

DIN EN 12954



ICS 23.040.99; 77.060

Entwurf

Einsprüche bis 2018-11-07
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 12954:2001-04;
Ersatz für
E DIN EN 12954:2017-03

**Kathodischer Korrosionsschutz von metallischen Anlagen in Böden und Wässern –
Grundlagen und Anwendung für Rohrleitungen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 12954:2018**

General principles of cathodic protection of buried or immersed onshore metallic structures;
German and English version prEN 12954:2018

Principes généraux de la protection cathodique des structures métalliques à terre enterrées
ou immergées;

Version allemande et anglaise prEN 12954:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-09-07 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nmp@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 85 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12954:2018) 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.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Bei diesem Dokument handelt es sich um einen zweiten Entwurf.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12954:2001-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Begriff 3.6 wurde überarbeitet;
- b) Kriterien für den kathodischen Korrosionsschutz wurden überarbeitet;
- c) Abschnitt 7 wurde aktualisiert;
- d) Literaturverzeichnis wurde aktualisiert;
- e) das gesamte Dokument wurde redaktionell überarbeitet.

Kathodischer Korrosionsschutz von metallischen Anlagen in Böden und Wässern — Grundlagen und Anwendung für Rohrleitungen

Principes généraux de la protection cathodique des structures métalliques à terre enterrées ou immergées

General principles of cathodic protection of buried or immersed onshore metallic structures

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: zweite CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Abkürzungen und Symbole	13
5 Qualifikation von Personal für den kathodischen Korrosionsschutz	13
6 Prinzipien und Kriterien des kathodischen Korrosionsschutzes	14
6.1 Prinzipien des kathodischen Korrosionsschutz	14
6.2 Kriterien für den kathodischen Korrosionsschutz	14
6.3 Alternativverfahren	17
6.3.1 Verschiebung des kathodischen Potentials um 100 mV	17
6.3.2 Andere Verfahren	17
6.4 Kriterien bei Vorhandensein von Wechselstrom	17
7 Voraussetzungen für die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes	17
7.1 Allgemeines	17
7.2 Elektrische Längsleitfähigkeit	17
7.3 Elektrische Trennung	18
8 Hilfreiche Daten und Planungsüberlegungen	19
8.1 Allgemeines	19
8.2 Angaben zur Anlage	19
8.3 Einsatzbedingungen	20
9 Konstruktion	20
9.1 Allgemeines	20
9.2 Vorgesehene Lebensdauer	21
9.3 Angrenzende Anlagen und externe Stromquellen	21
9.4 Elektrische Längsleitfähigkeit/elektrische Trennung	21
9.5 Schutzhüllungen	21
9.6 Strombedarf	22
9.7 Systeme mit galvanischen Anoden	23
9.7.1 Allgemeine Betrachtungen	23
9.7.2 Nutzung von Systemen mit galvanischen Anoden	23
9.7.3 Konstruktive Gestaltung eines Systems mit galvanischen Anoden	24
9.7.4 Technische Überlegungen und Daten für die konstruktive Gestaltung eines galvanischen Schutzsystems	25
9.8 Abgrenzeinheiten (Gleichstrom und/oder Wechselstrom)	28
9.9 System mit kathodischem Korrosionsschutz durch Fremdstrom (ICCP)	29
9.10 Überwachung	30
9.11 Kabel	30
9.12 Anodenfelder für Fremdstromschutzanlagen	31
10 Installation von kathodischen Korrosionsschutzsystemen	32
11 Inbetriebnahme	32

11.1	Allgemeines	32
11.2	Vorabprüfung.....	32
11.3	Ingangsetzen	33
11.4	Beurteilung der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes	34
11.5	Dokumentation	34
12	Überwachung, Inspektion und Wartung.....	35
12.1	Allgemeines	35
12.2	Überwachung	35
12.3	Inspektion	36
12.4	Wartung	37
	Anhang A (informativ) Korrosionswahrscheinlichkeit in Böden.....	38
	Anhang B (informativ) Verringerung der Korrosionsgeschwindigkeit mithilfe einer Kathodenpolarisation – Verschiebung des kathodischen Potentials um 100 mV	40
B.1	Messverfahren während der Polarisation	40
B.2	Messverfahren während der Depolarisation	42
	Literaturhinweise.....	43

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12954:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur zweiten CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 12954:2001 ersetzen.

Dieses Dokument legt allgemeine Prinzipien zur Aufbringung eines äußerlichen kathodischen Schutzes auf metallene Anlagen an Land fest, die in Kontakt mit Böden, Oberflächensüßwasser oder Grundwasser kommen, wobei in Beton eingebettete sowie in Meer- oder Brackwasser befindliche Anlagen ausgenommen sind.

Diese Ausgabe der EN 12954 gilt nicht für spezifische Anwendungen für Rohrleitungen an Land.

ANMERKUNG Anwendungen für Rohrleitungen an Land werden nunmehr vollständig in EN ISO 15589-1 [1] behandelt.

Einleitung

Der kathodische Korrosionsschutz beruht auf elektrochemischen Grundsätzen. Er wird realisiert, indem Gleichstrom ausreichender Stärke an die äußere Oberfläche angelegt wird, sodass das Anlage/Elektrolyt-lösung-Potential in Richtung negativer Werte verschoben wird, bei denen externe Korrosion vernachlässigbar ist. Für den kathodischen Korrosionsschutz wird eine Vielzahl von Werkstoffen, Geräten und unterschiedlichen Messverfahren benötigt.

Dieses Dokument ist auf den Korrosionsschutz der Außenflächen von allen Arten metallener Anlagen in Böden und Wässern anwendbar. Die vorliegende Norm ist zur Erweiterung ihres Anwendungsbereichs auf Sonderbauwerke mit speziellen Anforderungen an Form, Nutzung, detaillierte Konfiguration, Errichtung, Inbetriebnahme oder Betrieb so aufgebaut, dass sie zusammen mit anderen Normen, in denen die Besonderheiten dieser Bauwerke behandelt werden, angewendet werden kann.

Um einen wirksamen kathodischen Korrosionsschutz sicherzustellen, müssen die Planung, Errichtung, Inbetriebnahme, Inspektion und Wartung stets von kompetentem Personal durchgeführt werden.

In diesem Dokument werden die erforderlichen Bedingungen festgelegt, um den kathodischen Korrosionsschutz als wirksames Verfahren zu berücksichtigen, das zur Korrosionsvermeidung eingesetzt werden kann. Er wird üblicherweise in Kombination mit einer Umhüllung verwendet.

Alternative Lösungen zu den in dieser Norm bereitgestellten Lösungen dürfen genutzt werden, wenn sie nachweislich genauso wirksam und gut dokumentiert sind.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die allgemeinen Prinzipien für die Umsetzung und Bewirtschaftung eines Systems zum kathodischen Korrosionsschutz von Anlagen, die erdverlegt sind oder sich in Kontakt mit Böden, Oberflächensüßwasser oder Grundwasser befinden, gegen Korrosionsangriffe, mit und ohne Beeinflussung durch Fremdströme, fest. Es legt die zum Nachweis der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes einzuhaltenden Schutzkriterien fest.

Bei Anlagen, die nicht elektrisch von benachbarten beeinflussenden Anlagen getrennt werden können, können die in dem vorliegenden Dokument festgelegten Kriterien möglicherweise nicht angewendet werden. In diesem Fall wird EN 14505 angewendet (siehe 9.4 „Elektrischer Längsleitfähigkeit/elektrische Trennung“).

Zur Erleichterung der Entscheidung für oder gegen die Anwendung eines kathodischen Korrosionsschutzes kann die Korrosionswahrscheinlichkeit mithilfe von Anhang A beurteilt werden. In Anhang A werden die Anforderungen von EN 12501-1 [2] und EN 12501-2 [3] zusammengefasst.

Der kathodische Korrosionsschutz von Anlagen in Meerwasser wird in EN 12473 sowie einer Reihe spezifischerer Normen für unterschiedliche Anwendungen behandelt.

Der kathodische Korrosionsschutz für Anlagen aus Stahlbeton wird in EN ISO 12696 behandelt.

Dieses Dokument ist anwendbar in Verbindung mit:

- EN ISO 15589-1 zur Anwendung für kathodisch korrosionsgeschützte Rohrleitungen in Böden und Wässern;
- EN 50162 zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen;
- EN ISO 18086 zum Schutz vor Korrosion aufgrund von Wechselstrombeeinflussung durch Hochspannungsquellen und mit Wechselstrom betriebene Bahnanlagen;
- EN 13509 zu Messverfahren für den kathodischen Korrosionsschutz;
- EN 50443 zum Schutz vor Berührungs- und Schrittspannung.

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

EN 13509, *Messverfahren für den kathodischen Korrosionsschutz*

EN 14505, *Kathodischer Korrosionsschutz komplexer Anlagen*

EN 50162, *Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen*

EN 50443, *Auswirkungen elektromagnetischer Beeinflussungen von Hochspannungswechselstrombahnen und/oder Hochspannungsanlagen auf Rohrleitungen*

EN 60079-10-1, *Explosionsfähige Atmosphäre — Teil 10-1: Einteilung der Bereiche — Gasexplosionsgefährdete Bereiche (IEC 60079-10-1)*

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

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

EN ISO 18086, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Bestimmung der Wechselstromkorrosion — Schutzkriterien (ISO 18086)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach 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: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

anaerobe Bedingungen

Nichtvorhandensein von freiem Sauerstoff in einer Elektrolytlösung, in der sich eine metallene Anlage befindet

3.2

Anodenbettungsmasse

zugegebenes Material, in das eine im Erdboden angeordnete Anode eingebettet wird

3.3

elektrische Potentialverbindung

metallischer Leiter, meist aus Kupfer, der zwei Punkte an derselben Anlage oder an zwei verschiedenen Anlagen verbindet

3.4

kathodisches Korrosionsschutzsystem

alle aktiven und passiven Komponenten im Zusammenhang mit der Bereitstellung eines aktiven äußerlichen Korrosionsschutzes sowie dessen Überwachung

Anmerkung 1 zum Begriff: Der kathodische Korrosionsschutz wird entweder durch Fremdstromschutz oder durch galvanische Anoden mithilfe einer oder mehrerer Stationen bereitgestellt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Systeme mit Fremdstromanoden sowie Systeme mit galvanischen Anoden umfassen sämtliche erforderlichen Vorrichtungen zur Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes, z. B. Fremdstromschutzanlagen, galvanische Anoden, elektrische Potentialverbindungen und Isolierstücke.

3.5

Umhüllungs-Reduktionsfaktor

f_c

Verhältnis zwischen der zur Polarisation einer beschichteten Stahloberfläche erforderlichen Stromdichte und der entsprechenden Stromdichte bei einer unbeschichteten Stahloberfläche

3.6

mittlerer Umhüllungswiderstand

spezifischer Anlage/Boden-Widerstand

r_{co}

Wert, der sich aus dem Verhältnis der Differenz zwischen dem Ein- und Ausschaltpotential zum Schutzstrom und der Oberfläche der betreffenden Anlage ergibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Wird in der Regel in $\Omega \cdot m^2$ angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Er ergibt sich im Wesentlichen aus Größe und Anzahl der Umhüllungsschäden, der Porosität der Umhüllung und dem Elektrolytlösungswiderstand.

3.7

komplexe Anlage

Anlage, die aus der zu schützenden Anlage sowie einer oder mehreren Fremdelektroden besteht, die aus Sicherheits- oder technischen Gründen von dieser nicht elektrisch getrennt sind

3.8

Kupfer/gesättigtes Kupfersulfat-Bezugselektrode

CSE

(en: copper/saturated copper sulphate reference electrode)

Bezugselektrode aus einem Kupferstück in einer gesättigten Kupfersulfatlösung

3.9

Probeblech

repräsentative Metallprobe mit bekannten Abmessungen der blanken Oberfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Probeblech kann elektrisch mit der Anlage verbunden sein.

3.10

Abgrenzeinheit (Gleichstrom)

Anlageteil, das für Wechselstrom einen Pfad mit geringer Impedanz und für Gleichstrom einen Pfad mit hohem Widerstand bietet

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele dafür sind Polarisationszellen, Kondensatoren oder Diodensysteme.

3.11

Depolarisation

anodische Potentialänderung einer kathodisch polarisierten Elektrode nach Trennung oder Ausfall der Stromquelle für den kathodischen Korrosionsschutz

3.12

Auslegungsstrom

zum Schutz einer Anlage maximal erforderliche Stromstärke während der gesamten Lebensdauer eines kathodischen Korrosionsschutzsystems

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Stromstärke kann das Ergebnis einer Berechnung oder einer Prüfung (an einer bestehenden Anlage) sein. Sie kann von einer Planungszulage beeinflusst werden (je nach Verlegebedingungen, Alterung der Umhüllung, Umgebungsbedingungen, Betriebsbedingungen usw.).

3.13

Streustromableitung

Überführung der Streuströme von der betroffenen Anlage zu deren Quelle durch Anwendung einer vorsätzlich angebrachten elektrischen Potentialverbindung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einrichtungen zur Streustromableitung (direkte Streustromableitung, Streustromableitungs-Potentialverbindung mit Widerstand, gerichtete Streustromableitungs-Potentialverbindung und Streustromabsaugungs-Potentialverbindung) werden in EN 50162 festgelegt.

3.14

Streustromableitungsanlage

Gerät und Material, das zur Streustromableitung betroffener Systeme erforderlich ist

3.15

treibende Spannung

Unterschied zwischen dem Anlage/Elektrolytlösung-Potential und dem Anode/Elektrolytlösung-Potential, wenn der kathodische Korrosionsschutz aktiv ist

3.16

Erdungsanlage

Gesamtheit der zum einzelnen oder gemeinsamen Erden eines Betriebsmittels oder einer Anlage erforderlichen Verbindungen und Erder

3.17

elektrische Längsleitfähigkeit

physikalischer Zustand einer Anlage, der dann vorliegt, wenn bei fließendem Strom in der zu schützenden Anlage kein signifikanter Spannungsabfall verursacht wird

3.18

elektrische Trennung

Nichtvorhandensein elektrischer Längsleitfähigkeit zwischen Anlagen oder Komponenten

3.19

Fremdanlage

Fremdelektrode

metallene Anlage oder Elektrode (Anode oder Kathode), die Kontakt zu der jeweiligen Anlage hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Fremdanode ist eine Fremdelektrode, deren Potential negativer ist als das der Anlage; eine Fremdkathode ist eine Fremdelektrode, deren Potential positiver ist als das der Anlage.

3.20

galvanische Anode

Elektrode, die durch elektrochemische Reaktion einen kathodischen Schutzstrom liefert

3.21

Anodenfeld

Installation aus in Böden oder Wässern installierten galvanischen Anoden oder Fremdstromanoden

3.22

Fehlstelle

Fehler in einer Schutzhülle, der das Metall freilegt

3.23

Anlage in Wässern

metallene Anlage (oder Teile davon), die in einer flüssigen Umgebung, z. B. Süßwasser (Fluss, See), Brackwasser (Flussmündung) oder Meerwasser errichtet ist

3.24

Fremdstromanode

Elektrode, die den kathodischen Schutzstrom von einer Fremdstromquelle erhält

3.25

Fremdstromschutzanlage

Anlage, die die für den kathodischen Korrosionsschutz mit Hilfe von Fremdstrom benötigten Einrichtungen und Materialien umfasst

Anmerkung 1 zum Begriff: Dazu gehören Fremdstromanoden, Kabel, eine oder mehrere Gleichstromquellen (z. B. Schutzstromgerät) sowie Prüfeinrichtungen.

3.26

Isolierflansch

Flanschverbindung zwischen zwei aneinandergrenzenden Rohrlängen, mit gegenüber dem/den Flansch(en) elektrisch getrennten Muttern und Schrauben und einer elektrisch nicht leitenden Flanschdichtung, sodass an dieser Stelle der Anlage (z. B. Rohrleitung, Rohrleitungssystem) die elektrische Leitfähigkeit unterbrochen ist

3.27

Beeinflussung

Phänomen, das aus der leitfähigen, kapazitiven oder induktiven Kopplung zwischen einer Anlage und einer Fremdstromquelle (Gleich- oder Wechselstrom) oder zwischen zwei Anlagen entsteht und das Fehlfunktionen, gefährliche Spannungen, Schäden usw. verursachen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Kapazitive und induktive Kopplung beziehen sich auf Wechselstrombeeinflussung.

3.28

Beeinflussungsmessung

Messung zur Bestimmung der Größe der gegenseitigen elektrischen Beeinflussung zwischen zwei Anlagen

3.29

IR-Spannungsabfall

Spannung, die an einer beliebigen Stelle des Stromkreises, z. B. im Elektrolyt (in der Regel der Erdboden), nach dem Ohmschen Gesetz erzeugt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Sinne dieser Norm ist der IR-Spannungsabfall in der Regel der Spannungsabfall, der im Elektrolyt (in der Regel der Erdboden) zwischen der Bezugselektrode und dem Metall der Anlage vorhanden ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der IR-Spannungsabfall im Elektrolyt kann die Genauigkeit des Anlage/Elektrolytlösung-Potentials beeinträchtigen

3.30

IR-freies Potential

$E_{\text{IR free}}$

Anlage/Elektrolytlösung-Potential ohne den zu Messfehlern führenden IR-Spannungsabfall, der durch den Schutzstrom oder einen anderen Strom verursacht wird

3.31

Isolierstück

elektrisch isolierendes Bauteil zwischen zwei Teilen einer Anlage, um diese elektrisch voneinander zu trennen

BEISPIEL Monoblock-/monolithisches Isolierstück, Isolierflansch, Isoliertrennstelle.

3.32

Ausschaltpotential

E_{OFF}

Anlage/Elektrolytlösung-Potential, das unmittelbar nach dem gleichzeitigen Ausschalten des von allen Schutzstromquellen eingespeisten kathodischen Schutzstroms und vor einer signifikanten Depolarisation der Anlage gemessen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: E_{OFF} kann bei Auftreten von Gleichstrom- oder Wechselstrombeeinflussung irreführend sein.

3.33

Einschaltpotential

E_{ON}

Anlage/Elektrolytlösung-Potential, das bei Fließen des kathodischen Schutzstroms und/oder irgendeines anderen Stroms gemessen wird

3.34

Polarisation

Elektrodenpolarisation

Änderung des Anlage/Elektrolytlösung-Potentials, verursacht durch einen von oder zu der Anlage fließenden Strom

3.36

geschützte Anlage

Anlage, die kathodisch geschützt ist

3.37

Schutzstrom

Strom, der zur Realisierung des kathodischen Korrosionsschutzes einer metallenen Anlage aus der die Anlage umgebenden Elektrolytlösung in diese Anlage fließen gelassen wird

3.38

Schutzpotential

Anlage/Elektrolytlösung-Potential, bei dem die Korrosionsgeschwindigkeit des Metalls für die Anlage annehmbar ist

3.39

Bezugserde

Teilbereich der Elektrolytlösung, in der zwischen zwei Punkten keine durch einen fließenden Strom bedingte Spannung feststellbar ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies ist in der Regel außerhalb des Spannungstrichters einer Erdungselektrode, einer Erdungsanlage, eines Fremdstromanodenfelds oder einer geschützten Anlage der Fall.

3.40

Fernüberwachung

Messung mithilfe von Telekommunikationssystemen zur Übertragung von Daten

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Fernüberwachung kann ein automatisches Meldesystem umfassen, das die Überschreitung vorgegebener Ober- und Untergrenzen meldet.

3.41

Standardwasserstoffelektrode

Bezugselektrode, die im Laboratorium als Standard verwendet wird und aus einem inerten Metall, z. B. Platin, besteht, das in eine Elektrolytlösung mit einer Wasserstoffionenaktivität von 1 eintaucht und von Wasserstoffgas mit einem Druck von 1 physikalischen Atmosphäre umspült wird

3.42

Streustrom

Strom, der durch andere Wege als die bestimmungsgemäßen Schaltkreise fließt

3.43

Anlage

metallenes Bauwerk mit oder ohne Umhüllung, das sich in einer Elektrolytlösung befindet

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Elektrolytlösungen sind Boden oder Wasser.

Anmerkung 2 zum Begriff: Anlagen können Bauwerke mit großer Längsausdehnung sein, z. B. erdverlegte Stromkabel, aber auch Bauwerke mit geringerer Ausdehnung, z. B. Gründungspfähle, Spundwände, Lagertanks oder andere erdverlegte Bauwerke.

3.44

Anlage/Elektrolytlösung-Potential

Elektrodenpotential

Potentialunterschied zwischen der metallenen Oberfläche einer in Kontakt mit einer Elektrolytlösung stehenden Anlage und einer ebenfalls in Kontakt mit der Elektrolytlösung stehenden Bezugselektrode, die sich in ausreichender Nähe zu der Anlage befindet, ohne diese jedoch zu berühren

3.45

sulfatreduzierende Bakterien

in den meisten Böden und natürlichen Wässern zu findende, jedoch nur bei annähernd pH-neutralen und sauerstofffreien Bedingungen aktive Gruppe von Bakterien

Anmerkung 1 zum Begriff: Sulfatreduzierende Bakterien reduzieren in ihrer Umgebung Sulfate zu Sulfiden und wirken korrosionsbeschleunigend.

3.46

Messstellenstandort

Standort, an dem die Potentialmessung erfolgt

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies kann an einer Messstelle sein, aber auch an jedem anderen Ort, an dem das Potential gemessen werden kann.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dies entspricht dem Standort, an dem die Bezugselektrode platziert ist.

3.47

Messprobe

Vorrichtung mit einem Probestück, die Messungen zu wichtigen Parametern für die Beurteilung der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes und/oder des Korrosionsrisikos liefert

3.48

Messstelle

Installation mit Mess- und Prüfeinrichtungen für Anlagen in Böden und Wässern

Anmerkung 1 zum Begriff: Solche Installationen können die Verkabelung und Anschlüsse an den Anlagen umfassen oder als Direktkontakt für Messzwecke dienen.

3.49

Schutzstromgerät

Gerät zum Transformieren der Wechselspannung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die so erzeugte Gleichspannung wird zur Erzeugung des Schutzstroms einer kathodischen Fremdstromschutzanlage angewendet.

4 Abkürzungen und Symbole

I	Strom
ICCP	kathodischer Korrosionsschutz durch Fremdstrom (en: impressed current cathodic protection)
E	Potential
R	Widerstand
j	Stromdichte
a.c.	Wechselstrom (en: alternating current)
d.c.	Gleichstrom (en: direct current)
E_{Cu}	Metall/Elektrolytlösung- oder Anlage/Elektrolytlösung-Potential gegen eine Kupfer/gesättigtes Kupfersulfat-Bezugselektrode
$E_{\text{IR free}}$	IR-freies Potential
E_{l}	kritisches Grenzpotential
E_{OFF}	Ausschaltpotential
E_{ON}	Einschaltpotential
E_{p}	Schutzpotential
E_{cor}	freies Korrosionspotential
E_{H}	Metall/Elektrolytlösung- oder Anlage/Elektrolytlösung-Potential gegen eine Standardwasserstoffelektrode
I_{p}	Schutzstrombedarf
SPD	Überspannungsschutzeinrichtung (en: surge protection device)
T	Temperatur
t	Zeit
ρ	spezifischer Widerstand

5 Qualifikation von Personal für den kathodischen Korrosionsschutz

Personal, das für die Planung, Installationsüberwachung, Inbetriebnahme, Betriebsüberwachung, Messungen, Überwachungsprüfung sowie Wartungsüberwachung von kathodischen Korrosionsschutzsystemen zuständig ist, muss für die durchgeführten Aufgaben angemessen qualifiziert sein.

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

Die für die durchgeführten Aufgaben angemessene Qualifikation von Personal für den kathodischen Korrosionsschutz kann durch eine Zertifizierung in Übereinstimmung mit Präqualifikationsverfahren, z. B. nach EN ISO 15257, oder durch eine andere, gleichwertige Maßnahme nachgewiesen werden.

6 Prinzipien und Kriterien des kathodischen Korrosionsschutzes

6.1 Prinzipien des kathodischen Korrosionsschutz

Die Korrosionsgeschwindigkeit eines metallischen Werkstoffs in Böden oder Wässern ist vom Anlage/Elektrolytlösung-Potential E des Werkstoffs im umgebenden Medium abhängig. Außer im Fall von Metallen oder Legierungen, die passivieren oder bei hohem pH-Wert korrodieren können, nimmt die Korrosionsgeschwindigkeit mit einer Verschiebung des Potentials zu negativeren Werten ab. Diese Verschiebung des Potentials zu negativeren Werten wird durch das Anlegen ausreichend hoher elektrischer Gleichströme erreicht, die von einer Anodenanlage durch den Boden oder das Gewässer zur metallenen Oberfläche des Schutzobjektes fließen. Bei umhüllten Anlagen fließt der Schutzstrom an Fehlstellen zur Metalloberfläche. Der Schutzstrom kann von Fremdstromschutzanlagen oder von galvanischen Anodenanlagen geliefert werden.

Der kathodische Korrosionsschutz ist wirksam, wenn die Oberflächenstromdichte ausreichend groß ist, um das Potential auf ein Niveau abzusenken, bei dem eine akzeptable Restkorrosionsgeschwindigkeit der Anlage erreicht wird. Typische Beispiele für schädliche Bedingungen, die zu einer Abschirmung des kathodischen Schutzstroms führen können, sind abgelöste Umhüllungen, thermisch isolierende Umhüllungen, isolierende Objekte oder Elektrolytlösungen mit hohem Widerstand.

6.2 Kriterien für den kathodischen Korrosionsschutz

Die Kriterien basieren meist auf dem Potential des zu schützenden Metalls in der korrosiven Elektrolytlösung (Boden oder Wasser). Das Schutzpotential E_p des Metalls entspricht einem Schwellenwert, bei dem die Korrosionsgeschwindigkeit des Metalls auf ein Niveau abgesenkt wird, das für praktische Zwecke als akzeptabel gilt. Das Kriterium für den kathodischen Korrosionsschutz lautet damit:

$$E \leq E_p \quad (1)$$

Das kathodische Korrosionsschutzsystem muss in der Lage sein, alle Teile der Anlage in Böden auf ein Potential negativer als E_p zu polarisieren und ein solches Potential während der gesamten vorgesehenen Lebensdauer der Anlage aufrechtzuerhalten.

Das Schutzpotential E_p ist vom Metall und seiner Umgebung abhängig.

Bei Kohlenstoffstahl, niedriglegiertem Stahl und Gusseisen beträgt die E_p entsprechende Restkorrosionsgeschwindigkeit 0,01 mm pro Jahr.

Bei sehr negativen Potentialen können einige Metalle durch Korrosion geschädigt werden. Darum darf bei diesen Metallen das Potential nicht negativer als ein festgelegtes Grenzpotential E_l sein. In diesem Falle lautet das Kriterium für den kathodischen Korrosionsschutz:

$$E_l \leq E \leq E_p \quad (2)$$

Die Potentiale E_p und E_l sind die an der Grenzfläche zwischen Metall und Elektrolytlösung bestehenden Potentiale; dies bedeutet, dass sie als IR-frei angesehen werden müssen, wobei IR der ohmsche Spannungsabfall in der Elektrolytlösung zwischen der Bezugselektrode und dem Metall an der Stelle ist, wo das Potential gemessen wird (z. B. am Ort eines Umhüllungsschadens).

Die Messverfahren zur Bestimmung des Metall/Elektrolytlösung-Potentials werden in EN 13509 behandelt.

Die Schutzpotentiale sowie jegliche Grenzpotentiale der gebräuchlichsten metallischen Werkstoffe, die in Böden und Wässern kathodisch korrosionsschutz geschützt werden müssen, sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Für alle nicht in Tabelle 1 aufgeführten Werkstoffe müssen Schutz- und Grenzpotenziale dokumentiert oder experimentell ermittelt werden.

Das IR-freie Potential $E_{\text{IR frei}}$ muss die durch Gleichung (1) sowie, falls zutreffend, Gleichung (2) angegebenen Kriterien erfüllen. Tabelle 1 gibt die freien Korrosionspotentiale E_{cor} , die Schutzpotentiale E_{p} und die Grenzpotentiale E_{l} für unterschiedliche Metalle unter unterschiedlichen Umgebungsbedingungen an.

Tabelle 1 — Freie Korrosionspotentiale, Schutzpotentiale und kritische Grenzpotentiale für gebräuchliche Metalle in Böden und Wässern (außer Salzwasser und Brackwasser), gemessen gegen eine Kupfer-/Kupfersulfat-Bezugselektrode

Metalle oder Legierungen	Umgebungsbedingungen	Freies Korrosionspotential: E_{cor} V Anhaltswerte	Schutzpotential: E_{p} V (IR-frei)	Grenzpotential: E_{l} V (IR-frei)
Kohlenstoffstähle, niedriglegierte Stähle und Gusseisen	Böden und Wässer unter allen Bedingungen außer den nachfolgend beschriebenen	−0,65 bis −0,40	−0,85	a
	Böden und Wässer bei $40\text{ °C} < T < 60\text{ °C}$	—	b	a
	Böden und Wässer bei $T > 60\text{ °C}^c$	−0,80 bis −0,50	−0,95 ^c	a
	Böden und Wässer unter aeroben Bedingungen bei $T < 40\text{ °C}$, wobei $100 < \rho < 1\,000\ \Omega\cdot\text{m}$	−0,50 bis −0,30	−0,75	a
	Böden und Wässer unter aeroben Bedingungen bei $T < 40\text{ °C}$, wobei $\rho > 1\,000\ \Omega\cdot\text{m}$	−0,40 bis −0,20	−0,65	a
	Böden und Wässer unter anaeroben Bedingungen und mit Risiko der Aktivität sulfatreduzierender Bakterien	−0,80 bis −0,65	−0,95	a
austenitische nichtrostende Stähle mit einer Äquivalenzahl der Lochkorrosionsbeständigkeit < 40	Böden und Wässer, neutral und alkalisch, bei Umgebungstemperatur	−0,10 bis +0,20	−0,50	d
austenitische nichtrostende Stähle mit einer Äquivalenzahl der Lochkorrosionsbeständigkeit > 40		−0,10 bis +0,20	−0,30	—
martensitische oder austenitisch-ferritische (duplex) nichtrostende Stähle		−0,10 bis +0,20	−0,50	e

Metalle oder Legierungen	Umgebungsbedingungen	Freies Korrosionspotential: E_{cor} V Anhaltswerte	Schutzpotential: E_{p} V (IR-frei)	Grenzpotential: E_{l} V (IR-frei)
alle nicht-rostenden Stähle	Böden und Wässer, sauer, bei Umgebungstemperatur	−0,10 bis +0,20	e	e
Kupfer oder Kupferlegierungen	Böden und Wässer bei Umgebungstemperatur	−0,20 bis 0,00	−0,20	—
Blei		−0,50 bis −0,40	−0,65	−0,95
Aluminiumlegierungen ^f		−0,70 bis −0,50	−0,8	−1,15 ^g
verzinkter Stahl		−1,10 bis −0,90	−1,20	—
Während der Lebensdauer der Anlage sind mögliche Veränderungen des spezifischen Widerstands des die Anlage umgebenden Mediums zu berücksichtigen.				
ANMERKUNG Alle Potentiale sind IR-frei und beziehen sich auf eine Kupfer/gesättigtes Kupfersulfat-Bezugselektrode $E_{\text{Cu}} = E_{\text{H}} - 0,32$ V.				
^a Zur Verhinderung von Wasserstoffversprödung bei hochfesten, nicht legierten und niedriglegierten Stählen, die auf eine Streckgrenze von mehr als 550 N/mm² ausgelegt sind, muss das Grenzpotential dokumentiert oder experimentell ermittelt werden. ^b Bei Temperaturen von 40 °C ≤ T ≤ 60 °C darf das Schutzpotential zwischen dem für 40 °C ermittelten Potentialwert (−0,65 V, −0,75 V, −0,85 V oder −0,95 V) und dem Potentialwert für 60 °C (−0,95 V) linear interpoliert werden. ^c Die Gefahr einer Spannungsrisskorrosion aufgrund eines hohen pH-Werts nimmt mit zunehmender Temperatur zu. ^d Bei Vorhandensein einer martensitischen oder ferritischen Phase (z. B. aufgrund von Härtung) sollte das Risiko einer Wasserstoffversprödung durch Dokumentation oder experimentell ermittelt werden. ^e Durch Dokumentation oder experimentell zu ermitteln. ^f Diese Werte gelten nur für Aluminiumlegierungen ohne Zn und Cu (z. B. AlMgSi-Legierungen). Bei allen anderen Aluminiumlegierungen kann das Schutzpotential abweichen. ^g Es besteht Korrosionsgefahr wegen der durch den kathodischen Korrosionsschutz verursachten Alkalität, die ein Auflösen der Passivschicht bewirkt.				

Schutzbeschichtungen können unter dem Einfluss des kathodischen Korrosionsschutzes beschädigt oder abgelöst werden. Umhüllte Anlagen sollten in der Regel nicht über einen Wert von –1,2 V Cu/CuSO₄ (IR-frei) polarisiert werden. Negativere Werte als –1,2 V Cu/CuSO₄ (IR-frei) dürfen verwendet werden, wenn Erfahrungen oder Daten für das jeweilige Überzugssystem und dessen Anwendung zeigen, dass negativere Werte keine signifikanten nachteiligen Umhüllungsschäden oder Ablösungen im Feld verursachen.

Bei Stählen mit einer angegebenen Mindeststreckgrenze über 550 MPa und bei korrosionsbeständigen Legierungen wie nichtrostenden martensitischen und Duplexstählen muss das Grenzpotential in Bezug auf die schädlichen Auswirkungen in dem Werkstoff aufgrund von Wasserstoffbildung auf der Metalloberfläche ermittelt werden.

ANMERKUNG Bei nichtrostenden Stählen und anderen korrosionsbeständigen Legierungen kann in der Regel ohne Polarisation auf –850 mV (Cu/CuSO₄) eine tolerierbar niedrige Korrosionsgeschwindigkeit erreicht werden. Bestimmte Stahlsorten können durch eine Polarisation auf –850 mV (Cu/CuSO₄) beschädigt werden. Für korrosionsbeständige Legierungen, die nicht durch übermäßige Polarisation (z. B. durch H₂ oder OH[–]) beschädigt werden können, ist es generell zulässig, sie auf das für Kohlenstoffstahl definierte Schutzpotential zu polarisieren.

6.3 Alternativverfahren

6.3.1 Verschiebung des kathodischen Potentials um 100 mV

Wenn die in Tabelle 1 festgelegten Kriterien nicht erfüllt werden können, gilt eine Verschiebung des kathodischen Potentials um 100 mV als akzeptables Alternativverfahren zur Verringerung der Korrosionsgeschwindigkeit (siehe NACE Publication n°35108 [3]). Eine Restkorrosionsgeschwindigkeit von unter 0,01 mm/a ist möglicherweise nicht erreichbar. Die Entstehung oder Verringerung einer Potentialverschiebung muss in Übereinstimmung mit dem in Anhang B festgelegten Verfahren gemessen werden.

Bei Betriebstemperaturen über 40 °C, in Böden, die sulfatreduzierende Bakterien enthalten, oder bei möglichem Vorhandensein von Beeinflussungsströmen, Ausgleichsströmen oder Erdströmen muss die Anwendung der Potentialverschiebung um 100 mV vermieden werden. Darüber hinaus darf das Potentialverschiebungsverfahren nicht verwendet werden, wenn Rohrleitungen aus Mischmetallkomponenten bestehen oder mit diesen verbunden sind.

6.3.2 Andere Verfahren

Alternative Verfahren dürfen verwendet werden, wenn ein wirksamer Korrosionsschutz nachweislich erreicht werden kann.

ANMERKUNG Als Alternative können Korrosions- oder Widerstands-Messproben verwendet werden.

6.4 Kriterien bei Vorhandensein von Wechselstrom

An Standorten, an denen eine Wechselstrombeeinflussung vermutet wird, müssen Messungen der Wechselspannung und der Stromdichte durchgeführt werden, um den Grad der Wechselstrombeeinflussung zu beurteilen.

Bei Vorhandensein von Wechselspannung in der Anlage müssen die in Tabelle 1 festgelegten Schutzpotentiale als Mindestwerte aufrechterhalten werden.

Für Rohrleitungen gibt EN ISO 18086 Leitlinien für die Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom an und legt detaillierte einzuhaltende Kriterien fest.

7 Voraussetzungen für die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes

7.1 Allgemeines

Die wirksame Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes hängt von der Größe und Form der Anlage, der Effektivität einer eventuell vorhandenen Umhüllung, der Korrosivität des umgebenden Mediums (z. B. Boden, Wasser), der Gleich- und Wechselstrombeeinflussung, den spezifischen Anforderungen in nationalen Vorschriften sowie von technischen und wirtschaftlichen Kriterien ab.

Um einen kathodischen Korrosionsschutz sicherzustellen, müssen die nachfolgenden Bedingungen erfüllt werden.

7.2 Elektrische Längsleitfähigkeit

Die zu schützende Anlage oder ein zu schützender Teilbereich der Anlage muss elektrisch leitend sein. Zur Bestätigung, dass die Soll-Längsleitfähigkeit erreicht wird, können Längsleitfähigkeitsprüfungen durchgeführt werden.

Der Widerstand der zu schützenden Anlage kann die Auslegung des kathodischen Korrosionsschutzsystems beeinflussen. Die Verringerung des elektrischen Widerstandes einer Anlage ist generell vorteilhaft für die Gleichmäßigkeit der Stromverteilung. Bei einer Rohrleitung oder einem Rohrleitungssystem ermöglicht ein

verringerten Längswiderstand der Rohrleitung und der zugehörigen Schweißungen eine höhere Effizienz des kathodischen Korrosionsschutzsystems. Bauteile (z. B. Flansche oder Dehnelemente), die den Längswiderstand der Anlage erhöhen können, sollten Metallverbindungen mit niedrigem Widerstand aufweisen.

Der Widerstand der elektrischen Potentialverbindungen sollte gering sein, um Spannungsabfälle innerhalb der Anlage zu vermeiden. Potentialverbindungen dürfen mit metallischen Leitern, z. B. elektrischen Kabeln nach 9.11, oder mit konstruktiven Anschlüssen hergestellt werden.

Wenn der kathodische Korrosionsschutz auf nicht geschweißte Längsstrukturen (z. B. Stahlpundwände) angewendet werden soll, muss die elektrische Längsleitfähigkeit der Längsstrukturen durch den Einbau dauerhafter elektrischer Potentialverbindungen entlang der mechanischen Verbindungen sichergestellt werden.

7.3 Elektrische Trennung

Wann immer möglich sollte die zu schützende Anlage elektrisch von allen Fremdanlagen getrennt sein, die nachteilige Auswirkungen auf die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes haben würden (z. B. Kupfer-Erdungsanlage, Bewehrungsstäbe in Beton, Fremdrohrleitungen). Dies ist besonders wichtig, wenn die zu schützende Anlage umhüllt ist.

Wenn die zu schützende Anlage nicht elektrisch von allen Fremdanlagen getrennt werden kann, ist es erforderlich, das kathodische Korrosionsschutzsystem fachgerecht zu gestalten, und das Schutzobjekt wird als komplexe Anlage betrachtet (siehe EN 14505).

Wenn eine Erdung der Anlage erforderlich ist, kann diese mit dem kathodischen Korrosionsschutz kompatibel gemacht werden, indem Abgrenzeinheiten (Gleichstrom) eingebaut werden; diese müssen fachgerecht gestaltet und auf den Verwendungszweck ausgelegt sein. Wenn der Sicherheits-Erdungskreis verwendet wird, muss die Abgrenzung in Übereinstimmung mit den nationalen elektrotechnischen Vorschriften erfolgen.

Elektrische Erdungsanlagen können mit kathodischen Korrosionsschutzsystemen interagieren und aus ihnen Strom ableiten. Abhängig von den nationalen Vorschriften dürfen folgende Verfahren zur Begrenzung der Stromableitung aus kathodischen Korrosionsschutzsystemen angewendet werden:

- a) die geschützte Anlage vom Erdanschluss und von allen mit der Erdungsanlage elektrisch verbundenen Anlageteilen elektrisch trennen;
- b) sicherstellen, dass die elektrische Sicherheit der an das kathodische Korrosionsschutzsystem angeschlossenen Anlageteile durch Isolation erreicht wird (z. B. Klasse II oder III nach EN 61140);
- c) Anlageteile, die mit der Anlage in elektrischem Kontakt sind, über einen Fehlerstromschutzschalter erden;
- d) Anlageteile, die mit dem kathodischen Korrosionsschutzsystem in Kontakt sind, über einen Trenntransformator der Klasse II oder III nach EN 61140 abgrenzen;
- e) Anlageteile, die mit der geschützten Anlage über eine Abgrenzeinheit (Gleichstrom) in Kontakt sind, zwischen dem elektrischen Anlagenteil und der allgemeinen Erdungsanlage erden.

Es sollte beachtet werden, dass die Position der Isolierstücke genau abgewogen werden sollte, insbesondere im Fall von Streuströmen aus Gleichstromanlagen. Dies erfordert detaillierte Messungen und Analysen der Bodenoberflächengradienten (siehe EN 50162).

Der Schutz gegen Schritt- und Berührungspotentiale wird in EN 50443 behandelt. Umhüllung

Die zu schützenden Anlagen sollten in der Regel mit einer Barriereumhüllung versehen werden, die so ausgewählt wird, dass sie die betrieblichen Anforderungen der Anlage erfüllt und mit dem kathodischen Korrosionsschutz kompatibel ist.

Die Barriereumhüllung ist der als Erstes greifende Schutz gegen Korrosion und muss in Übereinstimmung mit den Normen aufgebracht werden. Anleitungen oder Empfehlungen können bei Herstellern von Beschichtungsmaterialien erhältlich sein und dürfen verwendet werden.

Durch eine Barriereumhüllung wird der Schutzstrombedarf I_p verringert, die Stromverteilung verbessert, der Schutzbereich erweitert und, aufgrund des verringerten Strombedarfs, die Wahrscheinlichkeit der Beeinträchtigung durch Fremdanlagen minimiert.

8 Hilfreiche Daten und Planungsüberlegungen

8.1 Allgemeines

Für die fachgerechte Planung eines kathodischen Korrosionsschutzsystems sind genaue Angaben über die zu schützende Anlage unerlässlich. Es werden Einzelheiten zur Anlage, den Betriebsbedingungen und der vorgesehenen Lebensdauer benötigt. Bei der Planung sollten die härtesten Einsatzbedingungen berücksichtigt werden.

Vor der Planung des kathodischen Korrosionsschutzes einer Anlage sollte eine Standorterhebung durchgeführt werden. Bei früheren Standorterhebungen gewonnene Informationen, die für die geplante Anlage relevant sind, dürfen für die Planung verwendet werden.

Die gewonnenen Konstruktionsinformationen sollten in einem Bericht zusammengefasst werden.

8.2 Angaben zur Anlage

Angaben zur Anlage können Folgendes umfassen:

- Komponenten oder Teile der Anlage;
- Hauptabmessungen und technische Kennwerte;
- topografische Informationen;
- Angaben zu Werkstoffen;
- Standort (z. B. geographische Koordinaten);
- Umgebung und Medium;
- Angaben zur Umhüllung;
- Angaben zu Installation und Aufbau;
- die zugehörige Erdungsanlage (z. B. Blitzschutz).

Die Oberfläche der Anlage muss mit Hilfe von Maßzeichnungen berechnet oder auf der Grundlage von Herstellerinformationen bestimmt werden.

8.3 Einsatzbedingungen

Hinsichtlich der Einsatzbedingungen sollten folgende Informationen berücksichtigt werden:

- Angaben über das zu transportierende oder zu lagernde Medium;
- Betriebsbedingungen der Anlage (z. B. Betriebstemperatur);
- die geforderte Lebensdauer des kathodischen Korrosionsschutzsystems;
- das Baujahr (bei bestehenden Anlagen);
- Angaben zu angrenzenden Fremdanlagen im Boden oder in Wässern;
- Umgebungsbedingungen;
- Verfügbarkeit von Spannungsversorgungen;
- ein bestehendes kathodisches Korrosionsschutzsystem;
- Streustrombeeinflussung durch Gleichströme;
- Wechselstrombeeinflussung;
- Angaben zu bisheriger Korrosion bzw. dem bisherigen kathodischen Korrosionsschutz (bei bestehenden Anlagen).

9 Konstruktion

9.1 Allgemeines

Zur Umsetzung eines kathodischen Korrosionsschutzsystems in einer metallenen Anlage werden detaillierte Informationen über diese Anlage in ihrer Umgebung benötigt. Es ist notwendig, die elektrischen Grenzen der Anlage und ihre Verbindungen mit anderen metallenen Anlagen (falls vorhanden) zu kennen.

Bei neuen Anlagen sind Angaben erforderlich, mit denen sowohl die Stromanforderungen für den kathodischen Korrosionsschutz als auch die möglichen Anodenstandorte festgelegt werden können. Die wichtigsten Informationen zu der Anlage sind:

- Form und Größe,
- Werkstoff,
- Art der Umhüllung (falls vorhanden) und Anwendungskriterien,
- Angaben zu Verbindungen zu anderen Anlagen (z. B. Verbindung mit elektrischer Trennung),
- Wartungsintervalle (bei Anlagen, die möglicherweise regelmäßig überprüft werden müssen),
- Einstufung des gefährdeten Bereichs (falls in einem gefährdeten Bereich – siehe EN 60079-10-1).

9.2 Vorgesehene Lebensdauer

Der Eigentümer der Anlage sollte eine vorgesehene Lebensdauer für das kathodische Korrosionsschutzsystem festlegen. Die vorgesehene Lebensdauer kann die Auswahl des Werkstoffs für den kathodischen Korrosionsschutz und die Art des anzuwendenden kathodischen Korrosionsschutzes (z. B. Fremdstrom und/oder galvanische Anoden) beeinflussen.

Die vorgesehene Lebensdauer beeinflusst die Konstruktion des kathodischen Korrosionsschutzes, hauptsächlich in Bezug auf Anodenwerkstoff, -größe und Umhüllungs-Reduktionsfaktor, aber auch bei der Bestimmung akzeptabler Korrosionsgeschwindigkeiten. Es ist unter Umständen nicht immer möglich, einen vollständig wirksamen kathodischen Korrosionsschutz zu erreichen, ohne umfassende strukturelle Änderungen an der Anlage selbst oder an den unterschiedlichen damit verbundenen Anlageteilen vorzunehmen. In einigen Sonderfällen kann ein teilweise wirksames kathodisches Korrosionsschutzsystem, das die Korrosionsgeschwindigkeit bedeutend verringert, ein akzeptabler Kompromiss sein.

9.3 Angrenzende Anlagen und externe Stromquellen

Die zu schützende Anlage befindet sich möglicherweise in der Nähe anderer metallener Anlagen, kathodisch korrosionsgeschützt oder nicht, und/oder angrenzenden Gleich- oder Wechselstromquellen. Diese angrenzenden Strukturen und externen Stromquellen können den auf die zu schützende Anlage angewandten kathodischen Korrosionsschutz beeinträchtigen.

Im Gegenzug kann der angewandte kathodische Korrosionsschutz auch schädliche Auswirkungen auf angrenzende Anlagen haben, wenn diese sich im Bereich der von den Anodenfeldern oder der Anlage selbst ausgehenden Störungen befinden.

Während der Planungsphase müssen Informationen über alle Anlagen in Böden oder Wässern in der Nähe der zu schützenden Anlage sowie in der Nähe der geplanten Anodenfelder berücksichtigt werden.

9.4 Elektrische Längsleitfähigkeit/elektrische Trennung

Die Anlage muss elektrisch leitend sein, wenn sie durch eine einzige Stromquelle für den kathodischen Korrosionsschutz geschützt werden soll. Wenn die Anlage nicht elektrisch leitend ist, sind elektrische Potentialverbindungen erforderlich, um ihren Schutz durch ein einziges kathodisches Korrosionsschutzsystem zu ermöglichen.

Elektrische Trennungen können absichtlich in der Anlage installiert werden, um unerwünschte Verbindungen mit anderen Anlagen zu vermeiden oder die Auswirkungen nicht akzeptabler Wechsel- und/oder Gleichstrombeeinflussung zu verringern. Eine absichtliche Trennung kann durch Verwendung von Isoliervorrichtungen, wie Isolierflanschsätzen, monolithischen Isolierstücken oder nicht leitenden Abschnitten der Anlage, erreicht werden.

Direkte Verbindungen zu Erdungsanlagen sollten vermieden werden. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt werden kann, muss diese Situation bei der konstruktiven Gestaltung berücksichtigt werden, damit die Kriterien der vorliegenden Norm erfüllt werden können. Ist dies nicht möglich, müssen die in EN 14505 festgelegten Kriterien angewandt werden.

9.5 Schutzhüllungen

Organische Umhüllungen sind zwar nicht vollständig undurchlässig gegenüber Sauerstoff und Wasser, sie verringern jedoch die Korrosionsgeschwindigkeit erheblich, wenn sie auf die Oberfläche eines Metalls aufgebracht werden.

Wenn auf eine umhüllte Oberfläche ein kathodischer Korrosionsschutz angewandt wird, dient die Umhüllung als wesentliche Widerstandsbarriere gegen Stromfluss, und der Strom fließt zu den Fehlstellen.

Beim kathodischen Korrosionsschutz verringern Umhüllungen die freiliegende Metalloberfläche; dadurch reduzieren sie den Gesamtstrombedarf für den Schutz und verbessern die Stromverteilung.

Angaben zu den Umhüllungskennwerten und der Umhüllungsqualität vor und nach der Errichtung der Anlage, zum mittleren Umhüllungswiderstand bzw. spezifischen Anlage/Boden-Widerstand, zum Umhüllungs-Reduktionsfaktor oder zum Schutzstrombedarf müssen berücksichtigt werden.

Empfehlungen zur Umhüllung für jede praktische Anwendung sind in den jeweiligen Normen angegeben.

Wenn metallische Überzüge verwendet werden, muss die Auslegung des kathodischen Korrosionsschutzes auf der für das Umhüllungsmetall erforderlichen Stromdichte basieren.

9.6 Strombedarf

Der zur Erfüllung des Schutzkriteriums erforderliche Strom schwankt je nach Art des zu schützenden Metalls und den herrschenden Umgebungsbedingungen.

Der Strombedarf I kann entweder durch Prüfungen vor Ort (falls möglich) mithilfe temporärer Einrichtungen für den kathodischen Korrosionsschutz, durch Berechnungen oder auf Basis der Erfahrungen der Anlagenbetreiber mit ähnlichen Konfigurationen bestimmt werden.

Die Beurteilung des Strombedarfs für den kathodischen Korrosionsschutz durch Berechnungen sollte auf folgender Basis durchgeführt werden:

- Gesamtoberfläche S der Außenfläche der Anlage, die in Kontakt mit der Umgebung steht;
- Stromdichte j des blanken Metalls;
- Umhüllungs-Reduktionsfaktor f_c bei vorhandener Umhüllung.

Zusätzlich kann ein Sicherheitsfaktor k ($k > 1$) einberechnet werden, um Unsicherheiten wie Stromabschwächung oder Abschirmeffekte zu berücksichtigen.

Der Gesamtstrombedarf I_{tot} wird mithilfe von Gleichung (3) berechnet:

$$I_{\text{tot}} = S \times k \times j \times f_f \quad (3)$$

Dabei ist

- S : m^2 ;
- j : mA/m^2 ;
- k und f_f ohne Einheit.

Die Auswahl der Parameter j , k und f_f sollte begründet und dokumentiert werden.

Typische Auslegungsstromdichten bei Anlagen aus blankem Stahl oder Gusseisen liegen im Bereich von $100 \text{ mA}/\text{m}^2$ bis $1 \text{ A}/\text{m}^2$ und sind hauptsächlich abhängig vom Sauerstoffdiffusionsgrad an der Metalloberfläche und dem Elektrolytlösungswiderstand zur Erfüllung der Kriterien für den kathodischen Korrosionsschutz.

Der Strombedarf einer umhüllten Anlage steigt mit der Zeit, da die Umhüllung verschleißt. Es sollte eine ausreichende Kapazität für den kathodischen Korrosionsschutz vorgesehen werden, damit der Schutz auch bei Verschleiß der Umhüllung aufrechterhalten bleibt.

Der letztendliche Umhüllungs-Reduktionsfaktor f_f ist in Gleichung (4) angegeben:

$$f_f = f_i + (\Delta f \times t_{dl}) \quad (4)$$

Dabei ist

f_i	der anfängliche Umhüllungs-Reduktionsfaktor zu Beginn des Anlagenbetriebs;
Δf	die durchschnittliche jährliche Zunahme des Umhüllungs-Reduktionsfaktors;
t_{dl}	die vorgesehene Lebensdauer, in Jahren.

Empfehlungen zu den für die praktische Anwendung zu verwendenden Stromdichten und Umhüllungs-Reduktionsfaktoren sind in den jeweiligen Normen angegeben.

9.7 Systeme mit galvanischen Anoden

9.7.1 Allgemeine Betrachtungen

Ein kathodisches Korrosionsschutzsystem mit galvanischen Anoden besteht aus einer oder mehreren galvanischen Anoden und einer elektrischen Verbindung mit der Anlage. Die Anoden und die Anlage werden in einer herkömmlichen Elektrolytlösung installiert. Das Potential der Anoden muss negativer sein, als das Schutzpotential der zu schützenden Anlage.

In diesem Zustand liegt eine treibende Spannung an, die einen kathodischen Korrosionsschutzstrom erzeugt, der durch die Elektrolytlösung zu der Anlage fließt.

Der an galvanischen Anoden erzeugte Effektivstrom hängt von der treibenden Spannung der Anode und den Widerständen zwischen der Anode und der Anlage (Kathode) ab.

9.7.2 Nutzung von Systemen mit galvanischen Anoden

Systeme mit galvanischen Anoden werden im Allgemeinen verwendet, um kathodischen Korrosionsschutz für Anlagen bereitzustellen, die nur einen geringen Strombedarf aufweisen (z. B. kleine freiliegende Anlage oder große gut umhüllte Anlage). Sie sind im Allgemeinen in der Lage, in Elektrolytlösungen mit geringem spezifischem Widerstand (typischerweise unter $50 \Omega \cdot m$) einen höheren kathodischen Korrosionsschutzstrom bereitzustellen.

Systeme mit galvanischen Anoden können auch für freiliegende oder schlecht umhüllte Anlagen verwendet werden, bei denen nur einige bestimmte Teile oder Elemente (z. B. Ventile, Straßenquerungen, kurze Verrohrungen usw.) geschützt werden müssen.

Darüber hinaus sind Systeme mit galvanischen Anoden zweckdienlich, wenn keine externe Stromquelle (für Fremdstromanoden) zur Verfügung steht oder die Gefahr einer inakzeptabel hohen Beeinflussung von angrenzenden Anlagen besteht.

Galvanische Anoden mit geringerer treibender Spannung (typischerweise aus Zink) können auch verwendet werden, wenn die Gefahr eines übermäßigen Schutzes besteht, der zu Wasserstoffbildung führen kann.

Außerdem können galvanische Anoden in Verbindung mit einer Fremdstromschutzanlage in Bereichen verwendet werden, in denen der Grad des kathodischen Korrosionsschutzes als unzureichend angesehen wird.

9.7.3 Konstruktive Gestaltung eines Systems mit galvanischen Anoden

Systeme mit galvanischen Anoden müssen so ausgelegt sein, dass sichergestellt ist, dass an der Anlage über die gesamte Lebensdauer hinweg ein wirksamer kathodischer Korrosionsschutzstrom bereitgestellt wird. Bei der Auslegung ist die Auswirkung des Anodenverschleißes auf die Leistungsfähigkeit während der gesamten Lebensdauer des Systems zu berücksichtigen. Der Hauptgrund für diese Veränderung ist, dass sich die Geometrie und die Masse der Anode durch den Verzehr verändern, was den Widerstand der Anode gegen die Elektrolytlösung erhöht und infolgedessen den verfügbaren Strom verringert.

Wird festgestellt, dass ein Austausch der Anoden während der Lebensdauer der Anlage durchführbar ist, kann die Auslegung auf einem regelmäßigen Austausch der Anoden während der Lebensdauer der Anlage basieren.

Für die Planung sind folgende Informationen erforderlich:

- Größe, Form und Ausmaß der Anlage;
- Spezifikation der Umhüllung und Verfahren für ihre Aufbringung, damit die Qualität und die wahrscheinliche Umhüllungsreduktion eingeschätzt werden können;
- Elektrolytlösungswiderstand an wichtigen Standorten;
- Standortinformationen, damit der Standort der Anoden geplant werden kann;
- geforderte Lebensdauer (oder Wartungsintervall).

In Bezug auf diese Informationen sollten folgende Schritte nacheinander ausgeführt werden:

- Bestimmung der Oberfläche der Anlage;
- Abschätzung der freiliegenden Oberfläche der Anlage am Ende der Lebensdauer (oder am Ende jedes Wartungsintervalls/Austauschintervalls der Anode);
- Bestimmung des Gesamtstrombedarfs basierend auf der für das blanke Metall erforderlichen Stromdichte;
- Auslegung eines Anodensystems, einschließlich der Auswahl von Anodentyp, -form, -größe und -bettungsmasse;
- Bestimmung des Anode/Elektrolytlösung-Widerstands mithilfe der Formeln aus den Lehrbüchern und Leitfäden (siehe z. B. [4]);
- Bestimmung des Anlage/Elektrolytlösung-Widerstands (wenn dieser im Vergleich zum Anode/Elektrolytlösung-Widerstand nicht vernachlässigbar ist);
- Bestimmung der treibenden Spannung;
- Bestimmung des Stroms, den die Anode bereitstellen kann;
- Identifizierung von Anodenstandorten zur Verteilung des Stroms über die gesamte Anlage;
- Verifizierung, dass die Anoden in der vorgesehenen Anzahl und an den geplanten Standorten den erforderlichen Strom bereitstellen können;
- Bestimmung der theoretischen Anodenlebensdauer basierend auf Anodenmasse, bereitgestelltem Strom und Kapazität der Anodenlegierung, unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades.

Alternative Planungsansätze nutzen die kathodische Schutzstromdichte der gesamten Oberfläche der Anlage und nicht nur die des blanken Stahls. In einem solchen Fall sind die Berechnungsschritte dieselben, der tatsächliche Strombedarf kann jedoch abweichen.