

DIN EN ISO 15589-1

ICS 75.200

Einsprüche bis 2017-06-21

Entwurf

**Erdöl- und Erdgasindustrie –
Kathodischer Schutz für Transportleitungssysteme –
Teil 1: On-land pipelines (ISO 15589-1:2015);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 15589-1:2017**

Petroleum, petrochemical and natural gas industries –
Cathodic protection of pipeline systems –
Part 1: On-land Pipelines (ISO 15589-1:2015);
German and English version prEN ISO 15589-1:2017

Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel –
Protection cathodique des systèmes de transport par conduites –
Partie 1: Conduites terrestres (ISO 15589-1:2015);
Version allemande et anglaise prEN ISO 15589-1:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-04-21 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 noeg@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 Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG), 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 186 Seiten

DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG)
DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 15589-1 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 15589-1:2017 durch das Technische Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ übernommen, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 109-00-02 AA „Fernleitungssysteme — Spiegelausschuss zu ISO/TC 67/SC 2“ des DIN-Normenausschusses Nichteisenmetalle (FNNE) 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.

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

IEC 60079-10-1	siehe DIN EN 60079-10-1
IEC 60529	siehe DIN EN 60529
IEC 62305-4	siehe DIN EN 62305-4
ISO 8044	siehe DIN EN ISO 8044
ISO 10012	siehe DIN EN ISO 10012
ISO 15589-2,	siehe DIN EN 15589-2
ISO 21809 (all parts)	siehe DIN EN ISO 21809 (alle Teile)

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 15589-2, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Kathodischer Schutz für Transportleitungssysteme — Teil 2: Offshore-Pipelines*

DIN EN 60079-10-1, *Explosionsgefährdete Bereiche — Teil 10-1: Einteilung der Bereiche — Gasexplosionsgefährdete Bereiche*

DIN EN 60529, *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)*

DIN EN 62305-4, *Blitzschutz — Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen*

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

DIN EN ISO 10012, *Messmanagementsysteme — Anforderungen an Messprozesse und Messmittel*

DIN EN ISO 21809 (alle Teile), *Erdöl und Erdgasindustrie — Umhüllungen für erd- und wasserverlegte Rohrleitungen in Transportsystemen*

Erdöl- und Erdgasindustrie — Kathodischer Schutz für Transportleitungssysteme — Teil 1: On-land pipelines (ISO 15589-1:2015)

Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel — Protection cathodique des systèmes de transport par conduites — Partie 1 : Conduites terrestres (ISO 15589-1:2015)

Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Cathodic protection of pipeline systems — Part 1: On-land pipelines (ISO 15589-1:2015)

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	9
4 Symbole und Abkürzungen	13
4.1 Symbole	13
4.2 Abkürzungen	14
5 Qualifikation des CP-Personals	15
6 Kathodenschutzkriterien	15
6.1 Allgemeines	15
6.2 Schutzpotentiale	16
6.3 Alternative Verfahren	17
6.3.1 100 mV kathodische Potentialverschiebung	17
6.3.2 Andere Verfahren	18
6.4 Kriterien für die Anwesenheit von Wechselstrom	18
7 Voraussetzungen für die Anwendung des Kathodenschutzes	18
7.1 Allgemeines	18
7.2 Elektrische Leitfähigkeit	18
7.3 Elektrische Isolierung	18
7.3.1 Allgemeines	18
7.3.2 Punkte	19
7.3.3 Isolierverbindungen	19
7.3.4 Innere Korrosionsrisiken an Isolierverbindungen	21
7.3.5 Kontakte zwischen metallischen Bauwerken	21
7.3.6 Elektrisches Erdanschlussystem	22
7.4 Blitz- und Überspannungsschutz	23
7.5 Beschichtung	24
7.5.1 Allgemeines	24
7.5.2 Werksseitige Beschichtungen	24
7.5.3 Beschichtung der Montageverbindung	24
7.5.4 Beschichtung von Rohrleitungen in geschlossener (grabenloser) Bauweise	24
7.5.5 Luft-Elektrolyt-Schnittstelle	25
7.5.6 Kompatibilität von Beschichtungen und Umhüllungen mit dem Kathodenschutz	25
7.5.7 Wärmeisolierung	25
7.5.8 Armierte Betonummantelung	26
7.6 Auswahl der Rohrgraben-Bettungsmasse	26
7.7 Eingrabfutterrohre für Rohrleitungen	26
7.7.1 Allgemeines	26
7.7.2 Futterrohre, die Kathodenschutzstrom abschirmen	27
7.7.3 Futterrohre, die Kathodenschutzstrom leiten	27
7.8 Ausrüstung zur Reduzierung der Wechselstrombeeinflussung	27
7.9 Ausrüstung zur Reduzierung der Gleichstrombeeinflussung	28

8	Grundlegende Anforderungen an die Konstruktion des Kathodenschutzes.....	28
8.1	Allgemeines	28
8.2	Grundlegende Informationen für die Kathodenschutz-Konstruktion.....	28
8.3	Inhalt des Kathodenschutzberichts	29
8.4	Kathodenschutzstrombedarf	30
8.4.1	Berechnung des theoretischen Gesamtstrombedarfs.....	30
8.4.2	Strombedarf auf der Grundlage der Beschichtungs-Reduktionsfaktoren	31
8.4.3	Strombedarf basierend auf den Stromdichtewerten für beschichtete Rohrleitungen.....	32
8.5	Kathodenschutzsystem	33
8.5.1	Kathodenschutzkabel	33
8.5.2	Kabelverbindung	35
8.5.3	Vorsichtsmaßnahmen in Bezug auf Verteilerkästen und Messstellen	36
8.6	Vorübergehender Schutz.....	37
8.7	Sonderfall bestehender Rohrleitungen.....	37
8.7.1	Allgemeines	37
8.7.2	Parallele Rohrleitungen.....	38
8.7.3	Parallelität zu oder Kreuzung mit Wechselstromnetzen	38
8.8	Grabenlose Installationsverfahren.....	38
9	Fremdstromschutzanlagen.....	39
9.1	Allgemeines	39
9.2	Stromversorgung.....	39
9.3	Erdnetze	40
9.3.1	Allgemeines	40
9.3.2	Tiefe Erdnetze.....	41
9.3.3	Flache Erdnetze.....	42
9.3.4	Fremdstromschutzanoden und leitende Bettungsmasse	42
9.4	Ausgangssteuerung.....	44
9.4.1	Allgemeines	44
9.4.2	Stromverteilung für mehrere Rohrleitungen	44
9.4.3	Potentialsteuerung	44
10	Galvanische Anodensysteme.....	45
10.1	Allgemeines	45
10.2	Konstruktionsanforderungen.....	46
10.3	Zink-Anoden.....	46
10.4	Magnesium-Anoden.....	47
10.5	Konstruktion des Anodensystems	49
10.6	Anodenbettungsmasse	51
10.7	Kabel und Kabelverbindungen.....	51
10.8	Anoden-Installation.....	51
11	Überwachungseinrichtungen.....	51
11.1	Allgemeines	51
11.2	Lage der Prüfstationen.....	51
11.3	Beschreibung von Messstellen	53
11.4	Nutzung von Messproben und Probeblechen	53
11.5	Verbindung zu anderen Rohrleitungen.....	53
11.6	Prüfeinrichtungen an Kreuzungen in Futterrohren.....	53
11.7	Prüfeinrichtungen an Isolierverbindungen	54
11.8	Messstellen zur Überwachung des Leitungsstroms.....	54
11.9	Prüfeinrichtungen für Ableitpunkte	54
11.10	Sonstige Überwachungseinrichtungen.....	54
12	Inbetriebnahme	54
12.1	Allgemeines	54
12.2	Vorläufige Prüfungen.....	55
12.3	Start	56

12.3.1	Fremdstromschutzanlagen	56
12.3.2	Galvanische Anoden	56
12.3.3	Streustromableitungsanlagen	57
12.3.4	Messstellen.....	57
12.4	Prüfung der Wirksamkeit des Kathodenschutzes.....	57
12.4.1	Allgemeines	57
12.4.2	Messung des Gleichstrom- und Wechselstrompotentials.....	57
12.4.3	Strommessungen	58
12.4.4	Anpassungen	58
12.5	Inbetriebnahmebericht.....	58
12.5.1	Installationsdokumentation.....	58
12.5.2	Inbetriebnahmемessungen.....	59
13	Überwachung, Inspektion und Wartung.....	60
13.1	Allgemeines	60
13.2	Implementierung der Inspektion	61
13.3	Inspektionsintervalle.....	61
13.4	Fernüberwachung	63
13.5	Spezielle Untersuchungen.....	63
13.6	Überwachungsplan	63
13.7	Überwachungsgeräte	64
13.8	Instandhaltung und Instandsetzung.....	65
14	Dokumentation	65
14.1	Konstruktionsdokumentation.....	65
14.1.1	Allgemeines	65
14.1.2	Konstruktionsdetails und Installationsverfahren	66
14.2	Dokumentation der Inbetriebnahme.....	67
14.3	Betriebs- und Instandhaltungsdokumentation.....	67
14.3.1	Allgemeines	67
14.3.2	Inspektions- und Überwachungsdaten.....	68
14.3.3	Instandhaltungsprotokolle	68
Anhang A (normativ)	Kathodenschutzmessungen.....	69
Anhang B (normativ)	Elektrische Beeinflussung.....	78
Anhang C (informativ)	Fehlzustandserkennung von Fremdstromschutzanlagen im Betrieb	82
Anhang D (informativ)	Beschreibung spezieller Untersuchungen	84
Anhang E (informativ)	Schutzdämpfung.....	92
Anhang F (informativ)	Elektrische Prüfung von Isolierverbindungen vor Installation.....	95
Literaturhinweise.....		97

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 15589-1:2015 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 15589-1:2017 durch das Technische Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ übernommen, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 15589-1:2015 wurde vom CEN als prEN ISO 15589-1:2017 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 67, *Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries*, Unterkomitee SC 2, *Pipeline transportation systems*.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 15589-1:2003), die technisch überarbeitet wurde, mit den folgenden Änderungen:

- die kathodischen Schutzkriterien wurden durch weitere klärende Informationen zur Anwendung der Kriterien erweitert;
- die Konstruktionsanforderungen wurden ausführlicher beschrieben und die Periodizitäten für die Inspektion kathodischer Systeme wurden erweitert. Darüber hinaus wurde die Option der Fernüberwachung hinzugefügt;
- die Anforderungen für Messungen und Prüfungen während der Inbetriebnahme wurden ausführlicher beschrieben.

ISO 15589 besteht aus den folgenden Teilen unter dem allgemeinen Titel: *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Cathodic protection of pipeline systems*:

- Part 1: *On-land pipelines*
- Part 2: *Offshore pipelines*

Einleitung

Der kathodische Schutz von Rohrleitungen wird durch die Versorgung mit ausreichendem Gleichstrom an der äußeren Leitungsoberfläche erreicht, sodass das Stahl-Elektrolytpotential auf Werte gesenkt wird, bei denen die externe Korrosion auf ein unwesentliches Maß gesenkt wird.

Der kathodische Schutz wird normalerweise in Kombination mit einem geeigneten Schutzbeschichtungssystem verwendet, um die Außenfläche von Stahlrohrleitungen vor Korrosion zu schützen.

Anwender dieses Teils der ISO 15589 werden darauf hingewiesen, dass weitere oder andere Anforderungen für individuelle Anwendungen erforderlich sein können. Dieser Teil der ISO 15589 dient nicht dazu, die Nutzung anderer Geräte oder technischer Lösungen für einzelne Anwendungen einzuschränken. Dies gilt insbesondere im Fall neuer oder weiterentwickelter Technologien. Falls eine Alternative angeboten wird, müssen alle Abweichungen von diesem Teil der ISO 15589 identifiziert und dokumentiert werden.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der ISO 15589 legt Anforderungen fest und enthält Empfehlungen hinsichtlich Untersuchungen vor der Installation sowie Konstruktion, Werkstoffen, Ausrüstung, Installation, Inbetriebnahme, Betrieb, Inspektion und Instandhaltung von Kathodenschutzsystemen für Rohrleitungssysteme an Land, wie in ISO 13623 oder EN 14161 für die Erdöl- und Erdgasindustrie und in EN 1594 oder EN 12007-1 und EN 12007-3 für die Gasversorgungsindustrie in Europa definiert.

Der gesamte Inhalt dieses Teils von ISO 15589 ist anwendbar auf Rohrleitungen an Land und Rohrleitungssysteme, die in anderen Industriezweigen verwendet werden und andere Medien transportieren, wie industrielle Gase, Gewässer oder Schlämme.

Dieser Teil von ISO 15589 gilt für erdverlegte Rohrleitungen, Anlandungen von Offshore-Rohrleitungsabschnitten, die durch Kathodenschutzanlagen an Land geschützt sind, sowie für in Gewässern liegende Abschnitte von Rohrleitungen an Land, wie bei Fluss- oder Seeüberquerungen.

Dieser Abschnitt der ISO 15589 legt Anforderungen an Rohrleitungen aus unlegiertem Stahl, nichtrostendem Stahl, Gusseisen, verzinktem Stahl oder Kupfer fest. Werden andere Rohrleitungswerkstoffe eingesetzt, werden die anzuwendenden Kriterien unter der Verantwortung des Rohrleitungs-Betreibers festgelegt.

Dieser Teil von ISO 15589 gilt nicht für Rohrleitungen aus Stahlbeton, für die die Norm EN 12696 angewendet werden kann.

ANMERKUNG Besondere Bedingungen treten gelegentlich auf, bei denen der Kathodenschutz unwirksam oder nur teilweise wirksam ist. Solche Bedingungen können eine Abschirmung (z. B. enthaftete Beschichtungen, thermisch isolierende Beschichtungen, felsiger Boden usw.) sowie ungewöhnliche Verunreinigungen im Elektrolyt umfassen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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*).

ISO 8044, *Corrosion of metals and alloys — Basic terms and definitions*

ISO 10012, *Measurement management systems — Requirements for measurement processes and measuring equipment*

ISO 13623, *Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems*

ISO 13847, *Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems — Welding of pipelines*

ISO 21809 (all parts), *Petroleum and natural gas industries — External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems*

IEC 60079-10-1, *Explosive atmospheres — Part 10-1: Classification of areas — Explosive gas atmospheres*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

EN 1594, *Gasinfrastruktur — Rohrleitungen für einen maximal zulässigen Betriebsdruck über 16 bar — Funktionale Anforderungen*

EN 12007-3, *Gasinfrastruktur — Rohrleitungen mit einem maximal zulässigen Betriebsdruck bis einschließlich 16 bar — Teil 3: Besondere funktionale Anforderungen für Stahl*

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

EN 14161 *Erdöl- und Erdgasindustrie — Rohrleitungstransportsysteme (ISO 13623:2009 modifiziert)*

EN 50164-3, *Blitzschutzbauteile — Teil 3: Anforderungen an Trennfunkentrecken*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe in ISO 8044 sowie die folgenden Begriffe.

3.1

Anodenbettungsmasse

Material, in das eine im Erdboden platzierte Anode eingebettet wird

3.2

Potentialverbindung

ein metallischer Leiter, meist aus Kupfer, zwischen zwei Punkten derselben Anlage oder an zwei verschiedenen Anlagen

3.3

kathodisches Korrosionsschutzsystem

alle aktiven und passiven Komponenten für den aktiven externen Korrosionsschutz und dessen Überwachung

Anmerkung 1 zum Begriff: Kathodischer Schutz wird entweder durch Fremdstrom oder durch galvanische Anoden unter Verwendung einer oder mehrerer Stationen erzielt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Fremdstromsysteme und galvanische Anodensysteme bestehen aus der gesamten Ausrüstung, die für die Anwendung des kathodischen Schutzes erforderlich ist, wie z. B. Fremdstromstationen, galvanische Anoden, Potentialverbindungen und Isolierverbindungen.

3.4

Kupon

Metallprobe mit definierten Maßen aus einem Metall äquivalent zum Metall der Rohrleitung

3.5

Beschichtungs-Reduktionsfaktor

Die Stromdichte, die erforderlich ist, um eine beschichtete Stahloberfläche im Vergleich zu einer blanken Stahloberfläche zu polarisieren

3.6

Abgrenzeinheit (Gleichstrom)

Ausrüstung, die einen niederimpedanten Pfad für Wechselstrom und einen hohen Widerstand für Gleichstrom liefert

BEISPIEL Polarisationszellen, Kondensatoren oder Diodenbaugruppen.

3.7

Minuskabelanschluss

Stelle, an der das Minuskabel, über das der Schutzstrom zurück zur Schutzstromquelle fließt, mit der geschützten Rohrleitung verbunden ist

3.8

Streustromableitung

Ableitung eines Streustromes zwischen Strukturen durch eine beabsichtigte Verbindung

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Vorrichtungen zur Streustromableitung (direkte Streustromableitung, Streustromableitung mit Widerstand, gerichtete Streustromableitung und erzwungene Streustromableitung) siehe EN 50162.

3.9

Streustromableitungsanlage

Ausrüstung und Materialien, die benötigt werden, um Streuströme von betroffenen Systemen abzuleiten

3.10

galvanische Anode

Elektrode, die durch galvanische Kopplung Strom für den kathodischen Schutz liefert

3.11

galvanische Anodenanlage

umfasst die für den kathodischen Korrosionsschutz durch galvanische Anoden benötigten Einrichtungen und Materialien

Anmerkung 1 zum Begriff: Solche Materialien und Ausrüstungen umfassen galvanische Anoden und Kabel.

3.12

geologische Zelle

Korrosionselement zwischen zwei verschiedenen Teilen einer einzelnen metallischen Rohrleitung, die mit unterschiedlichen Böden in Kontakt sind

3.13

Grundbett

Installation aus in Böden oder Wässern installierten galvanischen Anoden oder Fremdstromanoden

3.14

Fremdstromanode

Elektrode, die den kathodischen Schutzstrom von einer Fremdstromquelle erhält

3.15

Fremdstromschutzanlage

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Solche Materialien und Ausrüstungen umfassen Fremdstromanoden, Kabel und eine Gleichstromquelle.

3.16

Sofort-Ausschalt-Potential

Das Ausschaltpotential, das nach einer kurzen Verzögerung nach dem Ausschalten gemessen wird, um sich so weit wie möglich dem IR-freien Potential anzunähern

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine typische Verzögerung für direkte Messungen an der Rohrleitung beträgt etwa 300 ms, um den Einfluss von Spannungsspitzen zu verhindern. Auf Kupons werden kürzere Verzögerungen verwendet.

3.17

IR-Abfall

Spannung, die sich als das Produkt aus allen, durch den kathodischen Schutzkreis fließenden Strömen und den auf dem Stromweg vorhandenen Widerständen (in erster Linie die Elektrolytlösung und die Rohrleitung) ergibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Definition ist aus dem Ohmschen Gesetz abgeleitet ($U = I \times R$).

3.18

IR-freies Potential

polarisiertes Potenzial

Rohr/Elektrolyt-Potential ohne den Spannungsfehler, der durch den IR-Abfall aufgrund des Schutzstroms oder eines anderen Stroms verursacht wird

3.19

Isolierverbindung

den elektrischen Durchgang verhinderndes Bauteil zwischen zwei Rohrleitungsabschnitten, das eingebaut wird, um den Elektrizitätsfluss zwischen ihnen zu unterbrechen

BEISPIEL Monoblock-Isolierverbindung, Isolierflansch.

3.20

Trennfunkkenstrecke

TFS

Bauteil mit einer Trennstrecke, um elektrisch leitende Teile der Installation zu isolieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Falle eines Blitzeinschlags werden die einzelnen Bestandteile der Installation als Folge der Entladung vorübergehend leitend verbunden.

3.21

Lokale Erdung

geerdete metallische Elektrode, die nicht direkt elektrisch mit einem anderen Haupterdungssystem verbunden ist

3.22

Messpunkt

Stelle, an der eine Messung vorgenommen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Falle einer Messung des Rohrleitung/Elektrolytlösung-Potentials bezieht sich das auf die Stelle der Referenzelektrode.

3.23

Einschaltpotential

Rohrleitung/Elektrolytlösung-Potential, das bei kontinuierlich arbeitendem kathodischen Schutzsystem gemessen wird

3.24

Ausschaltpotential

Rohrleitung/Elektrolytlösung-Potential, das nach dem Ausschalten aller angewendeten kathodischen Schutzströme gemessen wird, mit dem Ziel, sich einem IR-freien Potential anzunähern

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verzögerung vor den Messungen variiert je nach den Umständen.

3.25

Rohrleitung/Elektrolytlösung-Potential

Potentialunterschied zwischen einer Rohrleitung (oder einem Kupon) und einer spezifizierten Referenzelektrode in Kontakt mit dem Elektrolyt an einer Stelle, die der Rohrleitung ausreichend nahe ist, ohne diese tatsächlich zu berühren

3.26

Lochfraßindex

PREN

Zahl, die entwickelt wurde, um die Lochfraßbeständigkeit von nichtrostendem Stahl auf der Grundlage der Anteile der Elemente Cr, Mo, W und N in der chemischen Zusammensetzung der Legierung wiederzugeben und vorauszuberechnen

3.27

Polarisation

Änderung des Rohrleitung/Elektrolyt-Potentials, die durch das Anlegen eines externen elektrischen Stroms verursacht wird

3.28

Messprobe

Einrichtung einschließlich Kupon, die Messungen der Parameter ermöglicht, welche verwendet werden, um die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes und/oder das Korrosionsrisiko zu beurteilen

3.29

Schutzpotential

Rohrleitung/Elektrolyt-Potential, bei dem die Metallkorrosionsrate für die Rohrleitung akzeptabel ist

3.30

Bezugselektrode

Elektrode, die ein zeitlich konstantes und reproduzierbares Potential aufweist und als Referenz bei der Messung von Elektrodenpotentialen benutzt wird

[QUELLE: ISO 8044]

3.31

ferne Erde

Teilbereich der Elektrolytlösung, in der zwischen keinen zwei Punkten eine durch einen fließenden Strom bedingte Spannung messbar ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies ist in der Regel außerhalb des Spannungstrichters einer Erdungselektrode, eines Erdungssystems, eines Anodenfelds oder einer geschützten Rohrleitung der Fall.

3.32

Rock-Jacket-Beschichtung

Beschichtung, die die Rohrleitung mechanisch schützt und als biegbare flexible Beschichtung aufgebracht wird

3.33

Streustrom

Strom, der auf Wegen außerhalb des vorgesehenen Stromflusses fließt

[QUELLE: Angepasst aus ISO 8044]

3.34

Überspannungsschutzgerät

SPD

Gerät zur Begrenzung von transienten Überspannungen und Direktstoßströmen

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Gerät enthält mindestens eine nichtlineare Komponente.

[Quelle: IEC 62305-1]

3.35

Erdstrom

Strom in der Erde als Folge geomagnetischer Schwankungen

3.36

Messstelle

Messstation

Installation mit Mess- und Prüfeinrichtungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Solche Installationen umfassen Verkabelung und Rohrfernleitungsverbindungen.

3.37

Ausnutzungsfaktor

Anteil der Masse des Anodenwerkstoffs einer galvanischen Anode, der verbraucht werden kann, bevor die Anode aufhört, die mindestens erforderliche Stromabgabe zu liefern

4 Symbole und Abkürzungen

4.1 Symbole

D_a	Anodendurchmesser
D_b	Auffüllungsdurchmesser
ε	elektrochemische Kapazität des Anodenmaterials
E	Potential, das an der Metall/Elektrolyt-Grenzfläche gemessen wird
ΔE	Potentialverschiebung aufgrund des kathodischen Schutzstroms, gemessen gegen eine entfernte Referenzelektrode
E_a	Auslegungs-Potential des geschlossenen Stromkreises einer galvanischen Anode
E_c	Auslegungs-Schutzpotential (Minimales negatives Potential)
E_{cor}	Freies Korrosionspotential (auch als natürliches Potential bezeichnet)
E_{IRfree}	IR-freies Potential
E_l	begrenzendes kritisches Potential
E_{ON}	Einschaltpotential
E_{OFF}	Ausschaltpotential
E_p	Schutzpotential
f_c	Beschichtungs-Reduktionsfaktor
f_f	endgültiger Beschichtungs-Reduktionsfaktor
f_i	anfänglicher Beschichtungs-Reduktionsfaktor

Δf	durchschnittlicher jährlicher Anstieg des Beschichtungs-Reduktionsfaktors
I_{tot}	Gesamtstrombedarf
I_{af}	Tatsächlicher individueller End-of-Life-Anodenstromausgang
I_{cf}	Gesamtstrombedarf für den kathodischen Schutz eines bestimmten Rohrleitungsabschnitts am Ende des Lebens (für maximalen Beschichtungs-Reduktionsfaktor)
I_{cm}	Mittlerer Strombedarf
I_{f}	erforderlicher individueller End-of-Life-Anodenstromausgang
j	Stromdichte für blanken Stahl
j_{c}	Stromdichte für beschichtete Rohrleitungen
k	Kontingenzfaktor
L	Länge der Rohrleitung
m	Gesamt Netto-Anodenmasse
m_{a}	Individuelle Netto-Anodenmasse
n	Anzahl der Anoden
r_{co}	Durchschnittliche Beschichtungsbeständigkeit
R_{a}	Gesamtschaltkreiswiderstand für ein Kathodenschutzsystem mit galvanischen Anoden (wird als äquivalent zum Anodenwiderstand angenommen)
$R_{\text{a/b}}$	Anodenwiderstand relativ zur Hinterfüllung
$R_{\text{b/s}}$	Widerstand des Hinterfüllbetts relativ zum natürlichen Elektrolyt
ρ	spezifischer Widerstand eines Elektrolyten
T	Temperatur
t_{dl}	rechnerische Lebensdauer
U	<i>Spannung</i>
u	Ausnutzungsfaktor

4.2 Abkürzungen

a.c.	Wechselstrom (en: alternating current)
ACVG	Wechselspannungsgradient (en: alternating current voltage gradient)
CIPS	Intensivmessungen (Potential) (en: close interval potential survey)
CP	Kathodenschutz (en: cathodic protection)
CSE	Kupfer-/Kupfersulfat (gesättigte) Referenzelektrode (en: copper-copper sulphate (saturated) reference electrode)
d.c.	Gleichstrom (en: direct current)
DCVG	Gleichspannungsgradient (en: direct current voltage gradient)
ER	elektrischer Widerstand (en: electrical resistance)
FBE	Fusion Bonded Epoxy
LPC	Blitzschutzkomponente (en: lightning protection component)

MMO	Mischmetalloxid
PREN	Lochfraßindex (en: pitting resistance equivalent numbers)
SCC	Spannungsrissskorrosion (en: stress corrosion cracking)
SCE	Gesättigte Kalomelreferenzelektrode (en: saturated calomel reference electrode)
SRB	Sulfat-reduzierende Bakterien
UV	ultraviolett
3LPE	Dreischicht-Polyethylen (en: three layer polyethylene)
3LPP	Dreischicht-Polypropylen (en: three layer polypropylene)

5 Qualifikation des CP-Personals

Personal, das für die Konstruktion, die Überwachung der Installation, die Inbetriebnahme, die Überwachung des Betriebs, die Messungen sowie die Überwachung und Beaufsichtigung der Instandhaltung von kathodischen Schutzsystemen verantwortlich ist, muss ausreichend für die auszuführenden Aufgaben qualifiziert sein.

Kathodenschutzschulungen und -zertifizierungsprogramme nach EN 15257 oder NACE sind geeignete Verfahren für die Beurteilung und Zertifizierung der Kompetenz des Kathodenschutzpersonals.

Die angemessene Qualifikation des Kathodenschutzpersonals für die ausgeführten Aufgaben sollte durch eine Zertifizierung in Übereinstimmung mit den Vorqualifizierungsverfahren wie etwa dem Kathodenschutz-Schulungs- und Zertifizierungsprogramm nach EN 15257, NACE oder einem vergleichbaren Programm nachgewiesen werden.

6 Kathodenschutzkriterien

6.1 Allgemeines

Das Rohrleitungs-Elektrolyt-Potential, bei dem die Korrosionsrate für Kohlenstoffstahl und Gusseisen weniger als 0,01 mm pro Jahr beträgt, ist das Schutzpotential E_p . Diese Korrosionsrate ist ausreichend gering, um ein akzeptables Maß an Korrosion über die gesamte Auslegungs-Lebensdauer zu gewährleisten. Das Kriterium für den Kathodenschutz wird daher durch die Bedingung in Gleichung (1) festgelegt:

$$E_{IRfree} \leq E_p \quad (1)$$

Dabei ist

E_p das Schutzpotential-Kriterium:

E_{IRfree} das Potential der Metall/Elektrolyt-Schnittstelle, d. h. das Potential ohne ohmschen Spannungsabfall in der korrosiven Umgebung (spannungsabfallfreies Potential, auch bekannt als „polarisiertes Potential“).

Das Schutzpotential von Metall richtet sich nach der korrosiven Umgebung (Elektrolyt) und der Art des verwendeten Metalls.

Die Anwendung von zu stark negativen Potentialen kann zu einem kathodischen Überschutz und somit zu einer Ablösung der Beschichtung und Blasenbildung sowie Wasserstoffversprödung bei einigen Metallen führen.

Das IR-freie Potential E_{IRfree} darf nicht negativer sein als das begrenzende kritische Potential E_i .

In diesen Fällen wird das Kriterium für den Kathodenschutz durch die Bedingung in Gleichung (2) festgelegt:

$$E_l \leq E_{IRfree} \leq E_p \quad (2)$$

6.2 Schutzpotentiale

Das spannungsabfallfreie Potential E_{IRfree} muss die durch die Gleichung (1) und, sofern anwendbar, die Gleichung (2) festgelegten Kriterien erfüllen. Tabelle 1 enthält korrosionsfreie Potentiale, E_{cor} , Schutzpotentiale, E_p , und begrenzende kritische Potentiale, E_l , für verschiedene Metalle in unterschiedlichen Umgebungen.

Tabelle 1 — Freie Korrosionspotentiale, Schutzpotentiale und begrenzende kritische Potentiale häufiger metallischer Materialien im Erdreich und Wasser (außer Meerwasser), gemessen im Vergleich zur Kupfer-/Kupfersulfat-Referenzelektrode

Metalle oder Legierungen	Umgebungsbedingungen	Freier Korrosionspotentialbereich (Beispielwerte) E_{cor} V	Schutzpotential (spannungsabfallfrei) E_p V	Begrenzendes kritisches Potential (spannungsabfallfrei) E_l V
Kohlenstoffstähle, niedriglegierte Stähle und Gusseisen	Erdreich und Wasser unter allen Bedingungen außer den hierin beschriebenen Bedingungen	–0,65 bis –0,40	–0,85	a
	Erdreich und Wasser bei $40\text{ °C} < T < 60\text{ °C}$	—	b	a
	Erdreich und Wasser bei $T > 60\text{ °C}^c$	–0,80 bis –0,50	–0,95	a
	Erdreich und Wasser unter aeroben Bedingungen $T < 40\text{ °C}$ mit $100 < \rho < 1\,000\ \Omega\text{ m}$	–0,50 bis –0,30	–0,75	a
	Erdreich und Wasser unter aeroben Bedingungen $T < 40\text{ °C}$ mit $\rho > 1\,000\ \Omega\text{ m}$	–0,40 bis –0,20	–0,65	a
	Erdreich und Wasser unter anaeroben Bedingungen und mit Korrosionsrisiken durch sulfatreduzierende Bakterienaktivität	–0,80 bis –0,65	–0,95	a
Austenitische Edelstähle mit einem Lochfraß-index < 40	Neutrales und alkalisches Erdreich und Wasser bei Umgebungstemperaturen	–0,10 bis +0,20	–0,50	d

Metalle oder Legierungen	Umgebungsbedingungen	Freier Korrosionspotentialbereich (Beispielwerte) E_{cor} V	Schutzpotential (spannungsabfallfrei) E_{p} V	Begrenzendes kritisches Potential (spannungsabfallfrei) E_{l} V
Austenitische Edelstähle mit einem Lochfraß-index > 40		−0,10 bis +0,20	−0,30	-
Martensit- oder Austenit-Ferrit-Edelstähle (Duplex)		−0,10 bis +0,20	−0,50	e
Alle Edelstähle	Saures Erdreich und Wasser bei Umgebungstemperaturen	−0,10 bis +0,20	e	e
Kupfer	Erdreich und Wasser bei Umgebungstemperaturen	−0,20 bis 0,00	−0,20	-
Verzinkter Stahl		−1,10 bis −0,90	−1,20	
ANMERKUNG 1 Alle Potentiale sind spannungsabfallfrei und beziehen sich auf eine Kupfer-/Kupfersulfat-Referenzelektrode $E_{\text{Cu}} = E_{\text{H}} - 0,32 \text{ V}$.				
ANMERKUNG 2 Während der Lebensdauer der Rohrleitung sind alle möglichen Änderungen der Resistivität des Mediums um die Rohrleitung zu berücksichtigen.				
<div><div>a</div><div>Um Wasserstoffversprödung an hochfesten, unlegierten oder niedriglegierten Stählen mit einer Nenn-Streckgrenze von mehr als 550 N mm^{-2} zu vermeiden, muss das kritische Grenzpotential dokumentiert oder experimentell bestimmt werden.</div><div>b</div><div>Bei Temperaturen von $40 \text{ °C} \leq T \leq 60 \text{ °C}$ kann das Schutzpotential linear zwischen dem für 40 °C ($-0,65 \text{ V}$, $-0,75 \text{ V}$, $-0,85 \text{ V}$ oder $-0,95 \text{ V}$) und 60 °C ($-0,95 \text{ V}$) bestimmten potenziellen Wert interpoliert werden.</div><div>c</div><div>Das Risiko einer hohen pH-bedingten Spannungsrisskorrosion erhöht sich mit zunehmender Temperatur.</div><div>d</div><div>Im Fall von Martensit- oder Ferrit-Phasen (z. B. durch Erhärtung) sollte das Risiko der Wasserstoffversprödung durch Dokumentation oder experimentell bestimmt werden.</div><div>e</div><div>Bestimmung durch Dokumentation oder experimentell.</div></div>				

Um eine Ablösung und/oder Blasenbildung der Beschichtung zu vermeiden, sollte das begrenzende kritische Potential E_l nicht negativer sein als $-1,20 \text{ V}$ (CSE) für die aktuell verwendeten Rohrleitungsbeschichtungen.

6.3 Alternative Verfahren

6.3.1 100 mV kathodische Potentialverschiebung

Sofern die in Tabelle 1 definierten Kriterien nicht erreicht werden können, gilt eine Mindestkathodenpotentialverschiebung von 100 mV als akzeptables alternatives Verfahren zur Reduzierung der Korrosionsrate (siehe NACE-Publikation Nr. 35108 [1]). Eine Restkorrosionsrate von weniger als 0,01 mm/y kann eventuell nicht erreicht werden. Die Entstehung oder Abschwächung einer Potentialverschiebung muss in Übereinstimmung mit dem in Anhang A definierten Verfahren gemessen werden.

Die Anwendung der Potentialverschiebung von 100 mV ist bei Betriebstemperaturen über 40°C in SRB-haltigem Erdreich zu vermeiden, wenn Interferenzstrom, Ausgleichsstrom oder Erdstrom vorhanden sein kann oder das Risiko externer Spannungsrisskorrosion besteht. Darüber hinaus darf das Potentialverschiebungsverfahren im Fall von Rohrleitungen, die mit Mischmetallbauteilen verbunden sind oder aus Mischmetallbauteilen bestehen, nicht angewendet werden.

6.3.2 Andere Verfahren

Andere Verfahren können angewendet werden, wenn sie diese Korrosion nachweislich eindämmen.

6.4 Kriterien für die Anwesenheit von Wechselstrom

An Orten, an denen eine Wechselstrominterferenz möglich ist, muss die Wechselspannung und/oder die Wechselstromdichte gemessen werden, um den Einflussgrad des Wechselstroms zu beurteilen.

Sofern Wechselspannung an der Rohrleitung vorhanden ist, müssen die in Tabelle 1 festgelegten Kriterien auch erfüllt werden, wenn sie nicht zwangsläufig Schutz vor Wechselspannungskorrosion bieten. Das spannungsabfallfreie Potential E_{IRfree} muss das durch die Gleichung (1) festgelegte Kriterium erfüllen.

EN 15280 enthält Richtlinien für die Wechselspannungskorrosionswahrscheinlichkeit und definiert ausführliche anwendbare Kriterien.

7 Voraussetzungen für die Anwendung des Kathodenschutzes

7.1 Allgemeines

Die zu schützende Rohrleitung oder der zu schützende Abschnitt der Rohrleitung muss für die Anwendung des Kathodenschutzes stromleitend sein. Die Rohrleitung sollte beschichtet und elektrisch von anderen baulichen Strukturen und Erdungssystemen isoliert sein. Sofern eine Rohrleitung nicht elektrisch von anderen baulichen Strukturen und Erdungssystemen isoliert wird, muss die Entscheidung begründet werden.

ANMERKUNG Beschichtungen werden grundsätzlich bei unterirdischen Leitungen eingesetzt, um einen primären Korrosionsschutz mit Kathodenschutz für Bereiche mit Beschichtungsschäden zu bieten. Beschichtungen reduzieren den Gesamtstrombedarf des Kathodenschutzes und somit das Risiko von Interferenzen an angrenzenden unterirdischen baulichen Strukturen.

7.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit der Rohrleitung oder eines Abschnitts der zu schützenden Rohrleitung muss einen geringen Längswiderstand ermöglichen. Komponenten, die den Längswiderstand der Rohrleitung erhöhen können, sind kurzzuschließen, beispielsweise durch Kabel oder Metallverbindungen mit geringem Widerstand und einer geringen Querschnittsfläche.

An nicht geschweißten Rohrleitungen muss die elektrische Leitfähigkeit über die gesamte zu schützende Länge durch die Installation dauerhafter Verbindungen über mechanische Verbinder mit hohem Widerstand unter Verwendung von Klebverbindungen gewährleistet werden. Die Leitfähigkeit nicht geschweißter Rohrleitungen ist durch Widerstands- und Potentialmessungen zu prüfen.

Falls erforderlich, kann die Verbindung über Isoliervorrichtungen zur Messung oder zu anderen Zwecken hergestellt werden. Sofern eine dauerhafte elektrische Leitfähigkeit hergestellt werden muss, sollte die Verbindung in einer Messstelle erfolgen.

7.3 Elektrische Isolierung

7.3.1 Allgemeines

Metallische oder resistive Kontakte zwischen der Rohrleitung und anderen baulichen Strukturen oder direkte Verbindungen zu Erdungssystemen sollten vermieden werden, da sie das Korrosionsrisiko erhöhen können.

Aus diesem Grund sollten Rohrleitungen von anderen baulichen Strukturen wie etwa Kompressorstationen, Pumpenstationen, Druckminder-, Druckmess- oder Druckversorgungsstationen, Wasserpumpen und Wasserspeichereinrichtungen, Offshore-Rohrleitungen und -strukturen, Anschlüssen und Verarbeitungsbetrieben und an Schnittstellen zu anderen Rohrleitungen elektrisch isoliert werden.

Eine elektrische Isolierung kann außerdem installiert werden, um das System in Abschnitte wie etwa Streustrombereiche zu unterteilen.

Die Isolierung sollte durch die Installation von Isolierverbindungen (einteilige Isolierverbindungen oder Isolierflansch-Kits) oder nicht leitende Rohrprofile hergestellt werden.

Wenn eine elektrische Isolierung nicht möglich ist, muss der Kathodenschutz eine ausreichende und effektive Stromverteilung vorsehen, um sicherzustellen, dass die Rohrleitung kathodisch ohne nachteilige Auswirkungen auf andere bauliche Strukturen geschützt ist.

Sofern ein Kontakt zwischen der geschützten Rohrleitung und anderen weniger elektronegativen baulichen Strukturen besteht, sieht EN 14505 diese als komplexe Strukturen an und bietet nützliche Empfehlungen für diesen Fall.

7.3.2 Punkte

Die Position der elektrischen Isolierungspunkte sollte sorgfältig erwogen werden. Dies gilt insbesondere im Fall von Streugleichstrom. Dies erfordert beispielsweise detaillierte Messungen und Untersuchungen der Elektrolyt-Oberflächenmesskurve (EN 50162 enthält eine ausführliche Anleitung hierzu).

Eine elektrische Isolierung kann

- zwischen Rohrleitungsabschnitten aus verschiedenen metallischen Materialien,
- an den Enden der Rohrleitung,
- bei wesentlichen Änderungen der Elektrolytwiderstandsfähigkeit,
- bei Rohrleitungen, die verschiedene Kathodenschutzsysteme benötigen,
- bei Rohrleitungen mit unterschiedlichen Stromdichteanforderungen,
- in durch Streustrom, Wechselstrom oder Erdstrom beeinflussten Bereichen,
- an bestimmten Rohrleitungsnetzen zur Unterstützung der Instandhaltung oder Messung des Kathodenschutzes und
- an Schnittstellen zu ungeschützten baulichen Strukturen oder geerdeten Anlagen erforderlich sein.

Im Fall von Verteilersystemen muss die elektrische Isolierung an den Schnittstellen zu den Kundeneinrichtungen installiert werden.

7.3.3 Isolierverbindungen

Die mechanische Auslegung, die Materialien, die Abmessungen und die Konstruktion von Isolierverbindungen müssen die Anforderungen nach ISO 13623, EN 14161, EN 1594 oder EN 12007-3, sofern anwendbar, erfüllen.

Monoblock-Isolierverbindungen sind nach Möglichkeit zu verwenden. Diese können oberirdisch, in einem Schacht oder unterirdisch installiert werden.

Monoblock-Isolierverbindungen sollten vor der Installation elektrisch geprüft werden.

ANMERKUNG 1 Elektrische Prüfungen werden in Anhang F vorgeschlagen.

ANMERKUNG 2 Die oberirdische Installation der Isolierverbindung bietet den Vorteil der leichteren Sicht-, elektrischen und Ultraschallprüfung. Andererseits sind unterirdische Isolierverbindungen besser vor mechanischen oder Feuerrisiken, vorsätzlicher oder versehentlicher Beschädigung geschützt und können verhindern, dass das Produkt in der Rohrleitung einfriert (manchmal auch als „frostsichere Eingrabung“ bezeichnet).

ANMERKUNG 3 Die Installation der Isolierverbindung in einem Schacht bietet die gleichen Vorteile wie die unterirdische Verbindung, allerdings mit einem erhöhten Gaseinschlussrisiko. Aus diesem Grund können lokale verordnungsrechtliche Vorschriften die Installation einer Isolierverbindung in einem Schacht verhindern.

Wenn eine Rohrleitung mit oberirdischen Anlagen verbunden ist, stellt eine oberirdische Isolierverbindung sicher, dass der Kathodenschutz auf den gesamten unterirdischen Bereich angewendet wird. Wenn die Isolierverbindung eingegraben wird, muss der Rohrleitungsbetreiber zusätzliche Korrosionsschutzmaßnahmen für den von dem Hauptkathodenschutzsystem isolierten Bereich der Rohrleitung treffen.

Wenn mehrphasige Flüssigkeiten mit einem erheblichen Wasseranteil durch die Rohrleitung transportiert werden, sollte die Installation der Isolierverbindung an einem vertikalen oder winkligen Übergangsabschnitt erwogen werden, um zu verhindern, dass durch eine dauerhafte Wasserphase in der Rohrleitung eine innere Korrosionsquelle entsteht (siehe 7.3.4).

Unterirdische Isolierverbindungen müssen von außen mit Materialien beschichtet werden, die mit der auf die Rohrleitung aufgetragenen Beschichtung kompatibel sind.

Isolierflansche können durch atmosphärische Witterung, Schmutz und eindringende Feuchtigkeit beschädigt werden und müssen daher mit einem Flanschschutz oder viskoelastischen Materialien vor dem Eindringen von Schmutz und Feuchtigkeit geschützt werden.

Unzureichende Installationsmethoden sind ein Hauptgrund für das Versagen von Isolierflanschen. Um dieses Risiko zu reduzieren, sollten die Anweisungen des Herstellers beachtet oder werksseitig vorinstallierte Kits verwendet werden.

Die häufigsten Installationsfehler sind

- das zu feste Anziehen der Flanschschrauben (Isolierflansche erfordern ein geringeres Anzugsmoment als Flansche ohne Isolierdichtungen),
- die falsche Ausrichtung der Flanschflächen und
- eine unsachgemäße Vorbereitung der Flanschflächen.

Die Isoliermaterialien müssen geeignet sein, den Betriebsbedingungen zu widerstehen (z. B. transportiertes Medium, Temperatur, Druck, mechanische Beanspruchung), und über eine ausreichende dielektrische Festigkeit verfügen. Weitere wichtige Eigenschaften des Isolierflansch-Kits umfassen die mechanische Festigkeit (z. B. Biegefestigkeit und Zugfestigkeit etc.), den Isolierungswirkungsgrad und die Wasserabsorption.

Isolierverbindungen müssen so installiert werden, dass das Risiko einer unbeabsichtigten Verkürzung vermieden wird.

Um Schäden durch Hochspannung wie etwa durch Blitzeinschlag oder Wechselfehlerstrom durch Stromleitungen zu verhindern, müssen Schutzvorrichtungen erwogen werden (z. B. geeignete Trennfunkentrecken, Überspannungsschutzgeräte und ein geeigneter elektrischer Erdanschluss).

In gefährlichen Bereichen nach EN 60079-10-1 installierte Isolierverbindungen müssen der Zertifizierung und den betrieblichen Anforderungen des gefährlichen Bereichs entsprechen.

Isolierverbindungen müssen mit zugänglichen Prüfeinrichtungen ausgestattet werden.

7.3.4 Innere Korrosionsrisiken an Isolierverbindungen

Bei Rohrleitungen, die Flüssigkeiten mit einer separaten Wasserphase transportieren, besteht ein Risiko innerer Korrosion durch Strom, der die Innenfläche der Rohrleitung in der Nähe der Isolierverbindung auf der Seite mit dem weniger negativen inneren Potential (anodische Seite) verlässt. Dies hängt hauptsächlich von der Leitfähigkeit der Flüssigkeit und der Spannung zwischen beiden Seiten der Isolierverbindung ab.

Um das innere Korrosionsrisiko zu vermeiden oder zu begrenzen, sollte eine innere Verkleidung (Innenbeschichtung mit einem elektrisch isolierenden Material) auf der Seite der Rohrleitung mit dem höheren inneren negativen Potential (kathodische Seite) angebracht werden.

Die Länge des verkleideten Abschnitts erhöht sich proportional zur steigenden Elektrolyt-Leitfähigkeit, dem zunehmenden Leitungsdurchmesser und der Höhe der Spannung auf den Seiten der Isolierverbindung. Wenn keine historischen Erfahrungswerte vorliegen, sollte die zu verkleidende Länge der Pipeline durch Berechnungen oder Prüfungen bestimmt werden.

Die Länge der inneren Beschichtung kann durch Definition eines inneren ohmschen Widerstands der transportierten Flüssigkeit bestimmt werden. Diese Bewertung kann mithilfe einer Simulationssoftware oder durch Berechnung (Ohmsches Gesetz) erfolgen und muss dokumentiert werden. Diese Studie muss unter Berücksichtigung der Resistivität der Flüssigkeit, des Potentialabfalls zwischen jedem Teil der Isolierverbindung und der Abwesenheit äußerer Beschichtungsfehler auf der anodischen Seite der Rohrleitung erfolgen.

ANMERKUNG 1 Basierend auf Rückmeldungen und Erfahrungswerten wird allgemein ein Wert von 100 Ω für den inneren ohmschen Widerstand zur Bestimmung der Länge der inneren Beschichtung angewendet.

ANMERKUNG 2 Bei sehr langen Innenverkleidungen wird üblicherweise eine bereits werksseitig innen ausgekleidete Rohrlänge verwendet.

In der Praxis sind beide Seiten der Isolierverbindung verkleidet. Die Verkleidung der kathodischen Seite muss mindestens die berechnete Länge haben.

ANMERKUNG 3 Sofern individuell angefertigte, asymmetrisch verkleidete Isolierverbindungen verwendet werden, kann das Risiko durch die Installation der längeren Verkleidung auf der falschen Seite der Isolierverbindungen erheblich sein.

Die Verkleidung sollte so ausgeführt werden, dass durch den Kontakt mit der transportierten Flüssigkeit keine Schäden entstehen. Dies gilt insbesondere bei Verkleidungen in Kontakt mit Salzwasser.

Als Alternative zu der Innenverkleidung kann eine Opferstahlrohrspule neben der Isolierverbindung auf der Seite mit dem weniger negativen Innenpotential (anodische Rohrleitungsseite) installiert werden. Der Spulenkörper sollte regelmäßig inspiziert werden, um den Fortschritt der inneren Korrosion zu überwachen und den Spulenkörper rechtzeitig auszutauschen, um undichte Stellen zu vermeiden.

7.3.5 Kontakte zwischen metallischen Bauwerken

Wo Eingänge, Halteeinrichtungen, Stützen und Anker aus Beton bestehen, sollte jeder Kontakt (direkt oder resistiv) zwischen Armierungsstahl und der geschützten Rohrleitung vermieden werden. Aus diesem Grund sollte eine Wandeingangsarmatur aus isolierendem Material vorgesehen und eine hochwertige Beschichtung auf die geschützte Rohrleitung aufgetragen werden. Die Möglichkeit einer abschirmenden Wirkung muss berücksichtigt werden.

Sofern die Rohrleitung eine Hochbrücke über dem Boden überquert oder in einen Tunnel eintritt und Isolierverbindungen an beiden Ende der Brücke oder des Tunnels umfasst, darf die Rohrleitung zwischen den Isolierverbindungen mit einem Potentialausgleich zur Brücke oder dem Tunnel versehen werden, um Schutz vor unzulässigem Berührungspotential zu bieten. Um den Kathodenschutz der Rohrleitung auf beiden Seiten der Brücke oder des Tunnels durch ein gemeinsames Kathodenschutzsystem zu gewährleisten, wird ein Potentialausgleich benötigt, um die Rohrleitung auf beiden Seiten der Brücke oder des Tunnels zu verbinden.

Sofern die Rohrleitung eine Brücke in einer Versorgungsrinne mit einem Elektrolyt (z. B. Sand) überquert, darf die Leitung durch galvanische Anoden (z. B. Magnesiumband) kathodisch geschützt und nicht mit der Brücke verbunden werden.

Sofern keine Isolierverbindungen vorliegen, muss die Rohrleitung elektrisch von den Metallteilen der Brücke oder des Tunnels getrennt werden. Dies gilt insbesondere für Metallbrücken, die Wechselstrom-Traktionssysteme tragen.

7.3.6 Elektrisches Erdanschlusssystem

Eine elektrische Erdung von in einer geschützten Rohrleitung installierten Geräten kann aus Sicherheitsgründen erforderlich sein. Die Erdung einer Rohrleitung kann erforderlich sein, um die Wirkung induzierter elektrischer Spannungen zu begrenzen.

Wenn ein Erdanschlusssystem benötigt wird, muss seine Kompatibilität mit dem Kathodenschutzsystem hergestellt werden. Sofern aufgrund verordnungsrechtlicher Vorschriften erlaubt, darf dies durch die Installation ausreichend ausgelegter Wechselstromtrennvorrichtungen im Erdanschlusskreis erfolgen. Ein lokaler Erdanschluss über Zink- oder verzinkte Erdanschlusselektroden, die direkt mit der Rohrleitung verbunden sind, darf verwendet werden, kann jedoch später nachteilige Auswirkungen auf den Kathodenschutz haben.

ANMERKUNG 1 Diese nachteiligen Auswirkungen auf die Wirksamkeit des Kathodenschutzes können einem oder beiden der folgenden Gründe geschuldet sein:

- Der Widerstand des ortsnahe Erdanschlusses in Bezug auf den ortsfernen Erdanschluss kann sehr viel geringer sein als der Widerstand von Beschichtungsfehlern, was zu einem reduzierten CP-Strom am Beschichtungsmangel führt.
- Das Potential von Zink oder verzinktem Stahl kann im Verlauf der Zeit zu weniger negativen Potentialen tendieren.

Wenn ein Erdanschluss installiert wird, um die Auswirkungen von Wechselspannungen auf die Rohrleitung zu begrenzen, sollte die Position des Erdanschlusses durch spezielle Studien und ausführliche Planung bestimmt werden.

ANMERKUNG 2 EN 15280 und EN 50443 enthalten einen Leitfaden zu Korrosions- und Sicherheitsaspekten in Verbindung mit Wechselstromeinflüssen.

Die Erkennung und Kontrolle elektrischer Interferenzen muss in Übereinstimmung mit Anhang B erfolgen.

Wenn ein Erdanschluss (ortsnahe oder ortsfern) mit elektrischen Geräten wie etwa Ventilen oder Pumpen verbunden ist, muss der Erdableitwiderstand der Rohrleitung an diesen Stellen reduziert werden, was den Kathodenschutz beeinträchtigen oder verhindern kann. Um einen wirksamen Kathodenschutz aufrechtzuerhalten, darf eine der nachfolgenden Maßnahmen angewendet werden (vorbehaltlich der relevanten nationalen oder lokalen Sicherheitsvorschriften):

- a) Isolierung des elektrisch betriebenen Geräts von der geschützten Rohrleitung;
- b) Isolierung des mit dem elektrisch betriebenen Gerät verbundenen Teils der Rohrleitung (z. B. Ventil) von dem Rest der Rohrleitung durch Isolierverbindung mit einer leitenden Verbindung zwischen den

beiden Teilen der Rohrleitung und einem separaten Korrosionsschutz für den isolierten Teil der Rohrleitung (z. B. Ventil);

- c) Installation von Trenntransformatoren;
- d) Installation von Fehlerstromschutzschaltern in Verbindung mit einem lokalen Erdanschluss aus verzinktem Stahl, Zink oder Magnesium;
- e) Installation von Wechselstrom-Trennvorrichtungen zwischen dem elektrisch betriebenen Gerät und dem Haupterdanschlussystem (z. B. isolierende Funkenstrecken, Überspannungsschutzgeräte, Polarisationszellen, elektrische Isolierung).

7.4 Blitz- und Überspannungsschutz

Rohrleitungen können von Überspannung und Stromstößen durch Blitzeinschläge oder nahegelegene externe Stromleitungen betroffen sein (z. B. Erdschluss).

Um die Isolierverbindung vor Überspannung zu schützen, sollte eine isolierende Funkenstrecke über die Isolierverbindung angeschlossen werden.

Um die Auswirkung aller Arten von Stromstößen oder elektrischen Interferenzen zu begrenzen, dürfen außerdem isolierende Funkenstrecken, Überspannungsschutzgeräte (SPD) oder Wechselstrom-Trennvorrichtungen zwischen der Rohrleitung und einem Erdanschlussystem installiert werden, sofern durch nationale oder lokale Vorschriften oder Sicherheitsnormen erlaubt.

Die Kabellänge, der Kabelquerschnitt und der Kabeltyp haben einen erheblichen Einfluss auf die Wirksamkeit des Überspannungsschutzes. Diese Eigenschaften müssen an die Eigenschaften der isolierenden Funkenstrecke oder der SPD angepasst werden. Die Kabellänge sollte möglichst kurz sein, sodass die in der Anlage gebildete Schleife möglichst klein ist.

ANMERKUNG Bei der Auswahl der isolierenden Funkenstrecken sind die folgenden Parameter typisch bei Kathodenschutzanwendungen für einen 50-Hz-Fall:

- Funkenüberschlag-Wechselspannung: 500 V bis 1 kV;
- 100 % Blitzstoß-Überschlagspannung (1,2/50 μ s): $\leq 1,30$ kV für Isolierverbindungen der Klasse 1 und 2 oder $\leq 2,2$ kV nur für Klasse 1 (siehe Anhang F);
- Nenn-Ableiterstrom (8/20 μ s): 100 kA;
- Blitzimpulsstrom, I_{imp} , (10/350 μ s): 100 kA (Klasse H), 50 kA (Klasse N);
- Kurzzeitige Nenn-Steh-Wechselspannung (50 Hz): < 250 V;
- Bemessungs-Ableiterstrom (50 Hz): ≥ 100 A / 0,5 s;
- Zertifizierung in Übereinstimmung mit Richtlinie 94/9/EG „für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX)“;
- nachgewiesen in Übereinstimmung mit EN 50164-3.

7.5 Beschichtung

7.5.1 Allgemeines

Rohrleitungen, die einem Kathodenschutz unterliegen, sollten mit einer äußeren Beschichtung installiert werden. Die Auswahl der Beschichtung muss durch den Rohrleitungsbetreiber genehmigt werden.

ANMERKUNG 1 Die Beschichtung dient als Hauptschutz vor Korrosion. Sie reduziert den Schutzstrombedarf, verbessert die Stromverteilung, erweitert den geschützten Bereich und reduziert Interferenzen an anderen externen Bauwerken.

Die Beschichtung der Rohrleitung sollte werksseitig oder unter Werksbedingungen an Rohrleitungsabschnitten unter festgelegten Bedingungen für die Oberflächenbehandlung, den Beschichtungsauftrag und die Inspektion aufgebracht werden. Nach dem Schweißen der Rohrleitungsabschnitte während des Baus der Rohrleitung sollten Umfangsnahtbereiche mit einer geeigneten Feldverbindungsbeschichtung beschichtet werden.

ANMERKUNG 2 Vor Ort beschichtete Montageverbindungen und Fittings werden unter anspruchsvolleren Bedingungen eingesetzt und können eine Schwachstelle im allgemeinen Korrosionsschutzsystem sein, wenn sie nicht korrekt ausgewählt und angewendet werden.

Nach der Installation der Rohrleitung sollte eine Untersuchung auf Beschichtungsfehler (siehe Anhang D) vorgenommen werden, um den Beschichtungszustand zu beurteilen.

7.5.2 Werksseitige Beschichtungen

Beschichtungen sind in Übereinstimmung mit den folgenden Normen anzubringen:

- ISO 21809-1 für Polyolefin-Beschichtungen (3 Schichten PE oder 3 Schichten PP),
- ISO 21809-2 für GFK-verstärkte Epoxy-Beschichtungen,
- ISO 21809-4 für Polyethylen-Beschichtungen (2 Schichten PE) oder
- andere vergleichbare Normen.

7.5.3 Beschichtung der Montageverbindung

ISO 21809-3, EN 10329 oder vergleichbare Normen sollten für die Auswahl und Anwendung der Beschichtung der Montageverbindung angewendet werden.

ANMERKUNG Beschichtung von Montageverbindungen bestehen entweder aus vorgeformten Materialien wie etwa Kaltauftrags-Klebeband oder Wärmeschrumpfhüllen oder aus als Pulver oder flüssig aufgetragenen Materialien.

7.5.4 Beschichtung von Rohrleitungen in geschlossener (grabenloser) Bauweise

Grabenlose Rohrleitungen (z. B. durch horizontales Bohren) sollten mit externen Beschichtungen geschützt werden, die zusätzlichen Widerstand gegen mechanische Beschädigungen bieten. Für solche Beschichtungen können die folgenden zusätzlichen Anforderungen gelten

- erhöhte Dicke und
- erhöhte mechanische Festigkeitseigenschaften.

Die grabenlose Installation sollte vor der Anbindung an den Hauptabschnitt der Rohrleitung auf Beschichtungsschäden untersucht werden.

ANMERKUNG Während der grabenlosen Installation können bestimmte Beschichtungen Beschädigungen durch Oberflächenabrieb unterliegen. Dies kann zu einer erhöhten Feuchtigkeitsaufnahme führen. Dies kann den elektrischen Widerstand der Beschichtung und somit die Stromdichteanforderungen beeinträchtigen.

Die Abnahmekriterien für die Beschichtungsprüfung sollten vor der Installation der Rohrleitung festgelegt werden.

In Abwesenheit spezifischer Anforderungen kann der Beschichtungszustand durch Vergleich der zum Schutz des grabenlosen Abschnitts erforderlichen Stromdichte mit den in Tabelle 3 (siehe 8.4.3) angegebenen optimierten Bemessungswerten beurteilt werden. Bekannte Stromwerte sollten von einer vorübergehenden Bettung aus in die Rohrleitung eingeführt und die Stromdichte für den Abschnitt sollte berechnet werden. Wenn die zur Sicherstellung des Kathodenschutzes erforderliche Stromdichte höher ist als die in Tabelle 3 angegebenen Werte, sollte die Beschichtung der grabenlosen Rohrleitung als unzureichend angesehen und nachgebessert werden.

D.4.3 legt ein akzeptables Verfahren zur Prüfung der Beschichtung fest. Es können aber auch andere Verfahren verwendet werden.

7.5.5 Luft-Elektrolyt-Schnittstelle

Für eine Luft-Elektrolyt-Schnittstelle sollte eine Hochleistungsbeschichtung verwendet werden. Bei der Auswahl der Beschichtung können die folgenden Eigenschaften berücksichtigt werden:

- mechanische Festigkeit;
- UV-Beständigkeit; und
- Haftung.

7.5.6 Kompatibilität von Beschichtungen und Umhüllungen mit dem Kathodenschutz

Ablösung kann zu einer Abschirmung des Kathodenschutzstroms führen, indem der Zugang des Kathodenstroms zu der Stahloberfläche in Kontakt mit einem korrosiven Elektrolyt aufgrund mangelnder Leitfähigkeit und/oder hoher Resistivität des Elektrolyts unter der Ablösung, der Erneuerung der korrosiven Spezies oder der Anwesenheit von SRB verhindert wird.

Die ausgewählten Beschichtungen müssen mit der Anwendung des Kathodenschutzes kompatibel sein. Die Kompatibilität sollte durch Kathodenablösungsprüfungen in Übereinstimmung mit den anzuwendenden Beschichtungsnormen bestätigt werden.

Nicht geklebte Polyethylenumhüllungen sollten vermieden werden, da diese zu einer Abschirmung des Kathodenschutzstroms führen und die Schutzwirkung beeinträchtigen können.

7.5.7 Wärmeisolierung

Wärmeisolierungssysteme sind Beschichtungssysteme, die mit einer wärmedämmenden Schicht ausgestattet sind. Dies kann eine eigene Schicht zusätzlich zu der Korrosionsschutzschicht oder eine Schicht aus Polyurethan oder Gummi sein, die den Korrosionsschutz und die Wärmedämmung kombiniert.

Aufgrund der Gesamtdicke und des hohen Widerstands der verschiedenen Beschichtungs- und Isolierungsschichten wird der Kathodenschutz wahrscheinlich unwirksam sein. Die Anforderungen an den Kathodenschutz und die Art desselben für wärmeisolierte Rohrleitung sind unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte zu beurteilen.

- a) Wärmeisolierende Materialien wie etwa Polyurethanschaum haben einen hohen elektrischen Widerstand. Selbst wenn diese Materialien mit Wasser vollschlagen, können sie den Kathodenschutz-

strom abschirmen und den Schutz der darunter liegenden Stahlrohrleitung verhindern. In diesen Fällen sollten alternative Korrosionsschutzverfahren erwogen werden.

- b) Die Installation eines Kathodenschutzsystems zum alleinigen Zweck des Schutzes einer isolierten Rohrleitung ist normalerweise schwer zu rechtfertigen, sofern nicht Bedenken bestehen, dass die Wärmeisolierung durch Fremdeinwirkungen, die zu einem direkten Kontakt der Leitung mit dem Elektrolyt führen, ernsthafte mechanische Beschädigungen erleiden könnte.
- c) Der inhärent hohe Erdwiderstand einer wärmeisolierten Rohrleitung schließt die Entladung induzierter Spannungen wie etwa durch benachbarte Stromleitungen zur Erde durch die Beschichtung aus. Sofern die Rohrleitung nicht direkt in der Nähe der induzierten Spannung geerdet wurde, können Rohrleitungsspannungen erhebliche Entfernungen überbrücken, was zu Korrosion führen und/oder ein Sicherheitsrisiko für Personal in direktem Kontakt mit der Rohrleitung werden kann.

An wärmeisolierten Rohrleitungen gemessene Kathodenschutzpotentiale sind üblicherweise nicht für die Potentiale an der Metall-Elektrolyt-Schnittstelle unter der Beschichtung indikativ. Diese Potentiale sollten nicht zur Bewertung der Wirksamkeit des Kathodenschutzes herangezogen werden. Andere Verfahren sollten zur Prüfung der Unversehrtheit der Rohrleitung an diesen Positionen herangezogen werden.

7.5.8 Armierte Betonummantelung

Stahlbeton kann verwendet werden, um das Gewicht einer Rohrleitung insbesondere in Feuchtgebieten wie etwa Marschen zu erhöhen. Ein Kontakt zwischen dem Betonstahl der Betonummantelung und der Rohrleitung muss vermieden werden. Die Isolierung des Betonstahls von der Rohrleitung muss durch Messungen während der Anbringung der Betonummantelung (in Übereinstimmung mit ISO 21809-5 oder einer vergleichbaren Norm) und während des Betriebs der Rohrleitung geprüft werden.

7.6 Auswahl der Rohrgraben-Bettungsmasse

Um das Risiko von Beschädigungen der Beschichtung oder einer abschirmenden Wirkung zu vermeiden und die elektrische Leitfähigkeit zwischen dem Rohr und dem Elektrolyt sicherzustellen, kann es erforderlich sein, den Graben mit weiteren Materialien wie etwa gewaschenem Sand oder Feinboden aufzufüllen. Das Hinzufügen dieser Materialien wird als Auffüllen bezeichnet.

Importierte oder bearbeitete Bettungsmassen sind normalerweise nicht für den Schutz der Beschichtung vor Beschädigung erforderlich, wenn Steinmantel-Beschichtungssysteme verwendet werden.

7.7 Eingrabbutterrohre für Rohrleitungen

7.7.1 Allgemeines

Futterrohre können den Kathodenschutz der Trägerrohre beeinträchtigen. Die Anwendung solcher Futterrohre sollte nach Möglichkeit vermieden werden.

Trägerrohre in Futterrohren sollten mit einer hochwertigen Korrosionsschutzbeschichtung ausgestattet sein.

Wenn sich die Anwendung von Futterrohren nicht vermeiden lässt, sollten die folgenden Maßnahmen getroffen werden:

- Beschichtung des Trägerrohrs;
- Installation von Isolierungsabstandshaltern im ringförmigen Bereich zwischen dem Träger und den Futterrohren;
- Versiegelung der Enden des Futterrohrs.

In der Praxis ist es nahezu unmöglich, eine wasserdichte Versiegelung zu erzielen, und ein geeigneter Füllstoff kann in den ringförmigen Raum eingeführt werden. Der Füllstoff sollte entweder Korrosion hemmen (z. B. viskoelastische Verbundstoffe, inhibiertes Wachs) oder so ausgeführt sein, dass der Kathodenschutzstrom das Trägerrohr erreichen kann (z. B. Beton, alkalischer Mörtel).

Lüftungsrohre sind bei dem Bau von Futterrohren zu berücksichtigen, um Lecks der transportierten Flüssigkeit zu erkennen. Diese Rohre können außerdem verwendet werden, um im Bedarfsfall Füllmittel zu Wartungszwecken einzuführen.

7.7.2 Futterrohre, die Kathodenschutzstrom abschirmen

Der äußere Korrosionsschutz von Trägerrohren in Ummantelungen, die Kathodenschutzstrom abschirmen, sollte erzielt werden durch

- die Verwendung galvanischer Anoden, sofern ein Elektrolyt vorhanden ist,
- die Befüllung des ringförmigen Raums mit einem geeigneten Material mit angemessenen langfristigen Korrosionsschutzeigenschaften,
- wenn galvanische Anoden verwendet werden: Es darf kein Kontakt zwischen dem Futterrohr (sofern metallisch) und den galvanischen Anoden bestehen und
- die Möglichkeit einer Überbrückung der Abstandhalter durch Anodenkorrosionsprodukte muss berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Kunststoffrohre, beschichtete Betonrohre, schlecht leitende Betonrohre und beschichtete Stahlfutterrohre schirmen Kathodenschutzstrom ab.

7.7.3 Futterrohre, die Kathodenschutzstrom leiten

Bei Futterrohren, die Kathodenschutzstrom leiten, kann der äußere Kathodenschutz des Trägerrohrs das Trägerrohr in der Ummantelung wirksam schützen, sofern kein Kontakt zwischen dem Trägerrohr und dem Futterrohr entsteht und der ringförmige Raum ausreichend Elektrolyt enthält. Ohne Elektrolyt im ringförmigen Raum kann an Stellen mit Beschichtungsfehlern atmosphärische Korrosion auftreten.

ANMERKUNG Futterrohre, die Kathodenschutzstrom leiten, umfassen:

- unbeschichtete oder unzureichend beschichtete Stahlrohre;
- unbeschichtete Betonrohre mit ausreichender Leitfähigkeit;
- gut beschichtete Futterrohre, die mit einem lokalen Erdanschluss verbunden sind, die den Fluss des Kathodenschutzstroms ermöglichen.

Falls ein Kathodenschutz des Futterrohrs erforderlich ist (z.B. aufgrund nationaler oder lokaler verordnungsrechtlicher Vorschriften), sollte das Futterrohr resistiv mit dem Trägerrohr verbunden und der Widerstandswert angepasst werden, um sicherzustellen, dass das Futterrohr jederzeit anodisch zum Trägerrohr ist.

7.8 Ausrüstung zur Reduzierung der Wechselstrombeeinflussung

Es gibt zwei grundlegende Arten von Wechselstrombeeinflussungen an unterirdischen Rohrleitungen:

- kurzfristige Beeinflussung durch Funktionsstörungen von Wechselstrom-Hochspannungsleitungen und betriebliche Veränderungen (ohmsche und induktive Wirkungen, siehe EN 50443);

- langfristige Beeinflussung durch Induktion während des Betriebs (induktive Wirkung, siehe EN 15280 und EN 50443).

Zusätzliche Erdanschlüsse können zur Abmilderung dieser Wirkungen erforderlich sein. Diese Erdanschlusssysteme können mit einer Vielzahl unterschiedlicher Elektroden (z. B. verzinkter Stahl, Zink, Magnesium) konstruiert werden, sofern diese keine nachteilige Auswirkung auf die Wirksamkeit des Kathodenschutzes haben.

Um nachteilige Auswirkungen auf den Kathodenschutz zu vermeiden, sollten zusätzliche Erdanschlusssysteme über geeignete Vorrichtungen (z. B. Gleichstromtrennvorrichtungen) an die Rohrleitung angeschlossen werden.

7.9 Ausrüstung zur Reduzierung der Gleichstrombeeinflussung

Streugleichstrom kann eine negative Auswirkung auf die Wirksamkeit des angewendeten Kathodenschutzes haben und die Installation zusätzlicher Ausrüstung zur Sicherstellung eines effektiven äußeren Korrosionsschutzes erfordern (siehe EN 50162 und EN 50122-2).

ANMERKUNG Die folgenden Lösungen können eine Gleichstrombeeinflussung abmildern:

- Installation einer Streustromableitungsanlage; Streustromableitungsanlagen werden üblicherweise nach der Inbetriebnahme des Kathodenschutzsystems angeschlossen, es empfiehlt sich jedoch, die Ausrüstung während der Bauphase zu installieren;
- Installation von Isolierverbindungen;
- Verbesserung des Kathodenschutzgrads in anodischen Streugleichstrombereichen.

8 Grundlegende Anforderungen an die Konstruktion des Kathodenschutzes

8.1 Allgemeines

Die Bemaßung von Kathodenschutzsystemen kann entweder durch Berechnungen oder auf der Grundlage der Erfahrungen des Rohrfernleitungsbetreibers mit ähnlichen Konfigurationen erfolgen.

Dieser Abschnitt bietet eine Anleitung für die Konstruktion von Kathodenschutzsystemen. Der Konstrukteur darf andere Werte und Gleichungen verwenden, sofern diese Werte und Gleichungen gerechtfertigt sind und die Schutzkriterien erfüllt werden.

8.2 Grundlegende Informationen für die Kathodenschutz-Konstruktion

Die Grundlage für die Planungsstudie des Kathodenschutzes sollte alle notwendigen Informationen für die ausführliche Konstruktion liefern. Informationen können entweder aus Dokumenten oder durch direkte Beobachtungen und Messungen vor Ort erhalten werden.

Die Grundlage für die Kathodenschutz-Planungsstudie sollte Folgendes beinhalten:

- Durchmesser der Rohrleitung;
- Länge und Wanddicke der Rohrleitung;
- Auslegungslebensdauer der Rohrleitung;
- Beschichtungsart der Rohrleitung;
- Beschichtung der Montageverbindung;

- Position von oberirdischen Anlagen (z. B. Druckminderstation);
- Position eventueller Ventile;
- Angaben zur lokalen Erdung (z. B. bei Elektroventilen);
- Angaben zum beförderten Medium;
- Betriebstemperatur des beförderten Mediums;
- topographische Daten;
- Erhebungen;
- Elektrolytbedingungen (diese Angaben können die Resistivität, den pH-Wert und die Bakterienaktivität des Elektrolyts umfassen);
- Ergebnisse der Streustromuntersuchungen im Elektrolyt;
- Anwesenheit von Hochspannungs-Freileitungen;
- bekannte unterirdische Kabel und Bauwerke einschließlich anderer Rohrleitungen;
- bekannte angrenzende Kathodenschutzsysteme;
- Flussüberquerungen;
- Straßen- und Gleisüberquerungen;
- Futterrohre, die nach dem Abschluss der Bauarbeiten verbleiben (Länge, Material und Beschichtung, sofern vorhanden);
- Art des Bettungsmaterials der Rohrleitung;
- Brücken- und Tunnelüberquerungen;
- Eigenschaften der Wechselstrom- und Gleichstrom-Traktionssysteme (z. B. Umspannwerke, Betriebsspannungen);
- Eigenschaften von Gleichstrom-Industrieanlagen;
- alle elektrisch betriebenen Geräte (z. B. Notabsperrentile).

8.3 Inhalt des Kathodenschutzberichts

Die ausführliche Auslegung muss Folgendes behandeln und dokumentieren:

- a) Auslegungslebensdauer des Kathodenschutzsystems;
- b) Konstruktionsunterlagen, die die Bemaßung und Anordnung der Ausrüstung begründen (z. B. Anoden, Transformator-Gleichrichter, Kabel);
- c) Potentialdämpfungsberechnungen zur Begründung des Ableitpunktabstands, sofern anwendbar (siehe Anhang E);
- d) Materiallisten;

- e) Materialspezifikationen;
- f) Schaltbild (Einlinienschaltbild) der Rohrleitung mit wesentlichen Eigenschaften;
- g) vorübergehende Kathodenschutzsysteme;
- h) Installationsverfahren und Anschlussdaten für alle wesentlichen Elemente. Dies kann Folgendes umfassen:
 - 1) Anoden-Erdnetze;
 - 2) Verbindungen zu Anoden;
 - 3) Verbindungen zur Rohrleitung;
 - 4) Beschichtungsreparaturen;
 - 5) elektrische Isolierung, (Monoblock, isolierte Flansche, isolierte Rohrleitungen);
 - 6) Transformator-Gleichrichter;
 - 7) Messstellen;
 - 8) Wechselstromerindämmungssysteme;
 - 9) ummantelte Kreuzungen;
 - 10) externe Prüfköpfe, Probebleche oder Referenzelektroden;
 - 11) externe elektrische Widerstandsprüfköpfe;
 - 12) Verbindungen (äquipotential, resistiv und unidirektional);
 - 13) Streustromableitungssysteme; und
 - 14) Fernüberwachung oder -steuerung;
- i) Inbetriebnahmeverfahren;
- j) Betriebs- und Instandhaltungsanweisungen.

8.4 Kathodenschutzstrombedarf

8.4.1 Berechnung des theoretischen Gesamtstrombedarfs

Die Beurteilung des notwendigen Strombedarfs für den Kathodenschutz muss auf der Grundlage der in 8.4.2 und 8.4.3 erläuterten Konstruktionseingangsdaten erfolgen.

Da der Beschichtungszustand zum Zeitpunkt der Konstruktion nicht bekannt ist, kann der Kathodenschutzstrombedarf für das Kathodenschutzsystem nur eine Schätzung sein, die basieren kann auf

- Stromdichten für freiliegende Stahloberflächen für beschichtete Rohrleitungen in Kombination mit Beschichtungs-Reduktionsfaktoren und
- Stromdichten für beschichtete Rohrleitungen.

Beschichtungs-Reduktionsfaktoren und Stromdichten, die für die Konstruktion verwendet werden, müssen durch den Rohrleitungsbetreiber genehmigt werden.

8.4.2 Strombedarf auf der Grundlage der Beschichtungs-Reduktionsfaktoren

Für neue Rohrleitungen wird der Gesamtstrombedarf I_{tot} anhand der Gleichung (3) bestimmt:

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

dabei ist k ein Kontingenzfaktor aufgrund einer möglichen ungleichmäßigen Verteilung entlang der Rohrleitung, der Dämpfung oder der Abschirmung.

ANMERKUNG Der Strombedarf kann bei einer langen Rohrleitung aufgrund des Dämpfungsphänomens erheblich höher sein. Normalerweise werden für k Werte über 1,25 verwendet.

Die Berechnung von Beschichtungs-Reduktionsfaktoren kann auf der Grundlage der in Tabelle 2 angegebenen Werte erfolgen. Die Auswahl der Beschichtungs-Reduktionsfaktoren für andere Arten von Rohrleitungsbeschichtungen muss begründet und dokumentiert werden.

Typische Auslegungsstromdichten für unbeschichtete Stahl-Rohrleitungen oder Gusseisen-Rohrleitungen sollten im Bereich zwischen 100 mA/m² und 1 A/m² liegen. Der Wert richtet sich hauptsächlich nach der Sauerstoffdiffusionsrate auf der Metalloberfläche und der Elektrolyt-Resistivität zur Erfüllung der Kathodenschutzkriterien.

Der Strombedarf einer beschichteten Rohrleitung erhöht sich im Verlauf der Zeit mit zunehmendem Verschleiß der Beschichtung. Es sollte eine ausreichende Kathodenschutzkapazität vorgesehen werden, um den Schutz auch bei Verschleiß der Beschichtung aufrechtzuerhalten.

Der endgültige Beschichtungs-Reduktionsfaktor f_f wird durch die Gleichung (4) bestimmt:

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

Dabei ist

f_i der anfängliche Beschichtungs-Reduktionsfaktor zu Beginn des Rohrleitungsbetriebs;

Δf die durchschnittliche jährliche Erhöhung des Beschichtungs-Reduktionsfaktors;

t_{dl} die Auslegungs-Lebensdauer in Jahren.

Sofern keine anderen Werte gerechtfertigt sind, sollten die in Tabelle 2 angegebenen Beschichtungs-Reduktionsfaktoren angewendet werden, vorausgesetzt, dass die Betriebstemperatur der Rohrleitung die maximale Temperatur, für die die Beschichtung qualifiziert wurde, nicht übersteigt. Die Beschichtungs-Reduktionsfaktoren sollten erhöht werden, um Beschädigungen der Beschichtungen aufgrund von die Beschichtungs-Auslegungswerte übersteigenden Betriebstemperaturen zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Die in Tabelle 2 angegebenen Beschichtungs-Reduktionsfaktoren basieren auf einer Beschichtungsqualität in Übereinstimmung mit den verschiedenen Teilen der Internationalen Normenreihe ISO 21809 oder vergleichbaren Normen.

Die Beschichtungs-Reduktionsfaktoren beinhalten einen Aufschlag für Beschädigungen der Rohrleitungsbeschichtungen während der Herstellung, der Installation und des Betriebs wie etwa Beschädigungen durch Fremdeinwirkung. Diese Faktoren enthalten jedoch keinen Aufschlag für extreme Schäden oder unabsichtlich unbeschichtet gelassene Montageverbindungen. Wenn solche Bedingungen erwartet werden, muss der betroffene Bereich geschätzt und in die Konstruktionsberechnungen als

unbeschichtete Metalloberfläche ($f_f = 1$) eingebunden oder die in Tabelle 2 angegebenen Beschichtungs-Reduktionsfaktoren müssen erhöht werden.

Die durch die Tabelle 2 empfohlenen Beschichtungs-Reduktionsfaktoren müssen für Beschichtungen berücksichtigt werden, die vollständig für die maximale Betriebstemperatur der Rohrleitung qualifiziert sind. Bei Zweifeln hinsichtlich der Beschädigung und/oder Ablösung der Beschichtungen bei erhöhten Temperaturen sind höhere Temperaturen nach der Dokumentation zu verwenden.

Beschichtungs-Reduktionsfaktoren für andere Arten von Rohrleitungsbeschichtungen müssen vollumfänglich dokumentiert werden.

Tabelle 2 — Typische Auslegungs-Beschichtungs-Reduktionsfaktoren

Rohrleitungsbeschichtung	f_i	Δf
FBE	0,005	0,003
3LPE	0,001	0,000 3
3LPP	0,001	0,000 3
Flüssiges Epoxidharz	0,008	0,01
Kohlenteer-Polyurethan	0,008	0,01

8.4.3 Strombedarf basierend auf den Stromdichtewerten für beschichtete Rohrleitungen

Ein alternatives Verfahren zur Berechnung des Gesamtstrombedarfs (I_{tot}) besteht in der Berechnung der Gesamtoberfläche der Rohrleitung und Anwendung der in Tabelle 3 angegebenen Stromdichten für beschichtete Rohrleitungen unter Verwendung der Gleichung (5).

$$I_{\text{tot}} = \pi D \times L \times k \times j_c \quad (5)$$

Bei bestehenden Rohrleitungen ohne historische Daten darf der Strombedarf durch Berechnungen auf der Grundlage des angenommenen Beschichtungszustands geschätzt werden. Alternativ kann eine Prüfung durchgeführt werden, indem Strom angewendet und das Rohrleitungs-Elektrolyt-Potential an verschiedenen Positionen entlang der Rohrleitung für einen bekannten Wert des angewendeten Stroms gemessen wird. Die Prüfergebnisse können verwendet werden, um den Gesamtstrombedarf und die Abstände des Erdnetzes zu berechnen.

Die Konstruktion kann auch auf dem Konzept des „durchschnittlichen Beschichtungswiderstands“ r_{co} in Ohm pro Quadratmeter basieren. Die Korrespondenz zwischen der Stromdichte j_c und dem durchschnittlichen Beschichtungswiderstand kann anhand des ohmschen Gesetzes nach Gleichung (6) hergestellt werden:

$$j_c = \Delta E / r_{\text{co}} \quad (6)$$

dabei ist ΔE die Potentialverschiebung aufgrund des im Vergleich mit einer ortsfernen Referenzelektrode gemessenen Kathodenschutzstroms.

Die Auslegungsstromdichten in Tabelle 3 dürfen wie folgt verwendet werden.

- Werte für optimierte Konstruktionen entsprechen optimistischen aber realistischen Schadensbedingungen und müssen für die Konstruktion galvanischer Anoden oder zur Prüfung der Qualität der Beschichtung nach der Installation der Rohrleitung verwendet werden.

- Werte für konservative Konstruktionen entsprechen pessimistischen Schadensbedingungen und sollten für die Konstruktion von Fremdstromschutzanlagen verwendet werden.

Stromdichten für andere Arten von Rohrleitungsbeschichtungen müssen begründet und dokumentiert werden.

ANMERKUNG Die Zahlen für die optimierte Konstruktion berücksichtigen nicht den Stromverbrauch durch mit der Rohrleitung verbundene Probebleche oder durch Gleichstromtrennvorrichtungen abgängigen Strom oder Strom von oder zu anderen Bauwerken. Hierbei handelt es sich um die Erfahrungswerte verschiedener Betriebe, die enthalten sind, um den Konstrukteur bei der Bemaßung der Anlage zu unterstützen.

Tabelle 3 — Typische Auslegungs-Stromdichten für beschichtete Rohrleitungen

Art der Beschichtung	Stromdichte für die optimierte Konstruktion mA/m ²	Stromdichte für die konservative Konstruktion mA/m ²
3LPE oder 3LPP	0,001 bis 0,02	0,05 bis 0,2
FBE	0,02 bis 0,2	0,4 bis 0,7
Kohlenteer- oder Bitumenbeschichtung	0,2 bis 0,3	0,3 bis 0,8
ANMERKUNG Diese Werte sind für unter Beachtung der in 7.5.2 und 7.5.3 angegebenen Normen konstruierte Rohrleitungen festgelegt.		

8.5 Kathodenschutzsystem

8.5.1 Kathodenschutzkabel

Kabel für den Anschluss an geschützte Rohrleitungen, Fremdstromschutzanoden, galvanische Anoden, Streustromableitungsanlagen und Messstellen müssen für den unterirdischen Einsatz geeignet sein. Diese Kabel sollten nicht mit einer Metallbewehrung ausgestattet sein. Als Erdschutzleiter installierte Kabel dürfen nur für diesen Zweck verwendet werden.

ANMERKUNG Metallbewehrungen können die Kabelisolierung bei übermäßigem Biegen beschädigen.

Kabelisolierungen müssen für die Umgebung (z. B. unterirdisch oder getaucht und chlorbeständig) und den Verwendungszweck des Kabels (anodisch oder kathodisch) geeignet sein.

Die Kabelquerschnitte sind auf der folgenden Grundlage auszulegen:

- gemäß der Konstruktion technisch zulässige Spannungsabfälle;
- Beharrungsstrom durch den Kabelquerschnitt gemäß Konstruktion;
- Eigenschaften der Kabelisolierung;
- mechanische Festigkeit;
- Flexibilität;
- Betriebstemperaturbedingungen;
- Wirtschaftlichkeit.

Die elektrische Isolierung der Kabel von Fremdstromschutzanlagen und Streustromableitungssystemen darf bei Kontakt mit dem Elektrolyt nicht beschädigt werden.

ANMERKUNG Der Fremdstromschutz kann innerhalb sehr kurzer Zeit unwirksam werden, wenn sein anodisches Kabel beschädigt wird.

Als Leitermaterial sollte Kupfer gewählt werden.

Der Gesamtquerschnitt der Kabel darf die folgenden Werte nicht unterschreiten:

a) Fremdstromschutzanlagen:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1) Kabel zur geschützten Rohrleitung | 10 mm ² ; |
| 2) Kabel zum Erdnetz | 4 × 2,5 mm ² oder 10 mm ² ; |

b) galvanische Anodensysteme:

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| 1) Kabel zur geschützten Rohrleitung | 4 mm ² ; |
| 2) Kabel zur einzelnen Anode | 2,5 mm ² ; |

c) andere Anlagen:

- | | |
|---|---|
| 1) Kabel für die Potentialmessung | 2 × 2,5 mm ² oder 6 mm ² ; |
| 2) Kabel für Stromspannenmessungen | 4 × 2,5 mm ² ; |
| 3) Kabel für Leiterunterbrechungsschutz | 4 × 2,5 mm ² oder 10 mm ² . |

Die folgenden Anforderungen gelten für die Kabelinstallation:

- Kabel müssen ohne Windungen oder Knicke verlegt werden;
- Zwischen der Rohrleitung und jedem Kern oder Kabel mit separater Funktion muss eine separate Verbindung hergestellt werden.

BEISPIEL Für die Potentialmessung verwendete Kabel sind separat von stromführenden Kabeln, um Fehler durch einen Spannungsabfall zu vermeiden.

- Die Kabel sollten nicht neben Stromkabeln verlegt werden;
- Kabel müssen sorgfältig verlegt werden, um Schäden an der Isolierung zu vermeiden;

ANMERKUNG 1 Manchmal ist eine Installation der Kabel in Schutzummantelungen oder der Schutz der Kabel durch ausreichende Überdeckung und Warnbänder entsprechend den anwendbaren Elektrizitäts- und Sicherheitsvorschriften der lokalen Regulierungsbehörden vorzuziehen. Darüber hinaus können Kabel in feinkörnigem Boden oder Sand eingegraben werden.

- Sofern anwendbar, sollten Kabeltrassen mit Kabelmarkern gekennzeichnet werden, die in Abständen von ca. 100 m und an jeder Richtungsänderung zu installieren sind;
- Kabelverbindungen sollten nach Möglichkeit vermieden werden. Unterirdische und getauchte Kabelverbindungen sollten für die dauerhafte Eingrabung oder Unterwasserlage geeignet sein.

ANMERKUNG 2 Die Unversehrtheit der Isolierung der Kabelverbindungen zwischen dem Erdnetz (oder einem Element des Erdnetzes) und dem positiven Pol einer Fremdstromschutzanlage ist wesentlich. Ist dies nicht der Fall, können das Eindringen von Feuchtigkeit und die anschließende Oxidation des Leiters zu einem frühzeitigen Versagen des Erdnetzes führen.

8.5.2 Kabelverbindung

Kathodenschutzkabelverbindungen zu Rohrleitungen dürfen nur durch qualifizierte Personen in Übereinstimmung mit ISO 13847 oder dokumentierten Verfahrensanweisungen hergestellt werden. Dokumentierte Verfahrensanweisungen müssen durch den Rohrleitungsbetreiber genehmigt werden.

ANMERKUNG Verbindungen werden üblicherweise hergestellt durch

- Stiftlöten,
- Weichlöten,
- Masseverbindung (nur für Messkabel),
- Fusionsschweißen mit Metallauftrag,
- Bolzenschweißen,
- Schweißstahlstück (z. B. Verstärkungsblech) direkt auf der Rohrleitung mit einem vorgeschweißten Bolzen (oder einem vergleichbaren System) und
- aluminothermisches Schweißen.

Kabelverbindungen dürfen nicht an Rohrbögen oder in einem Bereich innerhalb von 200 mm um Rohrleitungsschweißnähte, Armaturen und Ventile angeschweißt werden.

Sofern das aluminothermische Schweißverfahren angewendet wird, muss das Schweißverfahren sicherstellen, dass der Einbrand von Kupfer in das Rohrleitungsmaterial weniger als 1 mm beträgt und die lokale Härte der Rohrleitung innerhalb der Grenzwerte der Rohrleitungsspezifikationen bleibt.

Das aluminothermische Schweißverfahren sollte nicht an korrosionsbeständigen Legierungs-Rohrleitungen durchgeführt werden.

Aluminothermische Schweißlasten sollten nicht mehr als 15 g betragen.

Das aluminothermische Schweißen an Rohrleitungen im Betrieb muss in Übereinstimmung mit einer dokumentierten Sicherheitsverfahrensanweisung sein, die Folgendes behandelt:

- Inspektions- und/oder Prüfanforderungen für die Unversehrtheit der Rohrleitungswand vor dem Schweißen;
- Wärmeübertragung und -ableitung durch die Flüssigkeit in der Rohrleitung;
- sofern anwendbar, die Auswirkung der Schweißwärme auf die Flüssigkeit (z. B. bei bestimmten Chemikalien).

Die Verbindungen sollten mechanischen und elektrischen Prüfungen unterzogen werden, um nachzuweisen, dass

- a) die Oberfläche der geschützten Rohrleitung nicht beeinträchtigt wird (z. B. akzeptable oberflächliche Risse der Rohrleitungsoberfläche) und

- b) die mechanischen und elektrischen Eigenschaften der Verbindung für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignet sind.

Die mechanischen Eigenschaften können mit einem festen Schlag mit einem 1-kg-Hammer geprüft werden; siehe EN 12732. Die elektrischen Eigenschaften können durch Messen des elektrischen Widerstands der Verbindung geprüft werden. Der Widerstand der Verbindung ohne den Widerstand des Kabels sollte weniger als $0,1 \Omega$ betragen.

Nach Abschluss der Prüfung sollte die Beschichtung so repariert werden, dass ein zukünftiges Eindringen von Wasser verhindert wird.

8.5.3 Vorsichtsmaßnahmen in Bezug auf Verteilerkästen und Messstellen

Alle überirdischen elektrischen Anlagen in Verbindung mit dem Kathodenschutz der Rohrleitung sollten ausreichend umhüllt sein, um sie vor unbefugtem Zugang und Umwelteinflüssen zu schützen.

Die Gehäuse sollten an einem Ort aufgestellt werden, der einen sicheren Zugang ermöglicht.

ANMERKUNG 1 Die häufigsten oberirdischen Anlagen können als aktiv oder passiv klassifiziert werden. Aktive Anlagen umfassen in diesem Sinne Geräte wie Transformator-Gleichrichter, Diodenableitverbindungen und Polarisationszellen. Passive Einheiten umfassen Einheiten wie Verteilerkästen, Messeinrichtungen, Fernüberwachung und Potentialausgleichsanlagen. Manchmal sind passive Messeinrichtungen in aktiven Anlagen enthalten.

Aktive Anlagen sollten in einem ausreichend großen Gehäuse oder in einer Ummantelung installiert werden. Die Größe des Gehäuses oder der Ummantelung sollte jede eventuelle Wärmeerzeugung berücksichtigen. Das Material sollte für die zu erwartenden Umweltbedingungen einschließlich UV-Strahlung geeignet sein. Die Gehäuse müssen nicht abschließbar sein.

Sofern anwendbar, sollte für das Gehäuse Folgendes vorgesehen werden:

- Netzanschlussdosen;
- Stromeingangsverteiltertafeln mit Sicherheitsvorrichtungen und Nebenanschlussdosen;
- Hauptgeräte-Befestigungen (z. B. Transformator-Gleichrichter, Polarisationszelle, Diodenableitverbindung);
- Tafel für Prüfmessungen;
- Erdung.

Die Schutzklasse des Gehäuses (IP) muss entsprechend der Umgebung und in Übereinstimmung mit IEC 60529 ausgewählt werden.

In jeder Anlage müssen alle Kabel eindeutig markiert und farblich gekennzeichnet sein, sodass eine eindeutige spätere Identifizierung möglich ist. Die Gehäuse müssen mit dauerhaften Kennzeichnungen versehen werden.

ANMERKUNG 2 Die Gehäuse passiver Anlagen sind im Allgemeinen sehr viel kleiner als die für die Installation von Elektroanlagen verwendeten Gehäuse.

Prüfeinrichtungen sollten an eine geeignete Messstelle oder ein Gehäuse angeschlossen werden. Für den Messanschluss sollte ein einfacher Zugang vorgesehen werden und alle Kabel sollten dauerhaft markiert oder farblich gekennzeichnet werden, um ihren Zweck anzugeben. Sofern das Risiko hoher Wechselspannungen an der Rohrleitung besteht, sollte die Messeinrichtung nicht-metallisch sein (Blindfläche), um das Risiko von Stromschlägen für den Bediener und die Öffentlichkeit auszuschließen. Die Prüfeinrichtung sollte mit einem dauerhaften Kennschild ausgestattet sein.

Prüfeinrichtungen in einem unterirdisch oder ebenerdig installierten Gehäuse sollten eine ausreichende mechanische Festigkeit für den zu erwartenden Verkehr aufweisen (z. B. Bodengehäuse auf Autobahnen oder in oberirdischen Anlagen).

Prüfeinrichtungen sollten außerhalb von Gefahrenbereichen installiert werden, um Risiken durch Funkenbildung zu vermeiden. Wenn eine Prüfeinrichtung in als Gefahrenbereich klassifizierten Bereichen installiert werden soll, muss sie der Gefahrenbereichsklassifizierung in Übereinstimmung mit IEC 60079-10-1 oder einer vergleichbaren Norm entsprechen.

ANMERKUNG Andere Dokumente wie etwa API RP 500 können verwendet werden.

8.6 Vorübergehender Schutz

Der vorübergehende Kathodenschutz sollte während des Zeitraums zwischen der Grabenauffüllung und der Anwendung des dauerhaften Kathodenschutzsystems angewendet werden, um das Risiko äußerer Korrosion der Rohrleitung zu vermeiden.

Vorübergehende Kathodenschutzsysteme sollten für die erwartete Dauer bis zur Installation eines dauerhaften Kathodenschutzsystems vorgesehen werden. Es empfiehlt sich, eine angemessene Sicherheitsspanne für den Fall von Verzögerungen der Baumaßnahmen vorzusehen.

Ein vorübergehender Schutz ist vorzusehen, wenn eine der folgenden Bedingungen vorliegt:

- eine Rohrleitung wurde in einem Elektrolyt mit geringem Widerstand (weniger als 100 $\Omega \cdot m$) installiert;
- der Zeitraum zwischen der Installation der Rohrleitung und des dauerhaften Kathodenschutzes beträgt mehr als 3 Monate;
- die Rohrleitung wird in einem Bereich installiert, in dem hohe Korrosionsrisiken, beispielsweise durch geologische Zellen, festgestellt wurden.

Je nach Resistivität des Elektrolyts und den Stromanforderungen sollten Zink- oder Magnesiumanoden verwendet werden (siehe 10.3 und 10.4).

Vorübergehende galvanische Anoden dürfen nur über oberirdische Einrichtungen mit der Rohrleitung verbunden werden.

ANMERKUNG Direkt mit der Rohrleitung verbundene Anoden sind schwer zu relokalisieren und zu trennen, wenn ein dauerhaftes Kathodenschutzsystem in Betrieb ist, und können zukünftige präzise ON/OFF-PC-Untersuchungen unmöglich machen.

Anoden-Stromausgänge und die Wirksamkeit ihres Kathodenschutzes sind durch Messungen in Übereinstimmung mit Anhang A zu prüfen.

8.7 Sonderfall bestehender Rohrleitungen

8.7.1 Allgemeines

Bei bestehenden Rohrleitungen darf die Konstruktion unter Verwendung der in 8.4.3 enthaltenen Informationen in Verbindung mit Feldprüfungen erfolgen. Dämpfungsberechnungen dürfen vorgenommen werden, um die Erdnetzstandorte entlang der Rohrleitung zu bestimmen (siehe Anhang E).

ANMERKUNG In einigen Fällen sind die einzigen erfassbaren sinnvollen Daten auf die Elektrolyt-Resistivität, die Elektrolytuntersuchung, Streustrommessungen und die Ergebnisse aus einem vorübergehenden Fremdstrom-Kathodenschutzsystem beschränkt.

8.7.2 Parallele Rohrleitungen

Wenn Rohrleitungen parallel verlaufen, müssen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um sicherzustellen, dass keine inakzeptable Interferenz oder Abschirmung auftritt. Die Interferenz kann durch den Einfluss des angewendeten Kathodenschutzes entstehen. In diesem Fall können die Systeme angepasst oder die Rohrleitungen durch ein gemeinsames Kathodenschutzsystem geschützt werden.

Sofern Änderungen an dem Kathodenschutz oder dem Beschichtungssystem an einer Rohrleitung vorgenommen werden, darf dies keine negativen Auswirkungen auf andere Rohrleitungen haben.

Um den Strom zu kontrollieren, dürfen Verbindungen zwischen zwei oder mehr Rohrleitungen direkt hergestellt werden oder es kann notwendig sein, eine Diode oder einen Reihenwiderstand in einer Prüfeinrichtung zu installieren.

Anoden-Erdnetze sollten unter angemessener Berücksichtigung des Abschirmungs- und Interferenzrisikos positioniert werden.

Ohne Zustimmung des Betreibers sollten keine Arbeiten an fremden parallelen Rohrleitungen vorgenommen werden.

ANMERKUNG 1 Die Verbindung paralleler Rohrleitungen mit sehr unterschiedlichen Kathodenschutzanforderungen kann möglicherweise nicht erfolgreich sein. In einigen Fällen sind separate Kathodenschutzsysteme erforderlich.

ANMERKUNG 2 Bei Messungen der Rohrleitungs-Elektrolyt-Potentiale an parallelen Rohrleitungen, die nicht verbunden sind, ist es wichtig, die Referenzelektrode korrekt zu positionieren.

8.7.3 Parallelität zu oder Kreuzung mit Wechselstromnetzen

Mögliche Maßnahmen gegen das Auftreten kritischer Wechselspannung müssen untersucht und implementiert werden, um eine mögliche Wechselstromkorrosion an der Rohrleitung (siehe Anhang B) und andere Schäden an der Rohrleitung zu begrenzen.

ANMERKUNG 1 Im Fall eines langfristigen Wechselstromeinflusses auf metallische Rohrleitungen kann Wechselstrom zwischen unbeschichtetem Metall (d. h. Beschichtungsfehler) und dem Elektrolyt fließen. Unter diesen Bedingungen kann bei normalen Betriebsbedingungen Wechselstromkorrosion an metallischen Rohrleitungen auftreten.

ANMERKUNG 2 Das Wechselstromkorrosionsrisiko für kathodisch geschützte Rohrleitungen wird in EN 15280 behandelt. Andere Schäden an der Rohrleitung und Sicherheitsrisiken für das Personal werden in EN 50443 behandelt.

8.8 Grabenlose Installationsverfahren

Rohrleitungen, die in Tunneln verlegt oder (grabenlos) durch horizontale Bohrverfahren verlegt werden, unterliegen einem Risiko der Beschädigung der äußeren Beschichtung während des Ziehens. Diese Baumethoden schließen ausführliche Inspektionen der Beschichtungen oder Potentialmessungen in kurzen Intervallen nach der Installation des Rohrleitungsabschnitts aus. Andere Untersuchungsverfahren sollten angewendet werden, um festzustellen, ob die Beschichtung beschädigt ist. Die Untersuchungsverfahren, siehe beispielsweise D.4.3, können helfen, festzustellen, ob diese Rohrleitungsabschnitte kathodisch geschützt werden können. Sofern die Abnahmekriterien nach Durchführung der Untersuchungsverfahren nicht erfüllt werden, darf, sofern technisch machbar, eine Beschichtungsfehler-Untersuchung durchgeführt werden. Hierdurch werden Beschichtungsfehler lokalisiert und es kann festgestellt werden, ob diese Fehler repariert werden können.

Folgendes sollte bei grabenlosen Bauten vorgesehen werden.

- Prüfeinrichtungen sollten möglichst nah an beiden Seiten der Kreuzung installiert werden, um bestmögliche Messungen an nicht zugänglichen Teilen der Rohrleitung vorzunehmen.

- Nachdem der Abschnitt einzementiert oder hinterfüllt wurde, sollten Messungen vorgenommen werden, um die Unversehrtheit der Beschichtung zu bestätigen.
- Sofern grabenlose Rohrleitungsabschnitte nicht durch das Hauptkathodenschutzsystem geschützt werden können, sollten sie elektrisch isoliert und separat kathodisch geschützt werden.

9 Fremdstromschutzanlagen

9.1 Allgemeines

Fremdstromschutzanlagen sollten an Orten installiert werden, an denen sie leicht zugänglich und gegen Umgebungsschäden, elektrische Beschädigungen und Vandalismus geschützt sind. Die Anlage muss in Übereinstimmung mit den nationalen und lokalen anzuwendenden elektrischen und Sicherheitsvorschriften ausgeführt werden.

Folgendes sollte bei der Auswahl der Standorte berücksichtigt werden:

- die Nähe zu einer Wechselstromquelle oder die Möglichkeit, eine andere Stromversorgung zu nutzen (Batterie, Solarzelle mit Batterie);
- geeignete Elektrolytbedingungen und ein geeigneter Standort für das Erdnetzsystem;
- Abstände zur Rohrleitung und anderen metallischen Bauwerken (unterirdische Bauwerke oder metallische Gebäude), hauptsächlich in urbanen Bereichen;
- Abstände zu anderen Kathodensystemen oder Wechselstrom- oder Gleichstromquellen;
- Gefahrenbereiche.

Die Installationsarbeiten werden üblicherweise so schnell wie möglich nach der Fertigstellung der Rohrleitung ausgeführt. Sofern aufgrund der Konstruktion erforderlich (siehe 8.5), sollten vorübergehende Kathodenschutzsysteme installiert und aktiviert werden.

Die folgenden Kennzeichnungen sollten an dem Gehäuse angebracht werden:

- Sicherheitshinweise zur Gefahr durch Strom;
- Kennschilder mit Angaben zum Eigentümer/Betreiber und der Anlage.

9.2 Stromversorgung

Die Wechselspannungsquelle sollte ein Transformator-Gleichrichter sein, der durch eine Wechselstromquelle gespeist wird. Alternative Spannungsquellen dürfen jedoch in Betracht gezogen werden.

Folgendes ist bei der Festlegung von Gleichspannungsquellen zu berücksichtigen:

- Verfügbarkeit und Art des Anschlusses an die Wechselstromversorgung;
- Art des Gleichrichters;
- Messgeräte wie etwa Voltmesser, Amperemesser;
- Anzahl der Ausgangsanschlüsse;
- Art der Kühlung (Luft oder Öl);

- Art der Ausgangssteuerung (Spannung, Strom oder potentiostatisch);
- Demontierbare Verbindung, um einen zyklischen Stromunterbrecher einfügen zu können;
- Anforderung an die dauerhafte Installation eines zyklischen Stromunterbrechers;
- elektrische und Sicherheitsanforderungen der Anlage;
- Schutzmaßnahmen gegen mögliche Hochspannungsbeeinflussung;
- Anforderungen an den Wechselstrom- und/oder Gleichstrom-Überstromschutz;
- Anforderungen an den Umgebungsschutz und das Gehäuse;
- Wechselstromgehalt des Gleichstromausgangs (akzeptabler Ripple-Faktor);
- Angaben auf dem Kennschild und dem Typenschild;
- Umgebungsschutz (z. B. IP-Klasse);
- Fernüberwachung/Steuergeräte.

Spannungen über 50 V Gleichstrom (Gleichrichterausgang) sollten grundsätzlich vermieden werden.

ANMERKUNG Hochspannungs-Gradienten im Elektrolyt in der Nähe von Erdnetzen können eine Gefahr für Tiere, Menschen oder Gebäude mit metallischen Strukturen darstellen.

Transformator-Gleichrichter müssen speziell für den Kathodenschutzbetrieb ausgelegt und für den Dauerbetrieb unter den vorherrschenden Betriebsbedingungen geeignet sein.

9.3 Erdnetze

9.3.1 Allgemeines

Die Erdnetze eines Fremdstrom-Kathodenschutzsystems müssen tiefe oder flache Ausführungen sein. Die Konstruktion und Position muss folgende Anforderungen erfüllen.

- a) Die Menge des Erdnetzmaterials (Anode und Bettung) muss für die Größe des Erdnetzes und die Auslegungslbensdauer des Kathodenschutzsystems geeignet sein.
- b) Der Fernerdungswiderstand jedes Erdnetzes muss den maximalen vorhergesagten Strombedarf ohne Überschreitung des während der Konstruktion definierten Werts (z. B. 70 % der Spannungskapazität der Gleichstromquelle) während des gesamten Jahres und der gesamten Auslegungslbensdauer des Kathodenschutzsystems erfüllen. Die Berechnung muss auf dem Widerstand des Anoden-Erdnetzes zum Ende seiner Auslegungslbensdauer basieren.

ANMERKUNG Gleichungen zur Berechnung des Widerstands werden im NACE Corrosion Engineer's Reference Book (3. Auflage) festgelegt. [4]

- c) Schädliche Beeinflussungen benachbarter unterirdischer Bauwerke einschließlich Zäunen, Fremdrohrleitungen, Anlagenleitungen und Erdanschlussssystemen sind zu vermeiden.

Bei der Auswahl des Standorts und der Art der Erdnetze für die Installation müssen die folgenden lokalen Bedingungen berücksichtigt werden:

- Elektrolytbedingungen und tiefenabhängige Resistivitätsschwankungen;

- Grundwasserspiegel;
- Nachweise extremer jahreszeitlicher Veränderungen der Elektrolytbedingungen;
- Geländeeigenschaften;
- Abschirmung (insbesondere bei parallelen Rohrleitungen);
- die Wahrscheinlichkeit von Beschädigungen durch Fremdeingriffe.

Die grundlegende Konstruktion muss eine Berechnung des Erdnetzwidestands auf der Grundlage der präzisesten verfügbaren Elektrolyt-Resistivitätsdaten umfassen.

Wenn mehrere Erdnetze zur Lieferung des Strombedarfs erforderlich sind, sollte der Stromausgang von jedem Erdnetz individuell einstellbar sein.

9.3.2 Tiefe Erdnetze

Tiefe Erdnetze sollten die Anforderungen nach NACE SP0572 erfüllen.

Tiefe Erdnetze sollten in Betracht gezogen werden, wenn

- die hydrologischen und geoelektrischen Bodenbedingungen dies zulassen,
- die Elektrolytbedingungen in der Tiefe besser geeignet sind als an der Oberfläche,
- ein Risiko der Abschirmung durch angrenzende Rohrleitungen oder andere unterirdische Bauwerke besteht,
- der verfügbare Platz für ein flaches Erdnetz begrenzt ist und
- ein Risiko der Erzeugung von Interferenzströmen durch angrenzende Anlagen besteht.

Die ausführliche Konstruktion muss ein Verfahren zur Bohrung des Schachts, die Ermittlung der Resistivität des Elektrolyts in verschiedenen Tiefen, die Fertigstellung des Bohrlochs und ein Verfahren für die Installation der Anoden und der leitenden Bettungsmasse umfassen.

Die Konstruktion und der Bau des Bohrlochs müssen einen unerwünschten Wassertransport zwischen verschiedenen geologischen Formationen und die Verschmutzung der darunter liegenden Schichten verhindern. In einigen Ländern kann diese Aktivität spezielle Prüfungen und Dokumentationen erfordern.

Soweit erforderlich, sollten Metallfutterrohre zur Stabilisierung des Bohrlochs im aktiven Abschnitt des Erdnetzes verwendet werden. Die Metallfutterrohre müssen elektrisch von allen anderen Bauwerken an der Oberfläche isoliert werden.

ANMERKUNG Metallfutterrohre bieten nur eine vorübergehende Stabilisierung des Bohrlochs, da das Metall durch den Gleichstromdurchfluss verbraucht wird.

Wenn eine dauerhafte Stabilisierung erforderlich ist, sollten nichtmetallische perforierte Futterrohre verwendet werden. Bei der Berechnung des Erdnetzwidestands müssen die Elektrolyt-Resistivitätsdaten entsprechend der Tiefe des Mittelpunkts der aktiven Länge verwendet und die Möglichkeit mehrschichtiger Elektrolyte mit sehr unterschiedlichen Elektrolyt-Resistivitäten berücksichtigt werden.

Tiefe Erdnetze sollten mit geeigneten Lüftungsrohren ausgestattet werden, um Gasblockierungen zwischen den Anoden und der leitenden Bettungsmasse zu verhindern. Das Lüftungsrohr muss aus nichtmetallischem chlorin-beständigem Material hergestellt sein.

9.3.3 Flache Erdnetze

Flache Erdnetze sollten in Betracht gezogen werden, wenn

- die Elektrolyt-Resistivität an der Oberfläche sehr viel besser geeignet ist als in der Tiefe für ein tiefes Erdnetz,
- kein Risiko der Abschirmung durch angrenzende Rohrleitungen oder andere unterirdische Bauwerke besteht,
- ausreichend Platz für ein flaches Erdnetz vorhanden ist und
- der erzeugte Strom keine inakzeptable Korrosion an angrenzenden unterirdischen Bauwerken verursacht.

Flache Erdnetz-Anoden müssen horizontal oder vertikal installiert werden. In beiden Fällen muss die Oberkante der leitenden Bettungsmasse mindestens 0,8 m unter Bodenhöhe oder mindestens unter der Dauerfrostbodenschicht (sofern anwendbar) liegen. Bei der Berechnung des Erdnetzwidestands müssen die Elektrolyt-Resistivitätsdaten entsprechend der Mittellinie (horizontales Erdnetz) oder dem Mittelpunkt (vertikales Erdnetz) der Anoden verwendet und die Möglichkeit mehrschichtiger Elektrolyte mit sehr unterschiedlichen Elektrolyt-Resistivitäten berücksichtigt werden.

Die ausführliche Konstruktion muss ein Verfahren für den Bau des Erdnetzes, die Installation der Anoden und die leitende Bettungsmasse umfassen.

Am Beginn und Ende des Erdnetzes sollte eine dauerhafte Markierung erwogen werden.

9.3.4 Fremdstromschutzanoden und leitende Bettungsmasse

Die Materialien der Anoden sollten aus der folgenden Liste ausgewählt werden:

- Eisenlegierung mit hohem Silikonanteil, sofern anwendbar, mit Chromkonzentration bei Anwendung in Elektrolyten, mit hohem Chloranteil und sofern gesetzlich zulässig;
- Magnetit;
- Graphit;
- Mischmetalloxid-beschichtetes Titan;
- leitfähige Polymere;
- Stahl.

Alternative Materialien können verwendet werden, wenn die zuverlässige Leistung unter den jeweiligen Betriebsbedingungen nachgewiesen und dokumentiert werden kann.

Die Abmessungen und die Masse des ausgewählten Materials müssen geeignet sein, um 125 % des erforderlichen Anodenstroms während der gesamten Auslegungslebensdauer des Kathodenschutzsystems zu liefern.

Bettungsmasse ist zu verwenden, um den Anoden-Elektrolyt-Widerstand zu reduzieren, sofern die Elektrolyt-Bedingungen keinen zufriedenstellenden Widerstand bieten, das Elektrolyt homogen ist und ein gleichmäßiger Anodenverbrauch erwartet wird.

Für Fremdstromschutzanoden werden üblicherweise elektrisch leitende Bettungsmassen verwendet, da diese Folgendes ermöglichen:

- eine Reduzierung des Anodenverbrauchs;
- eine Verbesserung der Gasperkolation.

ANMERKUNG Bettungsmasse kann entweder einen elektrischen Leiter (z. B. Koks, Graphit oder Magnetit) oder einen Elektrolytleiter (z. B. Bentonit und Gips) haben.

Bei der Verwendung von elektrolytischen Bettungsmassen sollte darauf geachtet werden, ein Austrocknen der Bettungsmasse während des Betriebs der Fremdstromschutzanlage zu verhindern.

Die Umweltauswirkung der Auflösung des Anodenmaterials und des Aufbrechens der leitenden Bettungsmasse ist zu berücksichtigen.

Die Bettungsmasse sollte geprüft werden, um festzustellen, ob sie geeignet ist und korrekt vorbereitet wurde. Es ist besonders wichtig, zu prüfen, ob die Bettungsmasse in ausreichender Menge vorhanden und homogen ist und die Anforderungen der Projektspezifikationen erfüllt.

Die Verwendung dauerhaft leitfähiger Polymeranoden oder von Titan-MMO-Draht sollte insbesondere bei Elektrolyten mit sehr hohem Widerstand um die Rohrleitung erwogen werden.

Das Anodenverhalten sollte mit dem Hersteller geprüft werden. Die typischen elektrochemischen Eigenschaften von Anoden für Fremdstromschutzanlagen unterirdischer Rohrleitungen sind in Tabelle 4 angegeben. Wenn carbonhaltige Bettungsmasse verwendet wird, sollte der Koksverbrauch bei der Bemäßung des Erdnetzes berücksichtigt werden.

Tabelle 4 — Typische elektrochemische Eigenschaften von Fremdstromschutzanoden im Erdreich

Anodenmaterialien	Verbrauchsrate $\text{g}\cdot\text{A}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$	Typischer Anoden- Stromdichtebereich $\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$
Stahlschrott	10 000 bis 12 000	1 bis 5
Eisenlegierung mit hohem Siliziumgehalt	250 bis 1 000	10 bis 30 ^b
Imprägniertes Graphit	500 bis 1 000	2,5 bis 10 ^b
Magnetit	2	10 bis 20 ^b
Mischmetalloxid (MMO) auf Titansubstrat in carbonhaltiger Bettungsmasse	a, c	50 bis 100 ^b
Leitfähige Polymere in carbonhaltiger Bettungsmasse	a	0,4 ^b
ANMERKUNG Wenn Fremdstromschutzanoden mit carbonhaltiger Bettungsmasse installiert werden, muss die Verbrauchsrate der carbonhaltigen Bettungsmasse berücksichtigt werden. Typischerweise beträgt der Wert $900 \text{ g}\cdot\text{A}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ bis $2\,000 \text{ g}\cdot\text{A}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ und ein typischer Wert für die Anodenstromdichte ist $5 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$.		
a Diese Anoden werden üblicherweise in carbonhaltiger Bettungsmasse installiert. Die Auslegungslebensdauer wird grundsätzlich durch die Verbrauchsrate der carbonhaltigen Bettungsmasse bestimmt. Die Verbrauchsrate der Anode ist daher unwesentlich.		
b Die Empfehlungen des Herstellers der Anoden zur maximalen Stromdichte sollten beachtet werden.		
c NACE/TM 0108–2008 [2] enthält Empfehlungen für die Prüfung katalysierter Titananoden im Erdreich.		

9.4 Ausgangssteuerung

9.4.1 Allgemeines

Der Ausgangsstrom eines Gleichrichters kann kontrolliert werden durch:

- die konstante Ausgangsgleichrichterspannung: Der Strom wird durch den Stromkreiswiderstand kontrolliert. Veränderungen des äußeren Stromkreises (z. B. Streustrom, Elektrolytschwankungen) führen zu Änderungen des Werts des auf die Rohrleitung angewendeten Stroms;
- Potentialsteuerung: Das an einer repräsentativen Position der Rohrleitung gemessene und wieder in den Gleichrichter eingespeiste Potential, das den Ausgang des Transformator-Gleichrichters regelt und die voreingestellten Potentialmesswerte an der Rohrleitung aufrechterhält. Veränderungen des äußeren Stromkreises (z. B. Streustrom, Elektrolytschwankungen) führen zu Änderungen des Werts des auf die Rohrleitung angewendeten Stroms;
- Stromsteuerung: Der dem Gleichrichter zugeführte Wert wird automatisch durch den Vergleich mit einem eingestellten Wert kontrolliert.

Der Stromkreis zwischen dem Erdnetz und der Rohrleitung durch den Transformator-Gleichrichter sollte bis zur Inbetriebnahme am Transformator-Gleichrichter offengelassen werden.

9.4.2 Stromverteilung für mehrere Rohrleitungen

Wenn mehrere Rohrleitungen kathodisch durch einen Gleichrichter geschützt werden, müssen die folgenden Parameter berücksichtigt werden:

- Trassenverlauf der Rohrleitung;
- Eigentümer/Betreiber der Rohrleitung;
- Elektrischer Einfluss;
- Strombedarf für jede Rohrleitung;
- Kathodenschutz-Abschirmungswirkung (Position des Erdnetzes im Vergleich zu den verschiedenen Rohrleitungen).

Widerstände sollten in negativen Abflüssen installiert werden, um die Stromzufuhr zu jeder angrenzenden Rohrleitung individuell auszugleichen. Jeder negative Abfluss darf mit einem Shunt und einer Diode ausgestattet werden, um eine gegenseitige Beeinflussung der Rohrleitungen während der Einschalt- und Ausschaltpotentialmessungen zu verhindern (siehe Anhang A).

Alle Kabel, Dioden und Strommesseinrichtungen sollten in einem Verteilerkasten oder dem Transformator-Gleichrichter-Gehäuse installiert werden.

Der Kathodenschutz mehrerer Rohrleitungen durch einen einzigen Transformator-Gleichrichter darf durch Verwendung eines Potentialausgleichs hergestellt werden, wenn die Wirksamkeit des Kathodenschutzes sichergestellt ist. Dies schränkt jedoch die Möglichkeit der Potentialmessung an einzelnen Rohrleitungen ein.

9.4.3 Potentialsteuerung

Die Wechselspannungsquelle muss unter Umständen ein konstantes Rohrleitungspotential aufrechterhalten, um Änderungen der externen Stromkreisbedingungen auszugleichen. Änderungen können durch Streustrom- oder Erdstrombeeinflussung verursacht werden.

In diesen Fällen darf die durch eine dauerhafte Referenzelektrode gemessene Spannung als steuerndes Potential zur Änderung des Transformator-Gleichrichter-Ausgangs und Aufrechterhaltung eines konstanten Rohrleitungs-Elektrolyt-Potentials verwendet werden. Die Referenzelektrode muss so platziert werden, dass sie die zur Steuerung notwendigen Potentiale genau wiedergibt (z. B. nahe der Rohrleitung).

ANMERKUNG Die Steuerung der Ausgangseigenschaften erfolgt üblicherweise elektronisch. Dies hat den Vorteil, dass der Ausgangsstrom begrenzt werden kann, um einen Überschutz im Fall eines Ausfalls der Referenzelektrode zu verhindern.

Dauerhafte Referenzelektroden müssen regelmäßig überwacht werden.

Der zur Steuerung verwendete Potentialmesskreis muss einen Mindesteingangswiderstand von 10 M Ω aufweisen. Das elektronische Kontrollsystem muss eine Auflösung von mindestens ± 10 mV haben und mit Reglern zur Einstellung des erforderlichen Schutzpotentials und des Stromgrenzwerts und/oder optischen Alarmanzeigen für Überspannung oder Überstrom ausgestattet sein.

Steuerpultmessenanzeigen müssen vorhanden sein, um die Ausgangsspannung, den Ausgangsstrom und das Schutzpotential anzuzeigen.

10 Galvanische Anodensysteme

10.1 Allgemeines

Galvanische Anodensysteme sollten berücksichtigt werden, wenn der Strombedarf gering ist. Diese Systeme sind besser für Rohrleitungen mit kleinem Durchmesser, kurze Längen (einige Kilometer) beschichteter Rohrleitungen mit größerem Durchmesser und in Elektrolyten mit geringer Resistivität (in denen die Anode installiert ist) sowie Wasser, Sümpfen oder Marschen geeignet.

Die Anwendung galvanischer Anoden darf außerdem berücksichtigt werden

- wenn keine Fremdstromleistung zur Verfügung steht,
- für den vorübergehenden Schutz neu verlegter Rohrleitungen,
- für den vorübergehenden Schutz bestehender Rohrleitungen,
- wenn die Instandhaltung elektrischer Anlagen in Verbindung mit Fremdstrom nicht praktikabel ist,
- für den lokalen (Hotspot) Schutz zur Ergänzung von Fremdstromschutzanlagen (z. B. im Fall komplexer Bauwerke oder anodischer Bereiche wie etwa neben einer Isolierverbindung),
- wenn Fernerddnetze für Fremdstromschutzanlagen nicht installiert werden können,
- in Taubereichen an Orten, an denen das Elektrolyt um die Rohrleitung gefrieren kann (Dauerfrost),
- unter Wärmeisolierung, wenn eine äußere Fremdstromschutzanlage aufgrund der elektrischen Isolierung durch die Wärmebeschichtung unwirksam ist und
- wenn eine Abschirmungswirkung verhindern kann, dass der Kathodenschutzstrom die Rohrleitung erreicht.

10.2 Konstruktionsanforderungen

Für einen erfolgreichen Kathodenschutz von Rohrleitungen muss die Konstruktion galvanischer Anodensysteme die folgenden Anforderungen erfüllen:

- das gewählte Anodenmaterial muss den erforderlichen Schutzstrom (unter Berücksichtigung der Resistivität des Elektrolyts und des treibenden Potentials der Anode) entlang der Rohrleitung liefern;
- die Anode muss in der Lage sein, den maximalen Strombedarf dauerhaft zu liefern;
- die Masse der Anode muss ausreichend sein, um den erforderlichen Strom über die Auslegungsliebensdauer des Rohrleitungssystems zu liefern.

Galvanische Anoden sollten mit dem Materialtyp gekennzeichnet werden (z. B. Handelsname, Anodenmasse ohne Anodenbettungsmasse und Gussnummer). Die Anzahl, Bauarten, Massen, Abmessungen, die chemische Analyse und die Leistungsdaten der Anoden müssen dokumentiert und vorgelegt werden.

Die Umweltbeeinflussung der galvanischen Anoden und ihrer Bettungsmasse muss berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Bei unterirdischen Rohrleitungsanwendungen werden Zink- und Magnesiumlegierungen als Hauptanodenmaterialien verwendet (siehe DIN EN 12496). Spezifische praktische Daten zu den Eigenschaften dieser Materialien sind in 10.3 und 10.4 angegeben.

Aluminium-Anoden dürfen nicht für unterirdische Anwendungen in Elektrolyt eingesetzt werden, außer wenn der Chloridgehalt des Elektrolyts hoch genug ist.

Andere Legierungen dürfen verwendet werden, wenn ihre zuverlässige Leistung in Elektrolyt nachgewiesen werden kann.

Die Berechnung zur Bestimmung der Anodenmasse muss den Ausnutzungsfaktor u berücksichtigen, der dem Formverschleiß der Anode im Verlauf der Zeit entspricht. Sofern nicht anders angegeben, sollte ein Wert von 0,80 für diesen Faktor angewendet werden.

10.3 Zink-Anoden

Typische Zusammensetzungen von Zink-Anoden sind in Tabelle 5 angegeben (siehe DIN EN 12496). Tabelle 6 enthält die gemeinsamen elektrochemischen Eigenschaften der drei Legierungsarten aus Tabelle 5. Bei Installation im Erdreich für Rohrleitungsanwendungen müssen Zink-Anoden mit einer Anodenbettungsmasse verwendet werden, sofern der Boden keine Chloride oder Sulfate enthält.

ANMERKUNG In Umgebungen, in denen Carbonate, Bicarbonate und Nitrate vorhanden sind, entwickelt Zink ein sehr hohes Edelmetallpotential aufgrund der Anwesenheit passivierender Oberflächenfilme. Dieser Effekt kann den Wirkungsgrad der Zink-Anode reduzieren. Dieses Phänomen tritt nicht auf, wenn das Elektrolyt Sulfate oder Chloride enthält.

Tabelle 5 — Typische chemische Zusammensetzungen von für Zink-Anoden verwendeten Legierungen

Elemente	Legierung Z 1^a Masse %	Legierung Z 2^b Masse %	Legierung Z 3 Masse %
Al	0,1 bis 0,5	0,005 max	0,10 bis 0,20
Cd	0,025 bis 0,07	0,003 max	0,04 bis 0,06
Fe	0,005 max	0,001 4 max	0,001 4 max
Cu	0,005 max	0,002 max	0,005 max
Pb	0,006 max	0,003 max	0,006 max
Sn	—	—	0,01 max
Mg	—	—	0,5 max
Weitere Angaben	0,10 max	0,005 max	0,1 max
Zn	99,314 min	99,99 min	Rest
^a Z1-Legierungen werden normalerweise in Übereinstimmung mit US. MIL-A-18001-K-93[7] oder ASTM B418-12,[5] Typ I geliefert. ^b Legierung Z2 wird oftmals als „hochreines Zink“ bezeichnet und in Übereinstimmung mit ASTM B418-12[X], Typ II geliefert.			

Tabelle 6 — Typische elektrochemische Parameter für im Erdreich eingesetzte Zink-Anoden

Parameter	Zink-Anode
Offenes Stromkreis-Potential (V im Vergleich zu gesättigtem Cu/CuSO ₄)	–1,05 bis –1,10
Geschlossenes Stromkreis-Potential (V im Vergleich zu gesättigtem Cu/CuSO ₄)	–1,00 bis –1,05
Praktische elektrochemische Kapazität (A hr/kg)	780
Praktische Verbrauchsrate (kg/A·yr)	11,2

Zink-Anoden sollten auch mit Bettungsmasse nicht verwendet werden, wenn die Resistivität des Bodens mehr als 50 Ω.m beträgt, außer wenn eine technische Beurteilung oder Feldprüfung bestätigt, dass die Konstruktionsanforderungen erfüllt werden können.

10.4 Magnesium-Anoden

Die typischen Zusammensetzungen von Magnesium-Anoden in Übereinstimmung mit DIN EN 12496 sind in Tabelle 7 angegeben. Tabelle 8 gibt die typischen elektrochemischen Eigenschaften an. Bei Installation im Erdreich für Rohrleitungsanwendungen sollten Magnesium-Anoden in Kombination mit Anoden-Bettungsmasse verwendet werden.

Tabelle 7 — Typische chemische Zusammensetzungen von für Magnesium-Anoden verwendeten Legierungen

Elemente	Legierung M 1 ^a Masse %	Legierung M 2 Masse %
Mn	0,25 min	0,5 bis 1,5
Al	5 bis 7	0,05 max
Zn	2 bis 4	0,03 max
Fe	0,005 max	0,03 max
Cu	0,08 max	0,02 max
Si	0,3 max	0,05 max
Pb	0,03 max	0,01 max
Ni	0,003 max	0,002 max
Sonstige, gesamt	0,30 max	0,30 max
Mg	Rest	Rest
^a Legierung M 1 wird normalerweise in Übereinstimmung mit ASTM B843-09 geliefert. [6]		

Tabelle 8 — Typische elektrochemische Parameter für im Erdreich eingesetzte Magnesium-Anoden

Parameter	Legierung M 1 Masse %	Legierung M 2 Masse %
Offenes Stromkreis-Potential (V im Vergleich zu gesättigtem Cu/CuSO ₄)	–1,57 bis –1,60	–1,77 bis –1,82
Geschlossenes Stromkreis- Potential (V im Vergleich zu gesättigtem Cu/CuSO ₄)	–1,52 bis –1,57	–1,64 bis –1,69
Praktische elektrochemische Kapazität (A·h/kg)	1 100	1 100
Praktische Verbrauchsrate (kg/A·y)	7,5	7,5

Magnesium-Anoden sollten auch mit Bettungsmasse nicht verwendet werden, wenn die Resistivität des Bodens mehr als 100 Ω m beträgt, außer wenn eine technische Beurteilung oder Feldprüfung bestätigt, dass die Konstruktionsanforderungen erfüllt werden können.

ANMERKUNG Der Stromwirkungsgrad wird reduziert, wenn die Anoden-Stromdichte weniger als 200 mA/m² beträgt (siehe Bild 1 für Magnesium-Legierung M 1).