der Schutzpotentialkriterien nichtrostender Stähle ( $-0,30$  V bis  $-0,50$  V bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser) ausreichend.
- 2) Wenn die Wassertemperatur  $40$  °C übersteigt, wird die Schutzstromdichte im Vergleich zum umgebenden Meerwasser aufgrund eines weniger wirksamen Biofilms reduziert, siehe Literaturhinweis [16].
- 3) Dank der kalkhaltigen Ablagerungen, die sich bei elektrisch negativeren Potentialen bilden, kann der Schutz auch bei Stromdichten aufrechterhalten werden, die niedriger sind als die zur Polarisierung auf  $-0,30$  V bis  $-0,50$  V bzgl. Ag/AgCl/Meerwasser erforderlichen Stromdichten.

Auslegungswerte für Schutzstromdichten sollten auf der Grundlage verlässlicher Daten erarbeitet und dokumentiert werden.

In Meerwasser entstehen durch Chlorierung üblicherweise Chlorrückstände von  $0,2$  ppm bis  $1$  ppm, die die Entstehung des Biofilms begrenzen und den Einsatz von relativ niedrigen Schutzstromdichten ermöglichen können. Die Chlorierung von Meerwasser verursacht Chlorrückstände im Meerwasser. Große Mengen an Chlorrückständen können hohe Stromdichten erforderlich machen. Beispiele für die Auswirkungen von Chlorierung und Biofouling auf erforderliche Schutzstromdichten sind in der Literatur aufgeführt, siehe Literaturhinweis [17]. Die erforderliche Schutzstromdichte kann mit Zunahme der Temperatur steigen, siehe Literaturhinweis [16].

## **7.3 Anwendungen für bestimmte Anlagenteile**

### **7.3.1 Rohrleitungssysteme**

Kathodische Korrosionsschutzsysteme für Rohrleitungen bestehen aus innerhalb der Rohrleitungen verteilten, i.d.R. in gleichmäßigen Abständen angeordneten Anoden. Die Anzahl der Anoden und die Abstände zwischen ihnen sind abhängig vom Rohrdurchmesser, von der Beschichtung, falls vorhanden, der Fließgeschwindigkeit des Meerwassers (oder Brackwassers), der Chlorierung, falls zutreffend, der Temperatur, dem spezifischen Widerstand und dem Anodenredundanzfaktor. Die Abstände zwischen den Anoden müssen nah genug sein, dass ein kathodischer Korrosionsschutz erreicht und aufrechterhalten werden kann.

Aufgrund der länglichen Form des Inneren der zu schützenden Anlage ist die Reichweite des Schutzes oder Überschutzes eines Anodensystems abhängig von der Abschwächung des Stroms aufgrund des ohmschen Spannungsabfalls im Wasser, wobei der Widerstand des Metalls vernachlässigbar ist.

Die Potentialverteilung innerhalb des Rohrleitungssystems muss so bestimmt werden, dass die Wirksamkeit des ausgelegten kathodischen Korrosionsschutzes innerhalb von Rohren nachgewiesen werden kann. Folgende Maßnahmen mit absteigender Priorität können dazu eingesetzt werden:

- Erfahrungsberichte aus ähnlichen Situationen;
- Messungen der Potentialverteilung in Einrichtungen, die den relevanten Parametern der zu schützenden Anlagenteile entsprechen;
- mathematische Modellierung zur Bewertung der Abschwächung des Stroms in Rohren. Die Modellierung ist insbesondere bei komplexen Geometrien hilfreich;
- vereinfachte Verfahren, die in Anhang C beschrieben sind.