

Kathodischer Korrosionsschutz für die Innenflächen  
von metallischen Anlagen  
Deutsche Fassung EN 12499:2003

**DIN**  
EN 12499

ICS 77.060

Internal cathodic protection of metallic structures;  
German version EN 12499:2003

Protection cathodique interne des structures métalliques;  
Version allemande EN 12499:2003

**Die Europäische Norm EN 12499:2003 hat den Status einer Deutschen Norm.**

## Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ (Sekretariat: BSI) erarbeitet.

Der Arbeitsausschuss NMP 171 „Korrosion und Korrosionsschutz“ im Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist für die deutsche Mitarbeit zuständig.

Für die Anwendung der Norm gibt der Arbeitsausschuss NMP 171 folgenden Hinweis:

In 4.2, Tabelle 1, ist der Wert für das kritische Schutzpotential von Blei, bei dessen Überschreitung in die negative Richtung kathodische Korrosion auftritt, mit – 0,65 V angegeben.

Dieser Wert weicht wesentlich von experimentell vom NMP 171 durchgeführten und thermodynamischen Untersuchungen ab. Deshalb sind Hinweise zum richtigen Verständnis im nationalen Anhang NA angegeben.

Fortsetzung Seite 2  
und 40 Seiten EN

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Hinweise zum kathodischen Schutz von Blei

Tabelle NA.1

| Quelle            | Schutzpotential       | Kritisches<br>Grenzpotential | Schutzpotential              | kritisches<br>Grenzpotential |
|-------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                   | Potentiale $U_H$<br>V |                              | Potentiale $U_{CuSO_4}$<br>V |                              |
| Handbuch (1980)   | – 0,33                | – 1,40                       | – 0,65                       | – 1,70                       |
| DIN 50927:1985    | – 0,33                | – 1,40                       |                              |                              |
| EN 12954:2001-01  |                       |                              | – 0,65                       | – 0,95                       |
| EN 12499:2003     | – 0,33                | – 0,65                       |                              |                              |
| Korrekturhinweise | – 0,33                | – 1,40                       |                              |                              |

Die Nichtübereinstimmung der letzten beiden Zeilen in Tabelle NA.1 betrifft den Wert für das kritische Grenzpotential, bei dessen Überschreiten in die negative Richtung kathodische Korrosion unter Produktion von Bleihydrid ( $PbH_2$ ) auftritt. Das Grenzpotential von – 1,4 V (Wasserstoffskala) wurde experimentell gefunden (Quelle: Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes (siehe Literaturhinweise in EN 12499). Alle Zitate beziehen sich auf die Veröffentlichung: W. v. Baekmann, Werkstoffe u. Korrosion 20, 578 (1969).

Der vorgegebene Wert von – 0,65 V besagt, dass eine Schutzpotentialbereichsweite von nur 0,65 V – 0,33 V = 0,32 V besteht. Bei derartig engen Schutzpotentialbereichen kann man in der Praxis kaum kathodisch schützen. Die zwangsweise hohe Gefahr der Bleihydridbildung wurde aber nie beobachtet. Der Schutzpotentialbereich nach den Untersuchungen von Baekmann liegt bei 1,40 V – 0,33 V = 1,07 V. Der Betrag ist wesentlich günstiger und wird auch abgedeckt durch die thermodynamischen Daten im Pourbaix-Diagramm. Wohingegen bei – 0,65 V thermodynamisch kein Hydrid entstehen kann, wohl aber negativer als – 1,4 V.

Wenn jemand nach EN 12499 Blei kathodisch schützen will, wird er in der Planung dieses Vorhaben ablehnen und eine Gefahr vermuten, die es nicht gibt.

Deutsche Fassung

## Kathodischer Korrosionsschutz für die Innenflächen von metallischen Anlagen

Internal cathodic protection of metallic structures

Protection cathodique interne des structures métalliques

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. November 2002 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 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, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, der Slowakei, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn und dem Vereinigten Königreich.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

## Inhalt

|                                                                                                                                                                  | Seite     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort.....</b>                                                                                                                                              | <b>3</b>  |
| <b>1 Anwendungsbereich.....</b>                                                                                                                                  | <b>3</b>  |
| <b>2 Normative Verweisungen .....</b>                                                                                                                            | <b>4</b>  |
| <b>3 Symbole .....</b>                                                                                                                                           | <b>4</b>  |
| <b>4 Grundsätze und Kriterien für den inneren kathodischen Schutz .....</b>                                                                                      | <b>8</b>  |
| <b>5 Faktoren für die Planung und die Anwendung .....</b>                                                                                                        | <b>10</b> |
| <b>6 Planung und Anwendung des kathodischen Innenschutzes.....</b>                                                                                               | <b>12</b> |
| <b>7 Messungen .....</b>                                                                                                                                         | <b>17</b> |
| <b>8 Inbetriebnahme .....</b>                                                                                                                                    | <b>19</b> |
| <b>9 Betrieb und Instandhaltung .....</b>                                                                                                                        | <b>20</b> |
| <b>10 Kathodischer Schutz für häusliche Wassererwärmer .....</b>                                                                                                 | <b>21</b> |
| <b>11 Kathodischer Schutz von Einrichtungen zum Erwärmen und zum Speichern von Warmwasser.....</b>                                                               | <b>26</b> |
| <b>12 Kathodischer Schutz von Anlagen mit variablem Füllstand; Speisebehälter, Kondensatoren und ähnliche Einrichtungen .....</b>                                | <b>29</b> |
| <b>13 Kathodischer Schutz von Filterbehältern.....</b>                                                                                                           | <b>30</b> |
| <b>14 Kathodischer Innenschutz von Förderanlagen .....</b>                                                                                                       | <b>32</b> |
| <b>15 Kathodischer Schutz im Innern von Rohrleitungen .....</b>                                                                                                  | <b>33</b> |
| <b>16 Kathodischer Schutz von Röhren-Wärmetauschern .....</b>                                                                                                    | <b>34</b> |
| <b>Anhang A (normativ) Prüfung der Elektrodenpotentiale von galvanischen Anoden .....</b>                                                                        | <b>37</b> |
| <b>Anhang B (informativ) Schutzpotentialbereiche für niedriglegierten Stahl bezogen auf Silber/Silberchlorid-Bezugselektroden in verschiedenen Wässern .....</b> | <b>39</b> |
| <b>Literaturhinweise .....</b>                                                                                                                                   | <b>40</b> |

## Vorwort

Dieses Dokument (EN 12499:2003) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 219 „Schutz metallischer Werkstoffe gegen Korrosion“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juli 2003, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juli 2003 zurückgezogen werden.

Anhang A ist normativ, Anhang B ist informativ.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die Anlagen, die Metalle und Oberflächen, die durch Anwenden des inneren kathodischen Schutzes gegen Korrosion geschützt werden können, die Elektrolytlösungen und die für einen kathodischen Innenschutz erforderlichen Bedingungen fest. Ferner gibt sie Anleitungen für die Installation und für den Betrieb eines wirksamen kathodischen Schutzsystems.

Diese Norm betrifft die Anwendung des inneren kathodischen Schutzes von häuslichen Wassererwärmern, Warm- und Kaltwasserbehältern, Wasserzirkulationsleitungen, Kondensatoren, Wärmetauschern sowie ganz allgemein Anlagen, die eine Elektrolytlösung enthalten, so dass der kathodische Schutz technisch möglich ist. Diese Norm gilt für metallische Anlagen, die gespeichertes oder fließendes Wasser enthalten, das stagnierend oder ausgetauscht sowie kalt oder warm sein kann. Sie gilt für Trinkwasser oder Betriebswasser und selbst für wässrige Suspension.

**ANMERKUNG** Es wird davon ausgegangen, dass die Elektrolytlösungen eine Leitfähigkeit über  $10^{-3} \text{ S m}^{-1}$  und einen pH-Wert über 4,5 haben. Falls der pH-Wert unter 5,5 oder die Leitfähigkeit unter  $10^{-2} \text{ S m}^{-1}$  sinkt, sollten 5.4 und 6.9.2.2 beachtet werden.

Diese Norm gilt für metallische Anlagen, die aus einem Werkstoff oder zusammen mit weiteren Werkstoffen hergestellt sind. Diese Werkstoffe sind:

- Eisen und niedriglegierte Stähle;
- schmelztauchverzinkter Stahl;
- Kupfer und Kupferlegierungen;
- Blei;
- Zinn;
- nichtrostende Stähle;
- Aluminium und Zink;
- Titan.

Diese Norm gilt sowohl für unbeschichtete Metalle als auch für solche, die bereits mit nieder- oder hochhohmigen Beschichtungen versehen sind.

## 2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 50014, *Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche — Allgemeine Bestimmungen*

EN 60335-2-21, *Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke — Teil 2: Besondere Anforderungen für Wassererwärmer (IEC 60335-2-21:1997 + Corrigendum 1998 modifiziert)*.

EN ISO 8044:1999, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Grundbegriffe und Definitionen (ISO 8044:1999)*.

## 3 Symbole

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Symbole und Begriffe nach ISO 8044:1999 und die nachfolgenden.

### 3.1 Symbole

|           |                                                                                        |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| $I$       | Strom                                                                                  |
| $R$       | Widerstand                                                                             |
| $J$       | Stromdichte                                                                            |
| $U$       | Spannung                                                                               |
| $a$       | Jahr                                                                                   |
| $E_{Ag}$  | Metall/Elektrolytlösung-Potential bezogen auf die Silber/Silberchlorid-Bezugselektrode |
| $E_l$     | kritisches Grenzpotential                                                              |
| $E_n$     | Freies Korrosionspotential                                                             |
| $E_{off}$ | Ausschaltpotential (unmittelbar nach dem Ausschalten gemessen)                         |
| $E_{on}$  | Einschaltpotential                                                                     |
| $E_p$     | Schutzpotential                                                                        |
| $E_H$     | Metall/Elektrolytlösung-Potential bezogen auf die Standard-Wasserstoffelektrode        |
| $E_{Zn}$  | Metall/Elektrolytlösung-Potential bezogen auf eine Zinkelektrode                       |
| $I_a$     | Anodenausgangsstrom                                                                    |
| $I_p$     | Schutzstrom                                                                            |
| $J_p$     | Schutzstromdichte ( $A\ m^{-2}$ )                                                      |
| $r_c$     | spezifischer Beschichtungswiderstand ( $\Omega\ m^2$ )                                 |
| $T$       | Temperatur                                                                             |
| $t$       | Zeit                                                                                   |
| $\rho$    | spezifischer elektrischer Widerstand ( $\Omega\ m$ )                                   |

### 3.2 Begriffe

#### 3.2.1

##### **anaerob**

Abwesenheit von freiem Sauerstoff in der Elektrolytlösung unmittelbar an der metallischen Anlage

#### 3.2.2

##### **anodischer Bereich**

Teil der Anlage, der eine Anode darstellt

**3.2.3****kathodischer Bereich**

Teil der Anlage, der eine Kathode darstellt

**3.2.4****kathodisches Schutzsystem**

vollständige Installation einschließlich passiver und aktiver Komponenten, die den kathodischen Schutz einer Anlage sicherstellen

**3.2.5****Fehlstelle einer Beschichtung**

Ungleichmäßigkeit in der Beschichtung

**3.2.6****Beschichtungswiderstand**

elektrischer Widerstand zwischen einem beschichteten Metall und der Elektrolytlösung

ANMERKUNG Der Beschichtungswiderstand wird im Wesentlichen durch Anzahl und Größe der Fehlstellen und Poren der Beschichtung bestimmt und kennzeichnet somit den Zustand der Beschichtung (siehe auch spezifischer Beschichtungswiderstand).

**3.2.7****durchgehende Verbindung**

eine durchgehende Verbindung ist in der Planung vorzusehen und wird eigens installiert, um eine elektrische Kontinuität sicherzustellen

**3.2.8****kontinuierliche Anode**

lange und flexible Anode

**3.2.9****Kupon**

Probe aus einem repräsentativen Metall mit bekannten Maßen und Masse zur quantitativen Bestimmung des Korrosionsangriffs oder der Wirkung des kathodischen Schutzes

**3.2.10****Trinkwasser**

Wasser in Übereinstimmung mit der Europäischen Richtlinie 98/83/EG vom 3. Nov. 1998

**3.2.11****elektrische Kontinuität**

niederohmige metalleitende Verbindung in einer zu schützenden Anlage, bei der die fließenden Ströme keinen nennenswerten Spannungsabfall erzeugen können

**3.2.12****elektrische Trennung**

Zustand ohne metalleitende Verbindung zwischen Komponenten der Anlage

**3.2.13****elektrische Abschirmung**

Verminderung des Stromflusses innerhalb der Elektrolytlösung zur Anlage, die durch im Strompfad liegende Objekte verursacht wird

**3.2.14****Ausgleichstrom**

nach dem Ausschalten des Schutzstromes fließt ein Ausgleichstrom zwischen zwei verschiedenen Stellen

ANMERKUNG Ausgleichströme können z. B. als Folge der Verminderung des kathodischen Schutzstromes einer Anlage aus Komponenten mit unterschiedlicher Depolarisation fließen.

### 3.2.15

#### **Fremdkathode**

ein metallisches Bauteil, das metalleitend mit der zu schützenden Anlage verbunden ist. Sie hat ein positiveres freies Korrosionspotential als das Schutzobjekt und benötigt eine größere Schutzstromdichte als das Schutzobjekt

ANMERKUNG Fremdkathoden können den kathodischen Schutz der restlichen Anlage ernsthaft beeinträchtigen.

### 3.2.16

#### **Fremdstrom-Anode**

eine Fremdstrom-Anode ist die Einspeiseanode in einer Fremdstrom-Schutzanlage

ANMERKUNG Fremdstrom-Anoden können dauerhaftig oder löslich sein.

### 3.2.17

#### **Fremdstrom-Schutzanlage**

Einrichtung und Materialien, die für eine Fremdstrom-Schutzanlage benötigt werden

ANMERKUNG Diese Materialien und Einrichtungen enthalten die Fremdstrom-Anode, Kabel und das Schutzstromgerät.

### 3.2.18

#### **Ausschaltpotential**

Schutzobjekt/Elektrolytlösung-Potential, das unmittelbar nach einem synchronisierten Ausschalten der Ströme aus allen Schutzanlagen gemessen wird

### 3.2.19

#### **IR-Spannungsabfall**

Spannung, die an einem Widerstand oder an einer Strecke mit Längswiderstand in Übereinstimmung mit dem Ohm'schen Gesetz  $U = I \times R$  (in V) vorliegt

### 3.2.20

#### **IR-freies Potential**

( $E_{\text{IR-frei}}$ )

das ohne Fehler durch einen Spannungsabfall gemessene Potential

### 3.2.21

#### **Isolierstück**

#### **Trennstück**

Verbindungselement oder Kupplung mit elektrischer Trennung für den Einbau in Rohrleitungen, um die beiden Leitungsteile voneinander elektrisch zu trennen

### 3.2.22

#### **Messpunkt**

Stelle, an der eine Messung vorgenommen wird

ANMERKUNG Anlagen/Elektrolytlösung-Potentiale können von dem Ort der Bezugselektrode abhängig sein.

### 3.2.23

#### **Einschaltpotential**

Anlagen/Elektrolytlösung-Potential, das bei fließendem Schutzstrom an der Schutzanlage gemessen wird

### 3.2.24

#### **Überschutz**

Überschutz liegt vor, wenn die Anlagen/Elektrolytlösung-Potentiale negativer sind als jene, die für einen ausreichenden Korrosionsschutz empfohlen werden

ANMERKUNG Überschutz ist keine nützliche Betriebsweise und kann die Anlage durch eine starke Gasentwicklung schädigen, wobei explosive Gasgemische entstehen, Metalle einer Wasserstoff-Versprödung unterliegen oder zum Schutz aufgetragene Beschichtungen beschädigt werden können.

### 3.2.25

#### **dauerhaftige Anoden**

Fremdstrom-Anoden, deren Abtragungsgeschwindigkeit wesentlich kleiner ist als der Wert, der sich aus dem Faraday'schen Gesetz ergibt

**3.2.26****Dauerbezugselektrode**

dauerhaftig eingebaute Bezugselektrode mit langer Lebensdauer

**3.2.27****Potentialgradient**

Differenz der Potentiale zwischen zwei verschiedenen Orten in der gleichen Elektrolytlösung

**3.2.28****Potentiostat**

Schutzstromanlage, mit der das Anlagen/Elektrolytlösung-Potential auf einen vorgeschriebenen Wert unabhängig von den Polarisationsbedingungen gebracht und gehalten wird

ANMERKUNG Der von der Stromquelle gelieferte Strom ist der Schutzstrom und wird durch das gegen eine Bezugselektrode gemessene Anlagen-Potential gesteuert

**3.2.29****Schutzobjekt**

Anlage, die ausreichend kathodisch geschützt ist

**3.2.30****Schutzstrom**
 $I_p$ 

Strom, der aus der Elektrolytlösung in eine metallische Anlage fließt, um diese kathodisch zu schützen

**3.2.31****metalleitende Verbindung mit Abgleichwiderstand**

elektrische Verbindung mit einem Abgleichwiderstand, der zur Begrenzung eines Stromes in vorgegebenen Grenzen dient

ANMERKUNG Die widerstandsbehaftete Verbindung wird durch den Einbau von Abgleichwiderständen in der Verbindung erreicht.

**3.2.32****lösliche Anode**

Fremdstromelektrode, deren Abtrag nach dem Farada'schen Gesetz vom Schutzstrom abhängt

ANMERKUNG Die Begriffe „löslich“ und „Opfer“ informieren alleine noch nicht darüber, ob die Anoden galvanisch oder mit Fremdstrom wirken. Zur Vermeidung von Irrtümern wird vorgeschlagen, folgende Begriffe zu vereinbaren: „galvanische Anode“ für „Opferanode“ und „lösliche Anode“ für „lösliche Fremdstrom-Anode“.

**3.2.33****Standard-Bezugselektrode**

Bezugselektrode, deren Potential nicht von den verschiedenen Komponenten der Elektrolytlösung eines Korrosionssystems abhängig ist

**3.2.34****Steuerelektrode**

dauerhaftig installierte Bezugselektrode, die das Anlagen/Elektrolytlösung-Potential misst und als Signal an eine geregelte Fremdstrom-Schutzanlage zur Kontrolle des Schutzstromes weitergibt

**3.2.35****Silber/Silberchlorid-Bezugselektrode**

in einer Elektrolytlösung mit Chlorid-Ionen vorliegende Silberelektrode, die mit Silberchlorid beschichtet ist

ANMERKUNG Das Potential dieser Elektrode ändert sich mit der Konzentration der Chlorid-Ionen der Elektrolytlösung (siehe Anhang B).

**3.2.36****Standard-Silber/Silberchlorid-Elektrode**

in einer Elektrolytlösung mit fest vorgegebener Konzentration der Chlorid-Ionen vorliegende Silberelektrode, die mit Silberchlorid beschichtet ist

### 3.2.37

#### **spezifischer Beschichtungswiderstand**

der Messwert des spezifischen Beschichtungswiderstandes folgt aus der Potentialänderung, die sich durch eine Änderung des Schutzstromes ergibt, das ist der Quotient aus der Potentialänderung und der zugehörigen Änderung der Stromdichte, siehe 7.4

ANMERKUNG Der spezifische Beschichtungswiderstand hat die Einheit  $\Omega \text{ m}^2$ .

### 3.2.38

#### **Standard-Wasserstoffelektrode**

Bezugselektrode aus Platin in einer Elektrolytlösung mit jeweils der Wasserstoffionen-Aktivität und der Wasserstoffgas-Fugazität eins

### 3.2.39

#### **Anlage-Elektrolytlösung-Potential**

Korrosionspotential einer Anlage in einem gegebenen Korrosionssystem

ANMERKUNG Die Anordnung der Bezugselektrode in der Elektrolytlösung sollte in Nähe der Anlage erfolgen, um Spannungsabfälle durch beliebige Ströme in der Elektrolytlösung klein zu halten

### 3.2.40

#### **sulfatreduzierende Bakterien**

Bakterien, die in ihrer Umgebung Sulfat reduzieren, wobei Sulfide entstehen, die die Korrosion von Bauteilen der Anlage beschleunigen

ANMERKUNG Diese Arten von Bakterien werden in den meisten Erdböden und natürlichen Wässern gefunden. Sie sind aber nur in anaeroben und neutralen sauerstofffreien Medien aktiv.

### 3.2.41

#### **Schutzgleichrichter**

Gerät, das die Wechselspannung transformiert und zu Gleichstrom umwandelt

ANMERKUNG Der so erzeugte Gleichstrom wird als Stromversorgung für Fremdstrom-Schutzanlagen verwendet.

### 3.2.42

#### **Ausnutzungsfaktor**

Anteil einer galvanischen Anode, die verbraucht wird, bevor die Anode nicht mehr in der Lage ist, eine Stromabgabe entsprechend der Planung des kathodischen Schutzes aufrechtzuerhalten

## 4 Grundsätze und Kriterien für den inneren kathodischen Schutz

### 4.1 Grundsätze

Die Verringerung der Korrosionsgeschwindigkeit wird durch eine Verschiebung des Korrosionspotentials zu negativeren Potentialen zur Erreichung des Schutzpotentialbereiches bewirkt. Kathodischer Schutz liegt vor, wenn alle zu schützenden metallischen Oberflächen den Schutzpotentialbereich erreicht haben.

Diese Verschiebung des Potentials wird mit Hilfe des Schutzstromes erreicht, der von der Elektrolytlösung in die Metalloberfläche fließt. Dieser Strom tritt aus der Oberfläche einer Anode in die Elektrolytlösung ein.

Im Abschnitt 4 werden durchgehend Elektrodenpotentiale als IR-freie Potentiale angesehen.

### 4.2 Kriterien

Das Schutzpotential ist von den physikalischen und chemischen Bedingungen an der Phasengrenze Metall/Elektrolytlösung abhängig. Kalkartige Niederschläge auf dem Metall und die Migrationsgeschwindigkeit der vom Metall abgegebenen Ionen sind unterschiedlich und abhängig vom Medium.

Die Daten von Schutzpotentialen werden durch praktische Erfahrungen und Untersuchungen bestimmt.

Ein einziges Potentialkriterium kann nicht den Bereich der unterschiedlichen Bedingungen abdecken, die beim kathodischen Innenschutz vorliegen können.

Das einzige, völlig unstrittige Kriterium bezieht sich auf ein durch Inspektion nachgewiesenes Fehlen von Korrosionsschäden.

Einige Daten für die Praxis sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. In Ergänzung zu dieser Auflistung sind jedoch Vorbehalte notwendig für Schutzmaßnahmen gegen Einflüsse, die auf ein gleichzeitiges Vorhandensein unterschiedlicher Metalle und dadurch bedingt die Abscheidung bestimmter Ionen zurückzuführen sind.

Überschutz muss beim kathodischen Innenschutz vermieden werden. Überschutz führt zur Gasentwicklung. Einige Metalle erleiden spezifische Schäden bei sehr negativen Potentialen. Es ist erforderlich, dass deren Potential nicht negativer als das kritische Grenzpotential in Tabelle 1 werden darf.

**Tabelle 1 — Richtwerte für Schutzpotentialbereiche, bezogen auf die Standard-Wasserstoffelektrode**

| Metall                                                        | Elektrolytlösung                            | Schutzpotential, $E_H$<br>V | Kritisches Grenzpotential<br>V |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Eisen und niedriglegierter Stahl                              | neutrales Kaltwasser                        | −0,55                       |                                |
|                                                               | Warmwasser                                  | −0,65                       |                                |
|                                                               | saures Wasser, oder Gegenwart von Bakterien | −0,65                       |                                |
| niedriglegierter Stahl in Verbindung mit nichtrostendem Stahl | Kalt- oder Warmwasser                       | −0,55                       | a                              |
| nichtrostender Stahl                                          | Kalt- oder Warmwasser                       | −0,1                        | a                              |
| Kupfer und Kupferlegierungen                                  | Kalt- oder Warmwasser                       | −0,20                       |                                |
| Zinn                                                          | Kalt- oder Warmwasser                       | −0,35                       | −1,0                           |
| Zink                                                          | Kalt- oder Warmwasser                       | −0,90                       | −1,0 <sup>b</sup>              |
| Blei                                                          | neutrales Kaltwasser                        | −0,33                       | −0,65                          |
| Aluminium und Legierungen mit Mg oder Mn                      | Kalt- oder Warmwasser                       | −0,45                       | −0,80 <sup>b</sup>             |
|                                                               | Meerwasser                                  | −0,55                       | −0,80 <sup>b</sup>             |
| Al-Zn-Legierungen                                             | Kalt- oder Warmwasser                       | −0,60                       | −0,80                          |
|                                                               | Meerwasser                                  | −0,70                       | −0,90                          |
| Titan                                                         | Meerwasser                                  |                             | −0,75                          |

<sup>a</sup> Schutzpotentiale müssen in jedem Fall durch Messungen ermittelt werden. Das gilt auch für kritische Grenzpotentiale bei ferritischen und martensitischen Stählen. Es gibt keine kritischen Grenzpotentiale für austenitische Stähle.

<sup>b</sup> Aluminium und Zink können nicht zu so negativen Potentialen polarisiert werden, dass die anodische Teilreaktion vernachlässigbar wird. Diese Metalle sind selbstschützend durch ihre Oxidschichten. Kathodische Polarisation kann diese anfängliche Oxidation steuern.

Wenn das Metallpotential mit einer anderen Bezugselektrode als die Standard-Wasserstoffelektrode gemessen wird, wird das Metallpotential  $E_H$  bezogen auf die Standard-Wasserstoffelektrode wie folgt errechnet:

$$E_H = E_M + E_R; \text{ oder}$$

$$E_M = E_H - E_R \text{ (siehe Anhang B)}$$

Dabei ist:

$E_M$  der gemessene algebraische Wert der Potentialdifferenz zwischen Metall und Bezugselektrode;

$E_R$  der gemessene algebraische Wert der Potentialdifferenz zwischen der Bezugselektrode und der Standard-Wasserstoffelektrode.

**Tabelle 2 — Potentiale einiger Elektroden, bezogen auf die Standard-Wasserstoffelektrode**

| Elektrodenart                                                                                                                                                                                          | Elektrolytlösung          | Potential $E_R$ in V              | Anwendungsbereich        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| <b>Standardelektroden</b>                                                                                                                                                                              |                           |                                   |                          |
| Kupfer/Kupfersulfat                                                                                                                                                                                    | gesättigtes Kupfersulfat  | +0,32                             | Erdböden                 |
| Silber/Silberchlorid                                                                                                                                                                                   | gesättigtes Kaliumchlorid | +0,20                             | Meerwasser, Süßwasser    |
| Thallium/Thalliumchlorid                                                                                                                                                                               | 3,5 mol/l Kaliumchlorid   | −0,57                             | Warmwasser               |
| <b>Dauerbezugselektroden</b>                                                                                                                                                                           |                           |                                   |                          |
| Zink/Meerwasser                                                                                                                                                                                        | Meerwasser                | −0,77 (annähernd)                 | Meerwasser               |
| Silber/Silberchlorid                                                                                                                                                                                   | Meerwasser                | +0,25 <sup>a</sup><br>(annähernd) | Meerwasser               |
|                                                                                                                                                                                                        | Süßwasser                 | +0,35 <sup>a</sup><br>(annähernd) | chloridhaltige Süßwasser |
| <sup>a</sup> Diese Potentiale ändern sich mit der Chloridionen-Konzentration; die Veränderung beträgt für 30 °C etwa 60 mV bei einer Änderung der Konzentration um eine Zehnerpotenz (siehe Anhang B). |                           |                                   |                          |

## 5 Faktoren für die Planung und die Anwendung

### 5.1 Mischinstallation

Es ist erforderlich, alle möglichen Betriebsbedingungen zu bedenken und dann festzustellen, ob ein Bereich für die Schutzkriterien vorliegt oder nicht.

Wenn verschiedene Metalle in den kathodischen Schutz einbezogen werden, muss das unedelste Metall, das ist das Metall mit dem negativsten Potential, das Schutzpotential erreichen. Es ist erforderlich, dass die Schutzpotentialbereiche der verschiedenen Metalle sich nicht ausschließen.

### 5.2 Leitfähigkeit der Elektrolytlösung

Es wird eine durchgehende elektrolytische Verbindung zwischen den Flächen der zu schützenden Anlage und den Schutzanoden benötigt, um eine ausreichende Stromverteilung sicherzustellen. Kathodischer Innenschutz ist nicht möglich, wenn die Flüssigkeit insgesamt nicht leitfähig ist.

### 5.3 Elektrische Kontinuität

Die zu schützende Anlage benötigt eine niederohmige metalleitende Durchverbindung (elektrische Kontinuität). Einzelne Komponenten der Anlage müssen niederohmig metalleitend miteinander befestigt werden.

### 5.4 Stromverteilung

Die Stromverteilung muss so beschaffen sein, dass der Schutzpotentialbereich an jedem Punkt der Anlage erreicht wird.

Günstige Faktoren für eine gute Stromverteilung sind:

- hohe elektrolytische Leitfähigkeit;
- hoher Polarisationswiderstand (der Polarisationswiderstand kann durch eine Beschichtung verbessert werden);
- große Fläche und Anordnung der Anode;
- Gestaltung der zu schützenden Anlage.

Im Falle sehr geringer Leitfähigkeit, z. B. bei entionisiertem Wasser, kann die Stromverteilung so schlecht sein, dass kathodischer Schutz nicht überall erreicht werden kann und dass eine besondere und weiträumige Verteilung der Anoden benötigt wird.

## 5.5 Stromdichte

Die Schutzstromdichte für die Metallflächen ist von folgenden Parametern abhängig:

- Zusammensetzung der Elektrolytlösung;
- Betriebsbedingungen (z. B. Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur);
- Beschichtungseigenschaften einschließlich ihrer Permeabilität für Wasser, Ionen oder Sauerstoff und ihre elektrische Leitfähigkeit;
- Besonderheiten der Anlage.

Im Allgemeinen ist die anfängliche Schutzstromdichte größer als die unter stationären Bedingungen im Betrieb.

## 5.6 Beschichtungseigenschaften

Falls Beschichtungen eingesetzt werden, ist eine Prüfung erforderlich, ob die Eigenschaften der Beschichtung eine ausreichend lange Beständigkeit unter Betriebsbedingungen erwarten lassen.

Mögliche Schäden der Beschichtung sind:

- Enthaftung;
- kathodische Unterwanderung an Fehlstellen;
- Blasen in der Beschichtung;
- alkalische Verseifung.

Falls der kathodische Schutz eingesetzt werden soll, wenn bereits eine Beschichtung vorliegt, muss die Planung Maßnahmen für die künftige Beeinträchtigung der Beschichtung vorsehen.

Eine Beständigkeit gegen Beeinträchtigungen ist von der Art der Beschichtung und von der Oberflächenvorbereitung abhängig.

Erfahrungen über den äußeren kathodischen Schutz von Anlagen können auf den Innenschutz von beschichteten oder ausgekleideten Anlagen nicht übertragen werden.

## 5.7 Nebenwirkungen

Elektrochemische Reaktionen können folgende Vorgänge bewirken:

- Entwicklung von Gasen;
- Reaktionsprodukte der Anoden;
- Sauerstoffzehrung;
- kathodische Niederschläge auf der geschützten Anlage.

Es ist erforderlich festzustellen, welche elektrolytischen Reaktionen an der geschützten Anlage und an den Anoden ablaufen und in welchem Ausmaß diese Reaktionen das Ziel der Schutzwirkung beeinflussen, z. B. im Hinblick auf: