

	DIN EN ISO 15589-1	
ICS 75.200	<div>Entwurf</div>	Einsprüche bis 2024-06-12 Vorgesehen als Ersatz für DIN EN ISO 15589-1:2019-09
<p>Öl- und Gasindustrie einschließlich kohlenstoffarmer Energieträger – Kathodischer Korrosionsschutz für Rohrleitungssysteme – Teil 1: Rohrleitungen an Land (ISO/DIS 15589-1:2024); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 15589-1:2024</p> <p>Oil and gas industries including lower carbon energy – Cathodic protection of pipeline systems – Part 1: On-land pipelines (ISO/DIS 15589-1:2024); German and English version prEN ISO 15589-1:2024</p> <p>Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel – Protection cathodique des systèmes de transport par conduites – Partie 1: Conduites terrestres (ISO/DIS 15589-1:2024); Version allemande et anglaise prEN ISO 15589-1:2024</p> <p>Anwendungswarnvermerk</p> <p>Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-04-12 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.</p> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> <ul style="list-style-type: none">– 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 oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin. <p>Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</p> <p>Gesamtumfang 194 Seiten</p> <p>DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG) DIN-Normenausschuss Gastechnik (NAGas) DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)</p>		

Nationales Vorwort

Das Dokument (prEN ISO 15589-1:2024) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Oil and gas industries including lower carbon energy“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 109-00-02 AA „Fernleitungssysteme – Spiegelausschuss zu ISO/TC 67/SC 2“ im DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG).

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.

DIN EN ISO 15589 besteht unter dem allgemeinen Titel *Öl- und Gasindustrie einschließlich kohlenstoffarmer Energieträger — Kathodischer Korrosionsschutz für Rohrleitungssysteme* aus den folgenden Teilen:

— Teil 1: Rohrleitungen an Land

— Teil 2: Offshore-Pipelines

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

ISO 8044	siehe	DIN EN ISO 8044
ISO 10012	siehe	DIN EN ISO 10012
ISO 15257	siehe	DIN EN ISO 15257
ISO 15589-2	siehe	DIN EN ISO 15589-2
ISO 18086	siehe	DIN EN ISO 18086
ISO 21809 (all parts)	siehe	DIN EN ISO 21809 (alle Teile)
ISO 21857	siehe	DIN EN ISO 21857
ISO/IEC 17024	siehe	DIN EN ISO/IEC 17024
IEC 60529	siehe	DIN EN 60529 (VDE 0470-1)
IEC 62305-4	siehe	DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4)
IEC 62561-3	siehe	DIN EN 62561-3 (VDE 0185-561-3)

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 15589-1:2019-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- die Kriterien für den kathodischen Schutz wurden erweitert und die Anwendung der Kriterien weiter präzisiert;
- die Anforderungen an die Auslegung wurden präzisiert, die Fristen für die Inspektion der kathodischen Anlagen erweitert und die Möglichkeit der Fernüberwachung hinzugefügt;
- die Anforderungen an die Messungen und Prüfungen während der Inbetriebnahme wurden weiter präzisiert.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60529 (VDE 0470-1), *Schutzarten durch Gehäuse*

DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4), *Blitzschutz — Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen*

DIN EN 62561-3 (VDE 0185-561-3), *Blitzschutzsystembauteile (LPSC) — Teil 3: Anforderungen an Trennfunkstrecken*

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

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

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

DIN EN ISO 15589-2, *Öl- und Gasindustrie einschließlich kohlenstoffarmer Energieträger — Kathodischer Schutz für Transportleitungssysteme — Teil 2: Offshore-Pipelines*

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

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

DIN EN ISO 21857, *Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie — Vermeidung von durch Streuströme beeinflusster Korrosion an Rohrleitungssystemen*

DIN EN ISO/IEC 17024, *Konformitätsbewertung — Allgemeine Anforderungen an Stellen, die Personen zertifizieren*

– Leerseite –

April 2024

prEN ISO 15589-1

Öl- und Gasindustrie einschließlich kohlenstoffarmer Energieträger – Kathodischer Korrosionsschutz für Rohrleitungssysteme – Teil 1: Rohrleitungen an Land (ISO/DIS 15589-1:2024)

Oil and gas industries including lower carbon energy – Cathodic protection of pipeline systems – Part 1: On-land pipelines (ISO/DIS 15589-1:2024)

Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel – Protection cathodique des systèmes de transport par conduites – Partie 1: Conduites terrestres (ISO/DIS 15589-1:2024)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	7
Vorwort	8
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	11
4 Symbole und Abkürzungen	14
4.1 Symbole	14
4.2 Abkürzungen	15
5 Kompetenz	16
6 Kriterien für den kathodischen Schutz	16
6.1 Allgemeines	16
6.2 Schutzpotentiale	17
6.3 Alternative Bewertungsverfahren	19
6.3.1 100 mV kathodische Potentialverschiebung	19
6.3.2 Andere Bewertungsverfahren	20
6.4 Kriterien bei Vorhandensein von Wechselstrom	20
6.5 Kriterien bei Vorhandensein von Wechselstrom	20
7 Voraussetzungen für die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes	20
7.1 Allgemeines	20
7.2 Elektrische Längsleitfähigkeit	20
7.3 Elektrische Trennung	21
7.3.1 Allgemeines	21
7.3.2 Einbauorte	21
7.3.3 Isolierstücke	22
7.3.4 Innenkorrosionsrisiko an Isolierstücken	23
7.3.5 Kontakte zwischen metallischen Objekten	23
7.3.6 Elektrische Erdungssysteme	23
7.3.7 Blitz- und Überspannungsschutz	25
7.3.8 Überspannungsschutzvorrichtungen für die Gleichstromtrennung	25
7.4 Umhüllung	26
7.4.1 Allgemeines	26
7.4.2 Werksseitige Umhüllungen	27
7.4.3 Nachumhüllungen der Schweißnähte	27
7.4.4 Beschichtung für grabenlos verlegte Rohrleitungen	27
7.4.5 Boden-Luft-Übergang	28
7.4.6 Kompatibilität von Beschichtungen und Umhüllungen mit dem kathodischen Korrosionsschutz	28
7.4.7 Wärmedämmung	28
7.4.8 Armierte Betonummantelung	29
7.5 Auswahl der Bettungsmasse für den Rohrgraben	29
7.6 Mantelrohre für Rohrleitungen	29
7.6.1 Allgemeines	29
7.6.2 Mantelrohre, die den Schutzstrom abschirmen	29
7.6.3 Mantelrohre, die Schutzstrom durchleiten	30
7.7 Ausrüstung zur Reduzierung der Wechselspannungsbeeinflussung	30
7.8 Ausrüstung zur Reduzierung der Gleichstrombeeinflussung	30
8 Grundlegende Anforderungen an die Planung des kathodischen Korrosionsschutzes . .	31
8.1 Allgemeines	31
8.2 Grundlegende Informationen für die Planung des kathodischen Korrosionsschutzes . .	31
8.3 Inhalt des Planungsberichts zum kathodischen Korrosionsschutz	32

8.4	Schutzstrombedarf	33
8.4.1	Berechnung des theoretischen Gesamtstrombedarfs	33
8.4.2	Strombedarf basierend auf den Stromdichtewerten für umhüllte Rohrleitungen	33
8.5	Ausrüstung für den kathodischen Korrosionsschutz	35
8.5.1	Kabel	35
8.5.2	Kabelverbindung	36
8.5.3	Verteilerkästen und Messstellen	37
8.6	Temporärer Schutz	38
8.7	Sonderfall bestehender Rohrleitungen	39
8.7.1	Allgemeines	39
8.7.2	Parallele Rohrleitungen	39
8.7.3	Parallelführung oder Kreuzung mit Wechselstromnetzen	39
8.8	Grabenlose Verlegeverfahren	40
9	Fremdstromschutzanlagen	40
9.1	Allgemeines	40
9.2	Stromversorgung	41
9.3	Anodenfelder	41
9.3.1	Allgemeines	41
9.3.2	Tiefenanodenfelder	42
9.3.3	Flachbettanodenfelder	43
9.3.4	Fremdstromanoden und leitfähige Bettungsmasse	43
9.4	Steuerung der Stromabgabe	45
9.4.1	Allgemeines	45
9.4.2	Stromverteilung für mehrere Rohrleitungen	45
9.4.3	Potentialsteuerung	46
10	Galvanische Anodenanlagen	46
10.1	Allgemeines	46
10.2	Planungsanforderungen	47
10.3	Zink-Anoden	47
10.4	Magnesium-Anoden	48
10.5	Planung des Anodensystems	50
10.6	Anodenbettungsmasse	52
10.7	Kabel und Kabelverbindungen	52
10.8	Anodeninstallation	52
11	Inspektionseinrichtungen	52
11.1	Allgemeines	52
11.2	Orte der Messstellen	52
11.3	Beschreibung von Messstellen	53
11.4	Nutzung von Messproben und Probeblechen	54
11.5	Verbindung zu anderen Rohrleitungen	54
11.6	Messstellen an Mantelrohrkreuzungen	54
11.7	Prüfeinrichtungen an Isolierstücken	54
11.8	Messstellen zur Inspektion des Rohrstroms	54
11.9	Messstellen für Einspeisepunkte	55
11.10	Sonstige Inspektionseinrichtungen	55
12	Inbetriebnahme	55
12.1	Allgemeines	55
12.2	Vorprüfungen	55
12.3	In Betrieb setzen	57
12.3.1	Fremdstromschutzanlagen	57
12.3.2	Galvanische Anoden	57
12.3.3	Streustromableitungsanlagen	57
12.3.4	Messstellen	58
12.4	Prüfung der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes	58
12.4.1	Allgemeines	58
12.4.2	Messung des Potentials- und der Wechselspannung	58
12.4.3	Strommessungen	59

12.4.4	Anpassungen	59
12.5	Inbetriebnahmebericht	59
12.5.1	Installationsdokumentation	59
12.5.2	Inbetriebnahmемессungen	60
13	Inspektion und Wartung	60
13.1	Allgemeines	60
13.2	Implementierung der Inspektion	61
13.3	Inspektionsintervalle	62
13.4	Ferninspektion	64
13.5	Spezielle Untersuchungen	64
13.6	Inspektionsplan	64
13.7	Messeinrichtungen	65
13.8	Instandhaltung und Instandsetzung	65
14	Dokumentation	66
14.1	Planungsdokumentation	66
14.1.1	Allgemeines	66
14.1.2	Konstruktionsdetails und Installationsverfahren	67
14.2	Dokumentation der Inbetriebnahme	67
14.3	Betriebs- und Instandhaltungsdokumentation	68
14.3.1	Allgemeines	68
14.3.2	Inspektionsdaten	68
14.3.3	Instandhaltungsprotokolle	69
Anhang A	(normativ) Messungen zum kathodischen Korrosionsschutz	70
A.1	Allgemeines	70
A.2	Potentialmessungen	70
A.2.1	Allgemeines	70
A.2.2	Einschaltpotentialmessung	71
A.2.3	Ausschaltpotentialmessung	71
A.2.4	Gleichstrommessungen in Messkreisen mit niedriger Spannung	71
A.2.5	Messungen an Messprobe oder Probestück	72
A.3	100 mV kathodische Potentialverschiebung	73
A.3.1	Messverfahren während der Polarisierung	73
A.3.2	Messverfahren während der Depolarisierung	74
A.4	Messung der Korrosionsgeschwindigkeit	75
A.5	Überprüfung der elektrischen Trennung	75
A.5.1	Allgemeines	75
A.5.2	Messungen des Rohrleitung/Elektrolyt-Potentials	76
A.5.3	Elektrische Widerstandsmessungen	76
A.5.4	Einspeiseversuche	76
A.5.5	Tonfrequenzgenerator-Messungen	77
A.5.6	Prüfung des Isolierstücks mit einer Batterie und einer Strommesszange	77
A.6	Rohrstrommessung	77
Anhang B	(normativ) Elektrische Beeinflussung	79
B.1	Allgemeines	79
B.2	Gleichstrombeeinflussung	79
B.2.1	Messungen	79
B.2.2	Reduzierung von Korrosionsproblemen durch Gleichstrombeeinflussung	80
B.3	Wechselspannungsbeeinflussung	81
B.3.1	Allgemeines	81
B.3.2	Berechnung der Wechselstrominduktions- und/oder Ableitwirkung	82
B.3.3	Messungen	82
B.3.4	Begrenzung von Wechselspannungsbeeinflussungen	82
Anhang C	(informativ) Fehlererkennung an Fremdstromschutzsystemen während des Betriebs	83
Anhang D	(informativ) Beschreibung spezieller Untersuchungen	85
D.1	Allgemeines	85
D.2	Oberirdische Untersuchungen zur Bewertung des Umhüllungszustands und zur Lokalisierung von Umhüllungsbeschädigungen	85

D.2.1	Allgemeines	85
D.2.2	Pearson-Methode (ACVG)	85
D.2.3	Stromdämpfungsuntersuchung	86
D.2.4	Gleichspannungsgradienten-Untersuchung	86
D.3	Oberirdische Untersuchungen zur Messung des Rohrleitung-/Elektrolyt-Potentials entlang einer erdverlegten Rohrleitung	87
D.3.1	Potentialuntersuchungen in engen Abständen (en: close-interval potential survey)	87
D.3.2	Intensivmessverfahren	87
D.4	Stromeinspeiseprüfungen	89
D.4.1	Allgemeines	89
D.4.2	Anforderungen an den Rohrstrom und Ausbreitungswiderstand von Rohrleitungen	90
D.4.3	Anforderungen an den Strom für grabenlose Verlegung	91
Anhang E	(informativ) Berechnung des Potentialverlaufs	93
E.1	Allgemeines	93
Anhang F	(informativ) Elektrische Prüfung von Isolierstücken vor Installation	96
Anhang G	(informativ) Innenkorrosion an Isolierstücken	97
G.1	Allgemeines	97
G.2	Schutzmaßnahmen	98
G.2.1	Installation der Isolierstücks an einem vertikalen oder winkligen Übergang	98
G.2.2	Aufbringen einer Innenbeschichtung (Auskleidung)	98
G.2.3	Installation eines Stahlrohr-Ausbaustücks	99
Literaturhinweise		100

Bilder

Bild 1	— Stromkapazität der Magnesium-Legierung M 1 im Vergleich zur Stromdichte	50
Bild A.1	— Verfahren zur Bestimmung des tatsächlich fließenden Stroms in Messkreisen mit sehr niedrigen Spannungen	72
Bild A.2	— Polarisationsverfahren	74
Bild A.3	— Depolarisationsverfahren	75
Bild A.4	— Prüfung des Isolierstücks mit einer Batterie und einer Strommesszange	77
Bild A.5	— Messanordnung zur Bestimmung des Rohrstroms und des Längswiderstands einer Rohrleitung	78
Bild D.1	— Referenzelektrodenpositionen für das Intensivmessverfahren	89
Bild E.1	— Festlegung des Einspeisepunkts	93
Bild F.1	— Schema einer Megaohmmetermessung	96
Bild G.1	— Innenkorrosion an einem Isolierstück	97

Tabellen

Tabelle 1	— Freie Korrosionspotentiale, Schutzpotentiale und kritische Grenzpotentiale häufiger metallischer Materialien im Erdreich und im Wasser (außer Meerwasser), gemessen im Vergleich zur Kupfer-/Kupfersulfat-Bezugselektrode	18
Tabelle 2	— Mindestspezifikationen für Abgrenzeinheiten, die in Erdungssystemen für elektrische Anlagen verwendet werden	24
Tabelle 3	— Typische Parameter von Funkenstrecken, die bei Anwendungen des kathodischen Korrosionsschutzes verwendet werden können	25
Tabelle 4	— Typische Parameter von Gleichstromtrennvorrichtungen, die bei Anwendungen des kathodischen Korrosionsschutzes verwendet werden können	26
Tabelle 5	— Typische Auslegungs-Stromdichten für umhüllte Rohrleitungen	34
Tabelle 6	— Typische elektrochemische Eigenschaften von Fremdstromanoden im Erdreich	44
Tabelle 7	— Typische chemische Zusammensetzungen von für Zink-Anoden verwendeten Legierungen	48

Tabelle 8 — Typische elektrochemische Parameter für im Erdreich eingesetzte Zink-Anoden . .	48
Tabelle 9 — Typische chemische Zusammensetzungen von für Magnesium-Anoden verwendeten Legierungen	49
Tabelle 10 — Typische elektrochemische Parameter für im Erdreich eingesetzte Magnesium-Anoden	49
Tabelle 11 — Mindestintervalle für wiederkehrende Messungen und Prüfungen	63
Tabelle C.1 — Mögliche Ursachen ungewöhnlicher Befunde	83

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 15589-1:2024) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Oil and gas industries including lower carbon energy“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 15589-1:2017 ersetzen.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 15589-1:2024 wurde von CEN als prEN ISO 15589-1:2024 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO 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 staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Directives, Teil 1, beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Directives, 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 erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 67, *Oil and gas industries including lower carbon energy*, Unterkomitee SC 2, *Pipeline transportation systems*.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 15589-1:2015), welche mit den folgenden Änderungen technisch überarbeitet wurde:

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

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

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

Einleitung

Der kathodische Korrosionsschutz von Rohrleitungen wird durch die Einspeisung einer ausreichenden Menge von Gleichstrom in die äußere Oberfläche von Rohrleitungen erreicht, sodass das Stahl/Elektrolyt-Potential auf Werte abgesenkt ist, bei denen die Außenkorrosion auf eine vernachlässigbare Geschwindigkeit reduziert wird.

Der kathodische Korrosionsschutz wird normalerweise in Kombination mit einem geeigneten Umhüllungssystem angewendet, um die äußere Oberfläche von Stahl-Rohrleitungen vor Korrosion zu schützen.

Anwender dieses Teils von ISO 15589 werden darauf hingewiesen, dass weitere oder andere Anforderungen für individuelle Anwendungen erforderlich sein können. Dieser Teil von 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 von ISO 15589 identifiziert und dokumentiert werden.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 15589 legt Anforderungen fest und gibt Empfehlungen für die Untersuchungen vor der Installation, die Planung, die Werkstoffe, die Ausrüstung, die Installation, die Inbetriebnahme, den Betrieb, die Inspektion und die Instandhaltung von kathodischen Schutzsystemen für Rohrleitungen an Land. Rohrleitungen an Land sind in ISO 13623 oder EN 14161 für die Erdöl-, Petrochemie- und Erdgasindustrie definiert. Sie werden auch in EN 1594, EN 12007-1 und EN 12007-3 beschrieben, die von der Gasversorgungsindustrie in Europa verwendet werden.

Dieser Teil von ISO 15589 ist anwendbar auf Rohrleitungen an Land und Rohrleitungssysteme, die in anderen Industriezweigen verwendet werden und andere Medien transportieren, wie industrielle Gase, Wässer oder Schlämme.

In diesem Dokument sind unter Rohrleitungen an Land zu verstehen:

- Rohrleitungen, die erdverlegt sind;
- Anlandungen von Offshore-Rohrleitungsabschnitten, die durch kathodische Korrosionsschutzsysteme an Land geschützt sind;
- in Gewässern liegende Abschnitte von Rohrleitungen an Land, wie bei Fluss- oder Seeüberquerungen.

Dieser Teil von ISO 15589 legt Anforderungen an Rohrleitungen aus unlegiertem Stahl, nichtrostendem Stahl, Gusseisen, verzinktem Stahl und Kupfer fest. Werden andere Rohrleitungswerkstoffe eingesetzt, werden die anzuwendenden Schutzkriterien unter der Verantwortung des Rohrleitungsbetreibers festgelegt.

Dieser Teil von ISO 15589 gilt nicht für Rohrleitungen aus Stahlbeton. ISO 12696 kann auf Stahlbeton angewendet werden.

ANMERKUNG Besondere Bedingungen treten gelegentlich auf, bei denen der kathodische Korrosionsschutz unwirksam oder nur teilweise wirksam ist. Solche Bedingungen können eine Abschirmung (z. B. enthaftete Umhüllungen, Wärmedämmung, felsiger Boden, Rohrschellen und elektrisch nichtleitende Stützkissen) 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 — Vocabulary*

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 15257, *Cathodic protection — Competence levels of cathodic protection persons — Basis for a certification scheme*

ISO 18086, *Corrosion of metals and alloys — Determination of AC corrosion — Protection criteria*

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

ISO 21857, *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Prevention of corrosion on pipeline systems influenced by stray currents*

ISO 22426, *Assessment of the effectiveness of cathodic protection based on coupon measurements*

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)*

IEC 62561-3, *Lightning protection system components (LPSC) — Part 3: Requirements for isolating spark gaps (ISGs)*

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

IEC 62305-1, *Protection against lightning — Part 1: General principles*

3 Begriffe

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

3.1

Anodenbettungsmasse

zusätzliches Material, das eine im Erdboden platzierte Anode unmittelbar umgibt

3.2

Verbindung

metallenerer Leiter, üblicherweise aus Kupfer, welcher zwei Punkte auf demselben Objekt oder verschiedenen Objekten miteinander verbindet

3.3

kathodisches Korrosionsschutzsystem

Fremdstrom- und galvanische Anodenanlagen bestehen aus allen für die Anwendung des kathodischen Schutzes erforderlichen Einrichtungen, z. B. Fremdstromanlagen, Stromversorgungen, Fremdstromanoden, galvanische Anoden, Verbindungen und Kabel

3.4

Probeblech

Metallprobe mit festgelegten Abmessungen aus einem Metall äquivalent zum Metall der Rohrleitung

3.5

Umhüllungsschaden

Umhüllungsbeschädigung

Anomalie in der Umhüllung, die dazu führt, dass die Stahloberfläche in direkten Kontakt mit dem umgebenden Elektrolyten kommt

3.6

Gleichstrom-Abgrenzeinheit

Ausrüstung, die einen Pfad mit geringer Impedanz für Wechselstrom und einen hohen Widerstand für Gleichstrom liefert

BEISPIEL Polarisationszellen, Kondensatoren oder Diodenbaugruppen.

3.7

Einspeisepunkt

Minuskabelanschluss

Verbindungsstelle des Minuskabels zur geschützten Rohrleitung, über welche der Schutzstrom zurück zur Schutzstromquelle fließt

3.8

Streustromableitung

Ableitung eines Streustromes zwischen Objekten durch eine beabsichtigte Verbindung

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Vorrichtungen zur Streustromableitung (direkte Streustromableitung, Streustromableitung mit Widerstand, gerichtete Streustromableitung und erzwungene Streustromableitung) siehe ISO 21587.

3.9

Streustromableitungsanlage

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

3.10

galvanische Anode

siehe Definition in ISO 8044, 7.4.10

3.11

galvanische Anodenanlage

die für den kathodischen Korrosionsschutz durch galvanische Anoden benötigten Ausrüstungen und Materialien

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

3.12

Anodenfeld

System aus in Böden oder Wässern installierten galvanischen Anoden

3.13

Fremdstromanode

Elektrode, die Strom für den kathodischen Korrosionsschutz bereitstellt

3.14

Fremdstromschutzanlage

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

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

3.15

schnelles Ausschaltpotential

siehe 3.23 „Ausschaltpotential“

3.16

IR-Spannungsabfall

Spannung, die sich als das Produkt aus allen durch den kathodischen Schutzstromkreis fließenden Strömen und den auf dem Strompfad vorhandenen Widerständen (in erster Linie der Elektrolyt und die Rohrleitung) ergibt

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

3.17

IR-freies Potential

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

3.18

Isolierstück

elektrisch trennendes Bauteil, eingefügt zwischen zwei Rohrleitungsabschnitten, um zwischen diesen die Längsleitfähigkeit zu unterbrechen

BEISPIEL Isolierkupplung, Isolierflansch-Verbindung.

3.19

Trennfunkkenstrecke

Bauteil mit einer Isolierstrecke, um elektrisch leitende Bestandteile der Installation zu isolieren

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

3.20

lokale Erdung

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

3.21

Messpunkt

Stelle, an der eine Potentialmessung vorgenommen wird

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

3.22

Einschaltpotential

siehe Definition in ISO 8044, 5.14

3.23

Ausschaltpotential

siehe Definition in ISO 8044, 5.13

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Ausschaltpotential einer Rohrleitung ist immer ein gemischtes Potential, das sich aus den IR-freien (einheitliche Schreibweise im gesamten Text) Potentialen mehrerer Umhüllungsschäden ergibt

3.24

Schutzobjekt/Elektrolyt-Potential

Potentialdifferenz zwischen einer Rohrleitung und einer festgelegten Bezugsselektrode in Kontakt mit dem Elektrolyten

3.25

Wirksumme

PREN, en: pitting resistance equivalent number

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

3.26

Polarisation

Änderung des Rohrleitung/Elektrolyt-Potentials bezogen auf das freie Korrosionspotential, welche durch das Anlegen eines externen elektrischen Stroms verursacht wird

3.27

Messprobe

Einrichtung einschließlich Probeblech, die Messungen von Parametern zur Beurteilung der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes und/oder des Korrosionsrisikos ermöglicht

3.28

Schutzpotential

Rohrleitung/Elektrolyt-Potential, bei dem die Korrosionsgeschwindigkeit des Metalls akzeptabel ist

3.29

Bezugselektrode

siehe Definition in ISO 8044, 7.1.19

3.30

ferne Erde

Teilbereich im Elektrolyten, in dem zwischen zwei Punkten keine 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.

3.31

Rohrschutzmatte

Überzug, der die Rohrleitung mechanisch schützt und als biegbare Umhüllung aufgebracht wird

3.32

Streustrom

Strom, der durch andere als den vorgegebenen Stromkreis fließt

3.33

Überspannungsschutzgerät

siehe Definition in IEC 62305-1, 3.53

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

3.34

tellurischer Strom

Strom in der Erde als Folge geomagnetischer Schwankungen

3.35

Messstelle, Überwachungsstelle

Installation mit Mess- und Prüfeinrichtungen

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

3.36

Ausnutzungsfaktor

Anteil der Masse des Anodenwerkstoffs einer 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	Durchmesser der Anodenbettungsmasse

E	Potential, das an der Phasengrenze gemessen wird
ΔE	Potentialverschiebung aufgrund des kathodischen Schutzstroms, gemessen anhand einer entfernten Bezugsselektrode
E_a	Auslegungs-Potential einer galvanischen Anode mit geschlossenem Stromkreis
E_c	Auslegungs-Schutzpotential
E_{cor}	freies Korrosionspotential (auch als natürliches Potential bezeichnet)
E_{IRfree}	IR-freies Potential
E_I	kritisches negatives Grenzpotential
E_{ON}	Einschaltpotential
E_{OFF}	Ausschaltpotential
E_p	Schutzpotential
Δf	durchschnittlicher jährlicher Anstieg des Umhüllungsfaktors
I_{tot}	Gesamtstrombedarf
I_{af}	tatsächliche Stromabgabe der einzelnen Anode zum Ende der Lebensdauer
I_{cm}	mittlerer Strombedarf
I_f	erforderliche Stromabgabe der einzelnen Anode zum Ende der Lebensdauer
j	Stromdichte für unbeschichteten Stahl
j_c	Stromdichte für umhüllte Rohrleitungen.
k	Kontingenzfaktor
L	Länge der Rohrleitung
m	Netto-Gesamt-Anodenmasse
m_a	Netto-Einzel-Anodenmasse
n	Anzahl der Anoden
r_{co}	mittlerer spezifischer Umhüllungswiderstand
R_a	Gesamtkreiswiderstand für ein kathodisches Korrosionsschutzsystem mit galvanischen Anoden (wird als äquivalent zum Anodenwiderstand angenommen)
$R_{a/b}$	Ausbreitungswiderstand der Anode relativ zur Anodenbettungsmasse
$R_{b/s}$	Ausbreitungswiderstand der Anodenbettungsmasse relativ zum natürlichen Elektrolyten
ρ	spezifischer Widerstand eines Elektrolyts
T	Temperatur
t_{dl}	Auslegungslebensdauer
U	Spannung
u	Ausnutzungsfaktor

4.2 Abkürzungen

AC	Wechselstrom (en: alternating current)
ACVG	Wechselspannungsgradient (en: alternating current voltage gradient)
CIPS	Potentialuntersuchungen in engen Abständen (en: close-interval potential survey)
CP	kathodischer Korrosionsschutz (en: cathodic protection)

CSE	Kupfer-/Kupfersulfat (-gesättigte) Bezugselektrode (en: copper-copper sulphate [saturated] reference electrode)
DC	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 Kalomelbezugselektrode (en: saturated calomel reference electrode)
SRB	Sulfat reduzierende Bakterien
UV	ultraviolett
2LFBE	two layer fusion bonded epoxy
3LPE	Dreischicht-Polyethylen (en: three layer polyethylene)
3LPP	Dreischicht-Polypropylen (en: three layer polypropylene)

5 Kompetenz

Personen, die für die Planung, die Beaufsichtigung der Installation, die Inbetriebnahme, die Beaufsichtigung des Betriebs, die Messungen, die Überwachung und die Beaufsichtigung der Instandhaltung von kathodischen Korrosionsschutzsystemen verantwortlich sind, müssen für die auszuführenden Aufgaben eine ausreichende Qualifikation haben.

ISO 15257 enthält geeignete Verfahren zur Bewertung und Zertifizierung der Kompetenz von Personen für den kathodischen Korrosionsschutz.

Eine angemessene Kompetenz der mit dem kathodischen Korrosionsschutz betrauten Personen für die auszuführenden Aufgaben sollte durch eine Zertifizierung in Übereinstimmung mit den Präqualifizierungsverfahren wie etwa nach ISO 15257 oder einem vergleichbaren Verfahren nachgewiesen werden. Jedes gleichwertige Zertifikat sollte von einer Stelle ausgestellt werden, die nach ISO/IEC 17024 arbeitet.

ANMERKUNG Dies schließt eine dokumentierte Bestätigung der aufgabenspezifischen Kompetenz durch Stellen, die keine Zertifizierungsstellen sind, nicht aus.

6 Kriterien für den kathodischen Schutz

6.1 Allgemeines

Die Korrosionsgeschwindigkeit eines Metalls in Erdreich oder Wasser ist eine Funktion des Elektrodenpotentials E des Werkstoffes in seinen umgebenden Medien. Das Schutzpotential E_p hängt von dem Metall in seiner Umgebung ab. Für Kohlenstoffstahl und Gusseisen wird die Korrosionsgeschwindigkeit, die E_p entspricht, bei Abwesenheit von Wechselstrom- oder schwankenden Gleichstromstörungen mit 0,01 mm pro Jahr angenommen.

Das Kriterium für den kathodischen Korrosionsschutz wird daher durch die Bedingung in Gleichung (1) festgelegt:

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

Dabei ist

E_p das Schutzpotential-Kriterium;

E_{IRfree} das Potential der Phasengrenze, d. h. das Potential ohne den IR-Spannungsabfall in der korrosiven Umgebung (IR-freies Potential, bekannt als „polarisiertes Potential“)

Das Schutzpotential von Metall richtet sich nach der korrosiven Umgebung (z. B. Elektrolyt) und der Art des verwendeten Metalls (siehe Tabelle 1).

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 stärker negativ sein als das kritische negative Grenzpotential E_l .

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

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

ANMERKUNG 1 Wenn die Schutzpotentiale nach Tabelle 1 nicht zu allen Zeiten oder bei allen Umhüllungsbeschädigungen erfüllt werden, ist es möglich, dass die Korrosionsgeschwindigkeit höher als 0,01 mm je Jahr ist.

ANMERKUNG 2 Es wird darauf hingewiesen, dass Korrosion als Lochfraß/Lokalkorrosion auftreten kann. Die zuvor genannte Korrosionsgeschwindigkeit ist eine allgemeine, gleichmäßige Korrosionsgeschwindigkeit, und es kann davon ausgegangen werden, dass die Lochtiefen größer sind.

6.2 Schutzpotentiale

Das IR-freie Potential E_{IRfree} muss die durch Gleichung (1) und, sofern anwendbar, Gleichung (2) festgelegten Kriterien erfüllen. Tabelle 1 enthält freie Korrosionspotentiale, E_{cor} , Schutzpotentiale, E_p , und kritische negative Grenzpotentiale, E_l , für verschiedene Metalle unter unterschiedlichen Umgebungsbedingungen.

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

Metalle oder Legierungen	Umgebungsbedingungen	Bereich der freien Korrosionspotentiale (Beispielwerte) E_{cor} V	Schutzpotential (IR-frei) E_p V	kritisches negatives Grenzpotential (IR-frei) E_l V
Kohlenstoffstähle, niedriglegierte Stähle und Gusseisen	Erdreich und Wasser unter allen 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 $T > 60\text{ C}$	–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 Korrosionsgefährdung durch Sulfat reduzierende Bakterien	–0,80 bis –0,65	–0,95	a
Austenitische Edelstähle mit einem PREN < 40	Neutrales und alkalisches Erdreich und Wasser bei Umgebungstemperaturen	–0,10 bis +0,20	–0,50	d
Austenitische Edelstähle mit einem PREN > 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	

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Metalle oder Legierungen	Umgebungsbedingungen	Bereich der freien Korrosionspotentiale (Beispielwerte) E_{cor} V	Schutzpotential (IR-frei) E_p V	kritisches negatives Grenzpotential (IR-frei) E_l V
<p>ANMERKUNG 1 Alle Potentiale sind IR-frei und beziehen sich auf eine Kupfer/Kupfersulfat(-gesättigte)-Bezugselektrode mit $E_{CSE} = E_H - 0,32$ V.</p> <p>ANMERKUNG 2 Während der Lebensdauer der Rohrleitung sind alle möglichen Änderungen des spezifischen Widerstandes des Mediums um die Rohrleitung zu berücksichtigen.</p> <p>ANMERKUNG 3 In einigen Fällen, wie z. B. in der Veröffentlichung von Barlo und Gummow, lagen die Umgebungsbedingungen außerhalb der in Tabelle 1 angegebenen Grenzen, um die Schutzkriterien zu erfüllen, siehe Literaturhinweise [24] und [25].</p> <p>Wenn die Umgebungsbedingungen der Rohrleitung nicht den in Tabelle 1 aufgeführten Bedingungen für einen kathodischen Schutz entsprechen, sollten die gewählten Schutzkriterien auf dokumentierten praktischen Erfahrungen beruhen.</p>				
^c Das Risiko einer hohen pH-bedingten Spannungsrisskorrosion erhöht sich mit zunehmender Temperatur.				
<p>^a Um Wasserstoffversprödung an hochfesten, unlegierten und niedriglegierten Stählen mit einer Streckgrenze von mehr als 550 N mm zu vermeiden, sollten die kritischen negativen Grenzpotentiale dokumentiert oder experimentell bestimmt werden. [siehe (Ref Billingham M, John D. J., 'Determining the Compatibility of High Strength Steels to Cathodic Protection' Paper 08066 NACE New Orleans 2008 zur experimentellen Bestimmung)]</p> <p>^b Bei Temperaturen von $40\text{ °C} \leq T \leq 60\text{ °C}$ darf 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 Wert des Potentials interpoliert werden.</p> <p>^d Im Fall von Martensit- oder Ferrit-Phasen (z. B. durch Erhärtung) sollte das Risiko der Wasserstoffversprödung durch Dokumentation oder experimentell bestimmt werden.</p> <p>^e Die Bestimmung des kritischen negativen Grenzpotentials sollte durch Dokumentation oder experimentell (Literatur) erfolgen.</p>				

Umhüllungen können unter dem Einfluss des kathodischen Korrosionsschutzes Blasenbildung oder Enthftung zeigen. Umhüllte Objekte sollten generell nicht über $-1,2\text{ V CSE}$ (IR-frei) kathodisch polarisiert werden. Werte, die negativer als $-1,2\text{ V CSE}$ (IR-frei) sind, können verwendet werden, wenn Erfahrungen oder Daten für das jeweilige Umhüllungssystem und seine Anwendung zeigen, dass negativere Werte keine signifikante schädliche Blasenbildung oder Enthftung der Umhüllung auf erdverlegten oder eingetauchten Rohrleitungen verursachen.

Wenn es nicht möglich ist, das am wenigsten negative und das am meisten negative Kriterium einzuhalten, sollte die Erfüllung des kathodischen Schutzkriteriums E_p Vorrang haben.

6.3 Alternative Bewertungsverfahren

6.3.1 100 mV kathodische Potentialverschiebung

Sofern die in Tabelle 1 festgelegten Kriterien nicht erreicht werden können, gilt eine Potentialverschiebung in kathodischer Richtung von mindestens 100 mV als eine akzeptable alternative Methode zur Reduzierung der Korrosionsgeschwindigkeit (siehe AMPP-Publikation Nr. 35108 [1]). Eine Restkorrosionsgeschwindigkeit von weniger als 0,01 mm pro Jahr wird eventuell nicht erreicht. Die Ausbildung oder Abschwächung der Potentialverschiebung kann in Übereinstimmung mit dem in Anhang A festgelegten Verfahren gemessen werden.

Die Anwendung der Potentialverschiebung von 100 mV gilt nicht für Betriebstemperaturen über 40 °C , in Erdreich mit Sulfat reduzierenden Bakterien, bei möglicherweise vorhandenen Streuströmen, Ausgleichsströmen oder tellurischen Strömen, oder wenn das Risiko externer Spannungsrisskorrosion besteht. Darüber hinaus darf das 100-mV-Potentialverschiebungsverfahren im Fall von Rohrleitungen nicht angewendet werden, die mit Bauteilen aus anderen Metallen verbunden sind oder die aus unterschiedlichen Metallen bestehen.

6.3.2 Andere Bewertungsverfahren

Andere Bewertungsverfahren, wie z. B. das schnelle Ausschaltpotential (3.16), dürfen angewandt werden, wenn die Eindämmung der Korrosion nachweislich erreicht wird.

Die Verwendung von Probestücken, Perforationscoupons und ER-Proben nach ISO 22426 sind geeignete Verfahren.

6.4 Kriterien bei Vorhandensein von Wechselstrom

An Orten, an denen eine Wechselspannungsbeeinflussung möglich ist, muss die Wechselspannung und/oder die Wechselstromdichte gemessen werden, um die Höhe der Wechselspannungsbeeinflussung zu beurteilen.

Sofern eine Wechselspannung an der Rohrleitung vorhanden ist, müssen die in Tabelle 1 festgelegten Schutzkriterien auch erfüllt werden, wenn sie nicht zwangsläufig Schutz vor Wechselstromkorrosion bieten und daher ist eine höhere Korrosionsgeschwindigkeit als in 6.1 angegeben möglich.

ISO 18086 enthält Leitlinien zur Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom und legt ausführliche Kriterien fest, welche verwendet werden müssen.

6.5 Kriterien bei Vorhandensein von Wechselstrom

Bei Vorhandensein von Beeinflussung/Einfluss von Gleichstrom auf die Rohrleitung sind die in Tabelle 1 definierten Schutzkriterien nicht immer überprüfbar. ISO 21857 definiert detaillierte Kriterien, die angewandt werden müssen.

Es ist möglich, dass unter den Bedingungen der Gleichstrombeeinflussung die in 6.1 berücksichtigte Korrosionsgeschwindigkeit nicht immer eingehalten werden kann, und daher ist eine erwartete Korrosionsgeschwindigkeit (Auslegungswert) für eine bestimmte Auslegungs-Lebensdauer zu berücksichtigen, siehe daher ISO 21857.

7 Voraussetzungen für die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes

7.1 Allgemeines

Die zu schützende Rohrleitung oder der zu schützende Abschnitt der Rohrleitung muss für die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes durchgängig leitfähig sein. Die Rohrleitung sollte umhüllt und von Fremdobjekten, z. B. anderen Rohrleitungen und Erdungssystemen, elektrisch getrennt sein. Sofern eine Rohrleitung nicht von anderen Objekten und Erdungssystemen elektrisch getrennt wird, muss die Entscheidung begründet werden.

ANMERKUNG Umhüllungen werden inzwischen allgemein bei unterirdischen Leitungen eingesetzt, um einen primären Korrosionsschutz mit kathodischem Korrosionsschutz für die Bereiche mit Umhüllungsschäden zu bieten. Umhüllungen reduzieren die Anforderung bezüglich Schutzstrom und somit das Risiko von Beeinflussungen auf angrenzenden erdverlegten Objekten. Dennoch gibt es Rohrleitungen ohne Umhüllungen oder mit sehr schlechten Umhüllungen, die bis zu einem gewissen Grad mit kathodischem Korrosionsschutz geschützt werden können.

7.2 Elektrische Längsleitfähigkeit

Die elektrische Längsleitfähigkeit der Rohrleitung oder eines zu schützenden Rohrleitungsabschnitts muss mit zuverlässigen, niederohmigen Befestigungsverfahren hergestellt werden.

An nicht geschweißten Rohrleitungen muss die elektrische Längsleitfähigkeit über die gesamte zu schützende Länge durch die Installation dauerhafter Verbindungen über die schlecht leitenden Rohrverbindungen unter Verwendung von Verbindungen mit einer zuverlässigen Befestigungstechnik gewährleistet werden. Die Längsleitfähigkeit nicht verschweißter Rohrleitungen ist durch Widerstands- und Potentialmessungen zu prüfen.

Falls erforderlich, darf das Überbrücken von elektrisch trennenden Bauteilen zur Messung oder zu anderen Zwecken hergestellt werden. Sofern eine dauerhafte elektrische Längsleitfähigkeit hergestellt werden muss, sollte die Verbindung in einer Messstelle erfolgen.

7.3 Elektrische Trennung

7.3.1 Allgemeines

Um eine Erhöhung des Korrosionsrisikos zu vermeiden, sollte die Rohrleitung von anderen metallischen Objekten und Erdungssystemen elektrisch getrennt sein.

Aus diesem Grund sollten Rohrleitungen von anderen Objekten elektrisch getrennt sein. Solche Objekte sind unter anderem:

- Verdichterstationen;
- Pumpenstationen;
- Druckminderungsstationen;
- Wasserpump- und Speichereinrichtungen;
- Bohrungsstellen;
- Offshore-Rohrleitungen und -Objekte;
- Anschlüsse und Verarbeitungsanlagen;
- Schnittstellen zu anderen Rohrleitungen.

ANMERKUNG Besondere Aufmerksamkeit sollte der elektrischen Trennung zwischen Offshore-Rohrleitungen mit galvanischen Anodensystemen und Festland-Rohrleitungen mit Fremdstromsystemen gewidmet werden. Fehlt eine effektive Trennung, kann dies zu Schwierigkeiten bei der Kontrolle und Messung von Potentialen sowohl für die Offshore- als auch für die Landabschnitte führen, wobei die Gefahr einer Überpolarisierung und eines zu geringen Schutzes besteht. Außerdem kann sich dadurch das Risiko der Innenkorrosion erhöhen (siehe Anhang G).

Eine galvanische Trennung zwischen den Rohrleitungsabschnitten kann dazu beitragen, die Auswirkungen von Streuströmen zu verringern, indem die Rohrleitung in kürzere Abschnitte unterteilt wird.

Die elektrische Trennung wird durch den Einbau von Monoblock-Isolierkupplungen, Isolierflanschverbindungen oder nicht leitenden Rohrabschnitten erreicht.

Wenn eine elektrische Trennung nicht möglich ist, muss die Auslegung des kathodischen Korrosionsschutzes eine ausreichende Menge Strom und eine effektive Stromverteilung für den kathodischen Schutz ermöglichen, um sicherzustellen, dass die Rohrleitung kathodisch geschützt ist, ohne nachteilige Auswirkungen auf die Umhüllung oder angrenzende Objekte zu haben.

Sofern ein Kontakt zwischen der geschützten Rohrleitung und einem anderen weniger elektronegativen Objekt besteht, behandelt EN 14505 diese als komplexes Objekt und bietet nützliche Empfehlungen und Kriterien, die angewendet werden können.

7.3.2 Einbauorte

Die Einbauorte der elektrischen Trennungen sollten sorgfältig erwogen werden. Dies gilt insbesondere im Fall von Streustrombeeinflussungen durch Gleichstrom. Dies erfordert beispielsweise detaillierte Messungen und Untersuchungen der Potentialgradienten an der Elektrolytoberfläche (ISO 21857 enthält eine ausführliche Anleitung hierzu).

Eine elektrische Trennung kann erforderlich sein:

- zwischen Rohrleitungsabschnitten aus verschiedenen metallischen Materialien;
- an den Enden der Rohrleitung;
- bei Rohrleitungen, die verschiedene kathodische Korrosionsschutzsysteme benötigen;
- bei Rohrleitungen mit unterschiedlichen Stromdichtebedarf;
- in durch Wechselstrom-Streuströme (einschließlich tellurischen Strömen) beeinflussten Bereichen;
- in durch induzierte Wechselspannungen beeinflussten Bereichen;
- zur Unterstützung der Instandhaltung des kathodischen Korrosionsschutzes oder Messung;
- an Schnittstellen zu ungeschützten Objekten oder geerdeten Anlage;
- an Schnittstellen zu Kundenanlagen in Verteilernetzen.

7.3.3 Isolierstücke

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

Es sind nach Möglichkeit Monoblock-Isolierkupplungen zu verwenden, da sie im Vergleich zu Isolierflanschverbindungen haltbarer und zuverlässiger sind.

Isolierflanschverbindungen sind Beeinträchtigungen durch atmosphärische Witterung, Schmutz und eindringende Feuchtigkeit ausgesetzt und müssen mit einem Flanschschutz oder viskoelastischen Verbundstoffen oder dergleichen vor dem Eindringen von Schmutz und Feuchtigkeit geschützt werden. Unzureichende Installationsmethoden sind ein Hauptgrund für das Versagen von Isolierflanschverbindungen. Um dieses Risiko zu reduzieren, sollten die Anweisungen des Herstellers beachtet werden.

Der Einbauort der Isolierflanschverbindungen und Isolierstücke muss so gewählt werden, dass das Risiko eines versehentlichen Kurzschlusses minimiert wird.

Wenn eine Rohrleitung mit oberirdischen Anlagen verbunden ist, stellt ein oberirdisches Isolierstück sicher, dass der kathodische Korrosionsschutz auf den gesamten unterirdischen Bereich angewendet wird. Wenn die Trennstelle erdverlegt ist, müssen die Isolierstücke eine Außenumhüllung besitzen, die mit der Rohrleitungsumhüllung kompatibel ist. Für den Korrosionsschutz des vom Hauptschutzsystem getrennten Rohrleitungsabschnitts müssen zusätzliche Maßnahmen in Betracht gezogen werden.

Die oberirdische Installation des Isolierstückes bietet den Vorteil der bequemerer Sicht-, elektrischen und zerstörungsfreien (z. B. Ultraschall-) Prüfung. Unterirdische Isolierstücke sind weniger anfällig für mechanische oder Brandgefahren, beabsichtigte oder unbeabsichtigte Beschädigungen und können verhindern, dass das Produkt einfriert.

Die Installation eines Isolierstückes in einem Schacht bietet die gleichen Vorteile wie ein unterirdisches Isolierstück, allerdings mit einem erhöhten Gaseinschlussrisiko. Wegen des Gaseinschlussrisikos können lokale Vorschriften die Installation eines Isolierstückes in einem Schacht verhindern.

Isolierstücke sollten vor der Installation elektrisch und mechanisch geprüft werden. Elektrische Prüfungen werden in Anhang F vorgeschlagen.

Zur Vermeidung von Beschädigungen an Isolierstücken durch hohe Spannungen infolge von Blitzschlägen oder durch Wechselstromfehlströme, die von Stromleitungen verursacht werden, müssen Überspannungsschutz-

einrichtungen in Betracht gezogen werden (z. B. Funkenstrecken, Überspannungsschutzgeräte, direkte elektrische Erdung oder Abgrenzeinheiten). (siehe 7.3.8).

Wie alle Geräte und Materialien, die in gefährlichen Bereichen nach IEC 60079-10-1:2020 + COR1:2021 verwendet oder installiert werden, müssen Isolierstücke der Zertifizierung und den betrieblichen Anforderungen des gefährlichen Bereichs entsprechen.

Isolierstücke müssen mit zugänglichen elektrischen Messstellen ausgestattet werden.

7.3.4 Innenkorrosionsrisiko an Isolierstücken

Wenn mehrphasige Flüssigkeiten, die eine beträchtliche Menge Wasser oder eine andere leitfähige Flüssigkeit enthalten, oder eine andere leitfähige Flüssigkeit in der Rohrleitung transportiert werden, kann auf der Seite des Isolierstücks mit dem am wenigsten negativen Außenpotential Innenkorrosion auftreten.

Um diese Innenkorrosion zu verhindern, sollte eine der folgenden Maßnahmen ergriffen werden:

- Installation des Isolierstücks an einem senkrechten oder schrägen Übergang;
- Aufbringen einer inneren Auskleidung, die durch den Kontakt mit der transportierten Flüssigkeit keinen Verschleiß zeigt. Dies gilt insbesondere bei Auskleidungen in Kontakt mit Salzwasser.

Siehe Anhang G für weitere Einzelheiten.

7.3.5 Kontakte zwischen metallischen Objekten

Wo Einführungen, Halteeinrichtungen, Stützen und Anker aus Beton bestehen, sollte jeder Kontakt (direkt oder indirekt) zwischen dem Armierungsstahl und der geschützten Rohrleitung vermieden werden. Aus diesem Grund sollte eine Wanddurchführung aus isolierendem Material vorgesehen und eine hochwertige Beschichtung auf die geschützte Rohrleitung aufgetragen werden. Die Möglichkeit abschirmender Wirkungen muss berücksichtigt werden.

Sofern die Rohrleitung obertägig eine Brücke überquert oder in einen Tunnel eintritt und Isolierstücke an beiden Enden der Brücke oder des Tunnels besitzt, kann die Rohrleitung zwischen den Isolierverbindungen mit Potentialausgleich zur Brücke oder zum Tunnel verbunden werden, um den Berührungsschutz sicherzustellen. Um den kathodischen Korrosionsschutz der Rohrleitung auf beiden Seiten der Brücke oder des Tunnels durch ein gemeinsames kathodisches Korrosionsschutzsystem sicherzustellen, wird eine Potentialverbindung benötigt, um die Rohrleitung auf beiden Seiten der Brücke oder des Tunnels zu verbinden.

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

Sofern keine Isolierstücke vorhanden sind, muss die Rohrleitung elektrisch von den Metallteilen der Brücke oder des Tunnels getrennt werden. Dies gilt insbesondere für Metallbrücken, an denen Gleichstromübertragungssysteme befestigt sind.

7.3.6 Elektrische Erdungssysteme

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

Wenn ein Erdungssystem benötigt wird, muss seine Kompatibilität mit dem kathodischen Korrosionsschutzsystem hergestellt werden. Sofern aufgrund von Vorschriften erlaubt, kann dies durch die Installation ausreichend ausgelegter Abgrenzeinheiten (7.3.8) im Erdungssystem erfolgen. Eine lokale Erdung über Zink- oder verzinkte Erdungsmaterialien kann angewendet werden, kann jedoch später nachteilige Auswirkungen auf den kathodischen Korrosionsschutz haben.

E DIN EN ISO 15589-1:2024-05
prEN ISO 15589-1:2024 (D)

ANMERKUNG 1 Diese nachteiligen Auswirkungen auf den kathodischen Korrosionsschutz sind einem oder beiden der folgenden Gründe geschuldet:

- Der Ausbreitungswiderstand der lokalen Erdung in Bezug auf die ferne Erde kann sehr viel geringer sein als der Ausbreitungswiderstand der Umhüllungsfehler, was zu einer Reduzierung des Korrosionsschutzstromes an den Fehlstellen der Umhüllung führen kann.
- Das Potential von Zink oder verzinktem Stahl kann im Verlauf der Zeit zu einem wenig negativen Potential tendieren.

Wenn ein Erder installiert wird, um die Auswirkungen von Wechselspannungen auf die Rohrleitung zu begrenzen, sollten die Positionen des Erders durch spezielle Studien und eine ausführliche Planung bestimmt werden.

ANMERKUNG 2 ISO 18086 und EN 50443 enthalten einen Leitfaden zu Korrosions- und Sicherheitsaspekten in Verbindung mit Wechselspannungsbeeinflussungen.

Der Nachweis und die Kontrolle elektrischer Beeinflussungen muss in Übereinstimmung mit Anhang B erfolgen.

7.3.6.1 Trennung von Erdungssystemen für elektrische Anlagen

Wenn eine Erdung (ortsnah oder ortsfern) mit elektrisch angetriebenen Geräten wie etwa Armaturen oder Pumpen verbunden ist, wird der Ausbreitungswiderstand der Rohrleitung an diesen Stellen reduziert, was die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes beeinträchtigen oder verhindern kann. Um einen wirksamen kathodischen Korrosionsschutz aufrechtzuerhalten, kann eine der nachfolgenden Maßnahmen angewendet werden (vorbehaltlich der relevanten nationalen oder lokalen Sicherheitsvorschriften):

- Trennung des elektrischen Geräts von der geschützten Rohrleitung;
- Trennung des mit dem elektrisch betriebenen Gerät verbundenen Teils der Rohrleitung (z. B. Armatur) vom Rest der Rohrleitung durch Isolierstücke mit einer elektrisch leitenden Verbindung zwischen den beiden Teilen der Rohrleitung und einem separaten Korrosionsschutz für den getrennten Teil der Rohrleitung (z. B. Absperrarmatur);
- Installation von Trenntransformatoren;
- Installation von Abgrenzeinheiten (7.3.8) zwischen dem elektrisch betriebenen Gerät und dem Haupterdungssystem. Die Mindestspezifikationen für Abgrenzeinheiten, die in Erdungssystemen für elektrische Anlagen verwendet werden, sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2 — Mindestspezifikationen für Abgrenzeinheiten, die in Erdungssystemen für elektrische Anlagen verwendet werden

Beschreibung	Parameter	Bemerkungen
Wechselstrom-Fehlerstrom		Kompatibel mit dem Bemessungswechselstrom des Stromkreises, in dem das Gerät installiert ist
Blitzimpulsstrom	100 kA	8/20 µs
Schwellenspannungsbereich für offenen Gleichstromkreis	-3/+1 V oder größer	
Zertifizierung – Elektrische Erdung		Aufgeführt für die Verwendung in Erdungspfaden von Geräten, um einen effektiven Rückweg für Wechselstrom-Erdschlussstrom zu schaffen

7.3.7 Blitz- und Überspannungsschutz

Rohrleitungen können von Überspannung und Stoßströmen durch Blitzeinschläge oder nahegelegene Hochspannungsleitungen betroffen sein (z. B. Erdkurzschluss).

Um die Auswirkung aller Arten von Stoßströmen oder elektrischen Beeinflussungen zu begrenzen, ist möglicherweise eine zusätzliche Erdung der Rohrleitung erforderlich, und es können Überspannungsschutzgeräte zwischen der Rohrleitung und einem Erdungssystem installiert werden, sofern durch nationale oder lokale Vorschriften oder Sicherheitsnormen erlaubt. Siehe 7.3.8 für Beschreibungen von Überspannungsschutzgeräten.

Blitzschlag und Netzkurzschlüsse haben unterschiedliche elektrische Eigenschaften und erfordern separate Schutzmaßnahmen.

Im Vergleich zu Netzfrequenzfehlern handelt es sich bei Blitzeinschlägen um Stromstörungen mit relativ hoher Amplitude, die sich schnell ändern und von kurzer Dauer sind. Der sich schnell ändernde Blitzeinschlag führt dazu, dass der Spannungsanstieg in Erdungsanlagen empfindlich auf die Induktivität reagiert, die in erster Linie von der Kabellänge abhängt. Daher sollte die Kabellänge möglichst kurz sein, insbesondere bei der Ableitung von Blitzeinschlägen, sodass die innerhalb der Installation gebildete Schleife möglichst klein ist. Funkenstrecken und Gleichstromentkoppler können zum Schutz vor Überspannungen durch Blitzeinschlag eingesetzt werden.

Netzfrequenzfehler haben zwar geringere Stromstärken als Blitzeinschläge, sind aber von längerer Dauer (üblicherweise 120 ms bei Öl-Leistungsschaltern und 50 ms bis 70 ms bei Vakuum-Leistungsschaltern) und erfordern daher Überspannungsschutzgeräte mit höheren Fehlerstromstärken als solche, die üblicherweise nur für den Blitzschutz verwendet werden. Aus diesem Grund können Gleichstromentkoppler zum Überspannungsschutz bei Netzfrequenzfehlern eingesetzt werden.

Das verwendete Überspannungsschutzgerät sollte ausreichend bemessen sein, um wiederholt unter allen zu erwartenden Überspannungsbedingungen zu arbeiten.

Sowohl bei Blitzeinschlag als auch bei Netzfrequenzfehlern können Kabellänge, der Kabelquerschnitt und der Kabeltyp einen erheblichen Einfluss auf die Wirksamkeit des Überspannungsschutzes haben. Sie müssen auf die elektrischen Eigenschaften des Überspannungsschutzgerätes abgestimmt sein.

7.3.8 Überspannungsschutzvorrichtungen für die Gleichstromtrennung

7.3.8.1 Funkenstrecken

Eine Funkenstrecke erkennt die ansteigende Wellenform, die durch einen Überspannungszustand erzeugt wird, und erzeugt einen Lichtbogen, der die inneren Elektroden überbrückt und den Blitzstrom über den Lichtbogen weiterleitet. Tabelle 3 zeigt typische Parameter von Funkenstrecken, die bei Anwendungen des kathodischen Korrosionsschutzes verwendet werden können.

Tabelle 3 — Typische Parameter von Funkenstrecken, die bei Anwendungen des kathodischen Korrosionsschutzes verwendet werden können

Beschreibung	Parameter	Bemerkungen
Gleichstrom-Überspannungsschutz	Von 500 V bis 1 kV	
100 % Überspannung bei Blitzimpuls	$\leq 1,3$ kV	1,2/50 μ s für Isolierstücke der Klasse 1 und der Klasse 2
100 % Blitzimpuls Funkenüberspannung	$\leq 2,2$ kV	Nur für Klasse 1. Siehe Anhang F.
Nenn-Entladestrom	100 kA	8/20 μ s
Blitzimpulsstrom I_{imp}	100 kA	10/350 μ s Klasse H
Blitzimpulsstrom I_{imp}	50 kA	10/350 μ s Klasse N

Tabelle 3 (fortgesetzt)

Beschreibung	Parameter	Bemerkungen
Bemessungs-Netzfrequenz-Kurzschlussspannung	< 250 V	50 Hz
Bemessungsentladestrom	≥ 100 A	0,5 s
Prüfanforderungen		Geprüft nach IEC 62561-3

ANMERKUNG 1 Diese Parameter setzen voraus, dass kein Risiko elektrischer Beeinflussung durch nahegelegene Hochspannungsleitungen besteht.

7.3.8.2 Gleichstromtrennvorrichtungen

Gleichstromtrennvorrichtungen liefern einen Pfad mit geringer Impedanz für die Leitung von Wechselstrom und einen hohen Widerstand für Gleichstrom, um die Trennung von kathodisch korrosionsschutzten Rohrleitungen von Erdungssystemen oder anderen Objekten sicherzustellen. Darüber hinaus verwenden die meisten Gleichstromtrennvorrichtungen elektronische Schaltbauteile, um die Kontinuität zwischen zwei Anschlüssen bei Überspannung zu kontrollieren. Unter normalen Bedingungen bleibt der Stromkreis offen, so dass die elektrische Trennung zwischen den Klemmen erhalten bleibt. Übersteigt die Spannungsdifferenz zwischen den Klemmen einen vorgegebenen Schwellenwert, was bei einem Überspannungsereignis der Fall ist, schließt sich der Stromkreis und die Spannungsdifferenz zwischen den Klemmen bricht zusammen. Unmittelbar nach dem Überspannungsereignis schaltet das Gerät dann automatisch wieder in den offenen Zustand. Tabelle 4 zeigt typische Parameter von Gleichstromtrennvorrichtungen, die bei Anwendungen des kathodischen Korrosionsschutzes verwendet werden können.

Tabelle 4 — Typische Parameter von Gleichstromtrennvorrichtungen, die bei Anwendungen des kathodischen Korrosionsschutzes verwendet werden können

Beschreibung	Parameter	Bemerkungen
Wechselstrom-Fehlerstrom	3,7 kA rms für 0,6 s	Kann je nach Anwendung höher oder niedriger sein
Blitzimpulsstrom	100 kA	8/20 µs
Bereich der Schwellenspannung für offenen Gleichstromkreis	-3/+1 V oder -2/+2 V	
Strom im eingeschwungenen Zustand bei Wechselstrom	45 A rms	Nicht anwendbar, wenn kein induzierter Wechselstrom in der Leitung vorhanden ist
Bereich der Betriebstemperatur	-45 °C bis +65 °C	
Schutzart	IP68	
Gleichstrom-Ableitstrom	< 10 mA (20 °C)	Bei Grenzwerten für die Schwellenspannung
Elektrische Impedanz	< 0,014 Ω (50/60 Hz, 25 °C)	

7.4 Umhüllung

7.4.1 Allgemeines

Rohrleitungen, die kathodisch geschützt werden, sollten mit einer äußeren Umhüllung versehen werden. Die Auswahl der Umhüllung muss durch den Rohrleitungsbetreiber genehmigt werden.

ANMERKUNG 1 Die Umhüllung dient als Schutz vor Korrosion. Sie reduziert den Schutzstrombedarf, verbessert die Stromverteilung, erweitert den Schutzbereich und reduziert Beeinflussungen auf fremde Objekte.

Die Umhüllung der Rohrleitung sollte im Werk oder unter Werksbedingungen an Rohrleitungsabschnitten unter festgelegten Bedingungen für die Oberflächenbehandlung, das Applizieren der Umhüllung und die Prüfung aufgebracht werden. Nach dem Verschweißen der Rohrlängen während des Baus der Rohrleitung sollten die Rundschweißnähte mit einer geeigneten Nachumhüllung beschichtet werden.

ANMERKUNG 2 Nachumhüllungen von Schweißnähten und Einbauteilen auf Baustellen werden unter anspruchsvollen Bedingungen ausgeführt und können eine Schwachstelle im allgemeinen Korrosionsschutzsystem sein, wenn sie nicht korrekt ausgewählt und angewendet werden.

Nach der Verlegung der Rohrleitung sollte eine Untersuchung auf Umhüllungsfehlstellen (siehe Anhang D) vorgenommen werden, um den Umhüllungszustand zu überprüfen.

7.4.2 Werksseitige Umhüllungen

Umhüllungen sind in Übereinstimmung mit den folgenden Normen zu verwenden:

- ISO 21809-1 für Polyolefin-Umhüllungen (3-Lagen-PE oder 3-Lagen-PP),
- ISO 21809-2 für Epoxypulverbeschichtungen (Fusion-bonded Epoxy),
- ISO 21809-4 für Polyethylen-Beschichtungen (2-Lagen-PE), oder
- andere vergleichbare Normen.

7.4.3 Nachumhüllungen der Schweißnähte

ISO 21809-3 oder vergleichbare Normen sollten für die Auswahl und Anwendung der Nachumhüllungen für Schweißnähte angewendet werden.

ANMERKUNG Nachumhüllungen der Schweißnähte bestehen entweder aus vorgeformten Materialien wie etwa kalt verarbeitbaren Bändern oder wärmeschumpfenden Materialien oder aus pulverförmigen oder flüssigen Materialien.

7.4.4 Beschichtung für grabenlos verlegte Rohrleitungen

Grabenlos verlegte Rohrleitungen (z. B. durch horizontales Bohren) sollten mit Außenumhüllungen geschützt werden, die zusätzlichen Schutz gegen mechanische Beschädigungen bieten. Für solche Umhüllungen dürfen die folgenden zusätzlichen Anforderungen gelten:

- erhöhte Dicke, und
- erhöhte mechanische Festigkeitseigenschaften.

Der grabenlos verlegte Rohrabschnitt sollte vor der Einbindung in den Hauptabschnitt der Rohrleitung auf Umhüllungsschäden untersucht werden.

ANMERKUNG Während der grabenlosen Verlegung können bei bestimmten Umhüllungen Beschädigungen durch Abrieb auf der Oberfläche entstehen, was zu einer erhöhten Feuchtigkeitsaufnahme führen kann. Dies beeinträchtigt den Umhüllungswiderstand und erhöht dadurch den Schutzstrombedarf.

Die Abnahmekriterien für die Umhüllungsprüfung sollten vor der Errichtung der Rohrleitung festgelegt werden.

Sollten keine spezifischen Anforderungen festgelegt sein, kann der Umhüllungszustand durch Vergleich der zum Schutz des grabenlos verlegten Abschnitts erforderlichen Schutzstromdichte mit den in Tabelle 5 (siehe 8.4.2) angegebenen optimierten Auslegungswerten beurteilt werden. Über eine temporäre Anode sollte eine

Stromeinspeisung erfolgen und die Stromdichte für den Abschnitt berechnet werden. Wenn die zur Gewährleistung des kathodischen Korrosionsschutzes erforderliche Stromdichte höher ist als die in Tabelle 5 angegebenen Werte, sollte die Umhüllung der grabenlos verlegten Rohrleitung als unzureichend angesehen und nachgebessert werden.

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

7.4.5 Boden-Luft-Übergang

Für einen Boden-Luft-Übergang sollte eine hoch belastbare Umhüllung verwendet werden. Bei der Auswahl der Umhüllung dürfen die folgenden Eigenschaften berücksichtigt werden:

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

7.4.6 Kompatibilität von Beschichtungen und Umhüllungen mit dem kathodischen Korrosionsschutz

Die ausgewählten Umhüllungen müssen mit der Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes kompatibel sein. Die Kompatibilität sollte durch kathodische Enthaftungsprüfungen in Übereinstimmung mit den anzuwendenden Beschichtungsnormen bestätigt werden.

Nicht haftende Polyethylenumhüllungen sollten vermieden werden, da diese zu einer Abschirmung des kathodischen Schutzstroms führen und die Korrosionsschutzwirkung beeinträchtigen können.

7.4.7 Wärmedämmung

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

Aufgrund der Gesamtdicke der Umhüllung und des hohen Widerstands der verschiedenen Umhüllungs- und Isolierungsschichten ist eine Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes unwahrscheinlich. Die Anforderungen an den kathodischen Korrosionsschutz und die Art des kathodischen Korrosionsschutzes für wärmegeämmte Rohrleitungen sind unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte zu beurteilen.

- a) Wärmedämmende Materialien wie etwa Polyurethanschaum haben einen hohen elektrischen Widerstand. Selbst wenn diese Materialien durchfeuchtet sind, können sie den Schutzstrom abschirmen und den Schutz der darunter liegenden Stahlrohrleitung verhindern. In diesen Fällen sollten alternative Korrosionsschutzverfahren in Erwägung gezogen werden.
- b) Die Errichtung eines kathodischen Korrosionsschutzsystems zum alleinigen Zweck des Schutzes einer gedämmten Rohrleitung ist normalerweise schwer zu rechtfertigen. Es sei denn, es besteht die Gefahr, dass die Wärmedämmung durch Fremdeinwirkung ernsthaft beschädigt werden kann und dies zu einem direkten Kontakt der Leitung mit dem Elektrolyten führt.
- c) Der inhärent hohe Ausbreitungswiderstand einer wärmegeämmten Rohrleitung schließt die Entladung induzierter Spannungen wie etwa durch benachbarte Hochspannungsleitungen zur Erde durch die Beschichtung aus. Sofern die Rohrleitung nicht in der Nähe der induzierten Spannung direkt geerdet wurde, können sich Spannungen im Rohr über erhebliche Entfernungen verändern, was zu Korrosion führen und/oder ein Sicherheitsrisiko für Personal in direktem Kontakt mit der Rohrleitung werden kann.

An wärmegeämmten Rohrleitungen gemessene Korrosionsschutz-Potentiale geben üblicherweise keine Hinweise auf die Potentiale an der Phasengrenze unter der Dämmung. Diese Potentiale sollten nicht zur Bewertung

der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes herangezogen werden. Zur Bewertung des Zustands der Rohrleitungen an diesen Stellen sollten andere Verfahren angewendet werden.

7.4.8 Armierte Betonummantelung

Stahlarmierter Beton kann verwendet werden, um das Gewicht einer Rohrleitung insbesondere in Feuchtgebieten wie etwa Marschen zu erhöhen. Ein Kontakt zwischen dem Armierungsstahl der Betonummantelung und der Rohrleitung muss vermieden werden. Die Trennung des Armierungsstahls von der Rohrleitung muss durch Messungen während der Applikation der Betonummantelung (nach ISO 21809-5 oder einer vergleichbaren Norm) und während des Betriebs der Rohrleitung geprüft werden.

7.5 Auswahl der Bettungsmasse für den Rohrgraben

Um das Risiko von Beschädigungen an der Umhüllung oder einer abschirmenden Wirkung zu vermeiden und die elektrische Längsleitfähigkeit zwischen dem Rohr und dem Elektrolyten sicherzustellen, kann es erforderlich sein, den Graben mit Materialien wie etwa gewaschenen Sand oder feinkörnigen Material aufzufüllen. Das Hinzufügen dieser Materialien wird als Verfüllung bezeichnet.

Angelieferte oder aufbereitete Bettungsmassen sind normalerweise nicht für den Schutz der Umhüllung vor Beschädigung erforderlich, wenn Rohrschutzmatten verwendet werden.

7.6 Mantelrohre für Rohrleitungen

7.6.1 Allgemeines

Mantelrohre können den kathodischen Korrosionsschutz der Produktrohre beeinträchtigen. Der Einsatz solcher Mantelrohre sollte nach Möglichkeit vermieden werden.

Produktrohre in Mantelrohren sollten mit einer hochwertigen Umhüllung zum Schutz vor Korrosion ausgestattet sein.

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

- Umhüllung des Produktrohres;
- Installation von isolierenden Abstandshaltern im Ringraum zwischen Transport- und Mantelrohr;
- Abdichtung der Enden des Mantelrohres.

In der Praxis ist es nahezu unmöglich, eine wasserdichte Abdichtung zu erzielen, und ein geeigneter Dämmer darf in den Ringraum eingefüllt werden. Der Dämmer sollte entweder Korrosion hemmen (z. B. viskoelastische Verbundstoffe, inhibiertes Wachs) oder so ausgeführt sein, dass der Schutzstrom das Transportrohr erreichen kann (z. B. Beton, alkalischer Mörtel).

Entlüftungsrohre sind bei dem Bau von Mantelrohren zu berücksichtigen, um einen Austritt des transportierten Mediums zu erkennen. Sie dürfen außerdem verwendet werden, um im Bedarfsfall Dämmer zu Wartungszwecken einzufüllen.

ISO 16440 legt Anforderungen für die Planung, Herstellung, Installation und Instandhaltung von stahlummantelten Rohrleitungen für Rohrleitungstransportsysteme fest.

7.6.2 Mantelrohre, die den Schutzstrom abschirmen

Der äußere Korrosionsschutz von Produktrohren in Mantelrohren, die den Schutzstrom abschirmen, sollte erreicht werden durch:

E DIN EN ISO 15589-1:2024-05
prEN ISO 15589-1:2024 (D)

- die Verwendung galvanischer Anoden,
- die Befüllung des Ringraumes mit einem geeigneten Material mit angemessenen langfristigen Korrosionsschutzeigenschaften,
- wenn galvanische Anoden verwendet werden: Es darf kein Kontakt zwischen dem Mantelrohr (sofern metallisch) und den galvanischen Anoden bestehen.

ANMERKUNG Kunststoffrohre, beschichtete Betonrohre, schlecht leitende Betonrohre und beschichtete Mantelrohre aus Stahl schirmen Schutzstrom ab.

7.6.3 Mantelrohre, die Schutzstrom durchleiten

Bei Mantelrohren, die Schutzstrom durchleiten, kann der kathodische Außenschutz des Produktrohres innerhalb des Mantelrohres wirksam sein, sofern kein Kontakt zwischen dem Produkt- und dem Mantelrohr besteht und der Ringraum ausreichend Elektrolyt enthält. Ohne Elektrolyt im Ringraum kann an Umhüllungsfehlstellen atmosphärische Korrosion auftreten.

ANMERKUNG Mantelrohre, die Schutzstrom leiten, umfassen:

- unbeschichtete oder schlecht beschichtete Stahlrohre;
- unbeschichtete Betonrohre mit ausreichender Leitfähigkeit;
- gut beschichtete Mantelrohre, die mit einer lokalen Erdung verbunden sind, was den Schutzstrom fließen lässt.

Falls ein kathodischer Korrosionsschutz für das Mantelrohr erforderlich ist (z. B. aufgrund nationaler oder lokaler Vorschriften), sollte das Mantelrohr über einen Widerstand mit dem Produktrohr verbunden und der Widerstandswert angepasst werden, um sicherzustellen, dass das Mantelrohr jederzeit anodisch gegenüber dem Produktrohr ist.

7.7 Ausrüstung zur Reduzierung der Wechsellspannungsbeeinflussung

Es gibt zwei grundlegende Arten von Wechsellspannungsbeeinflussungen an unterirdischen Rohrleitungen:

- Kurzzeitbeeinflussung durch Funktionsstörungen an den Wechselstrom-Hochspannungsleitungen und bei Veränderungen des Betriebszustandes (ohmsche und induktive Wirkungen, siehe EN 50443);
- Langzeitbeeinflussung durch Induktion während des Betriebs (induktive Wirkung, siehe ISO 18086, ISO 21857 und EN 50443).

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

Um nachteilige Auswirkungen auf den kathodischen Korrosionsschutz zu vermeiden, sollten zusätzliche Erdungssysteme über geeignete Vorrichtungen (z. B. Abgrenzeinheiten) an die Rohrleitung angeschlossen werden.

7.8 Ausrüstung zur Reduzierung der Gleichstrombeeinflussung

Streustrom kann eine negative Auswirkung auf die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes haben und die Installation zusätzlicher Ausrüstung zur Sicherstellung eines wirksamen äußeren Korrosionsschutzes erfordern (siehe ISO 21857, EN 50162 und EN 50122-2).

ANMERKUNG Die folgenden Lösungen können eine Gleichstrombeeinflussung abmildern:

- Installation einer Streustromableitungsanlage; Streustromableitungsanlagen werden üblicherweise nach der Inbetriebnahme des kathodischen Korrosionsschutzsystems angeschlossen, es empfiehlt sich jedoch, die gesamte Ausrüstung während der Bauphase zu installieren;
- Installation von Isolierstücken;
- Verbesserung des kathodischen Korrosionsschutzgrades in anodischen Streustromgebieten.

8 Grundlegende Anforderungen an die Planung des kathodischen Korrosionsschutzes

8.1 Allgemeines

Die Dimensionierung von kathodischen Korrosionsschutzsystemen kann entweder durch Berechnungen oder auf der Grundlage der Erfahrungen des Rohrleitungsbetreibers auf der Grundlage von Verfahren, die von kompetenten Personen für ähnliche Konfigurationen geschrieben wurden, erfolgen.

Dieser Abschnitt bietet eine Anleitung für die Planung von kathodischen Korrosionsschutzsystemen. Der Planer darf andere Werte und Gleichungen verwenden, sofern diese Werte und Gleichungen begründet sind und die Schutzkriterien erfüllt werden.

8.2 Grundlegende Informationen für die Planung des kathodischen Korrosionsschutzes

Die Grundlage für die Planungsstudie zum kathodischen Korrosionsschutz sollte alle Informationen bereitstellen, die für eine Detailplanung notwendig sind. Informationen können entweder aus Dokumenten oder durch direkte Beobachtungen und Messungen vor Ort erhalten werden.

Die Grundlage für die Planungsstudie zum kathodischen Korrosionsschutz sollte Folgendes beinhalten:

- Durchmesser der Rohrleitung;
- Länge und Wanddicke der Rohrleitung;
- Auslegungs-Lebensdauer der Rohrleitung;
- Umhüllungsart der Rohrleitung;
- Art der Nachumhüllung;
- Standort von oberirdischen Anlagen (z. B. Druckminderstation);
- Lage eventueller Armaturen;
- Angaben zur lokalen Erdung (z. B. bei elektrisch betriebenen Armaturen);
- Angaben zum transportierten Medium;
- Betriebstemperatur des Transportmediums;
- topographische Daten;
- Geländeerhebungen;
- Eigenschaften des Elektrolyts (diese Angaben können den spezifischen elektrischen Widerstand, den pH-Wert und die Bakterienaktivität des Elektrolyts umfassen);
- Ergebnisse der Streustromuntersuchungen im Elektrolyten;

- Anwesenheit von Hochspannungs-Freileitungen;
- bekannte unterirdische Kabel und Objekte einschließlich anderer Rohrleitungen;
- bekannte angrenzende kathodische Korrosionsschutzsysteme;
- Flussquerungen;
- Straßen- und Gleisquerungen;
- Mantelrohre, die nach dem Abschluss der Bauarbeiten verbleiben (Länge, Material und Beschichtung, sofern vorhanden);
- Arten von Bettungsmaterialien der Rohrleitung;
- Brücken- und Tunnelquerungen;
- Eigenschaften der Wechselstrom- und Gleichstrom-Bahnsysteme (z. B. Umspannwerke, Betriebsspannungen);
- Eigenschaften von gleichstrombetriebenen Industrieanlagen;
- alle elektrisch betriebenen Geräte (z. B. Notabsperarmaturen).

ANMERKUNG In ISO 21857 sind alle Arten von Störquellen aufgeführt.

8.3 Inhalt des Planungsberichts zum kathodischen Korrosionsschutz

Die Detailplanung muss Folgendes behandeln und dokumentieren:

- a) Auslegungs-Lebensdauer des kathodischen Korrosionsschutzsystems;
- b) Planungsunterlagen, die die Auslegung und Anordnung der Ausrüstung begründen (z. B. Anoden, Schutzstromgeräte, Kabel);
- c) Berechnung des Potentialverlaufs zur Begründung der Abstände zwischen den Einspeisepunkten, sofern anwendbar (siehe Anhang E);
- d) Materiallisten;
- e) Materialspezifikationen;
- f) Schaltbild (Einlinienschaltbild) der Rohrleitung mit wesentlichen Merkmalen;
- g) temporärer kathodischer Korrosionsschutz;
- h) Installationsverfahren und Anschlussdetails für alle wesentlichen Elemente. Dies kann Folgendes umfassen:
 - 1) Anodenfelder,
 - 2) Anodenanschlüsse,
 - 3) Rohrleitungsanschlüsse,
 - 4) Ausbesserung der Umhüllung,

- 5) elektrische Trennung, (Monoblock, Isolierflansche, nichtleitende Rohre),
- 6) Schutzstromgeräte,
- 7) Messstellen,
- 8) Einrichtungen zur Wechselstromableitung,
- 9) Mantelrohrkreuzungen,
- 10) externe Messproben, Probebleche oder Bezugselektroden,
- 11) externe ER-Proben (en: electrical resistance),
- 12) Verbindungen (äquipotential, mit Widerstand und gerichtet),
- 13) Streustromableitungssysteme, und
- 14) Ferninspektion oder -steuerung;
- i) Inbetriebnahmeverfahren;
- j) Betriebs- und Instandhaltungsanweisungen.

8.4 Schutzstrombedarf

8.4.1 Berechnung des theoretischen Gesamtstrombedarfs

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

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

Dabei ist k ein Sicherheitsfaktor aufgrund einer möglichen ungleichmäßigen Stromverteilung entlang der Rohrleitung, der Dämpfung und der Abschirmung.

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

Der Strombedarf einer umhüllten Rohrleitung erhöht sich im Verlauf der Zeit mit zunehmendem Verschleiß der Umhüllung. Das kathodische Korrosionsschutzsystem muss in der Lage sein, den steigenden Strombedarf mit zunehmendem Verschleiß der Umhüllung im Verlauf der Zeit zu bewältigen.

8.4.2 Strombedarf basierend auf den Stromdichtewerten für umhüllte 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 umhüllte Rohrleitungen unter Verwendung von Gleichung (4).

$$I_{\text{tot}} = \pi \times D \times L \times k \times j_c \quad (4)$$

Bei bestehenden Rohrleitungen ohne historische Daten darf der Strombedarf durch Berechnungen auf der Grundlage des angenommenen Umhüllungszustands geschätzt werden. Alternativ darf eine Prüfung durchgeführt werden, indem Strom eingespeist wird und das Rohrleitung/Elektrolyt-Potential an verschiedenen Orten entlang der Rohrleitung für einen bekannten Wert des angewendeten Stroms gemessen wird. Die Prüfergebnisse dürfen verwendet werden, um den Gesamtstrombedarf und die Abstände zwischen den Anodenfeldern zu berechnen.

Die Planung darf auch auf dem Konzept des „mittleren Umhüllungswiderstands“ r_{co} in Ωm^2 basieren. Der Zusammenhang zwischen der Stromdichte j_c und dem mittleren Umhüllungswiderstand kann anhand des Ohmschen Gesetzes nach Gleichung (5) hergestellt werden:

$$j_c = \frac{\Delta E}{r_{co}} \quad (5)$$

Dabei ist ΔE die Potentialverschiebung durch den Schutzstrom gemessen anhand einer Bezugselektrode im Bereich der fernen Erde.

Die Auslegungsstromdichten in Tabelle 5 dürfen wie folgt verwendet werden.

- Werte für optimierte Planungen entsprechen optimistischen aber realistischen Beschädigungszuständen und müssen für die Planung galvanischer Anoden oder zur Prüfung der Qualität der Umhüllung nach der Installation der Rohrleitung verwendet werden.
- Werte für konservative Planungen entsprechen pessimistischen Beschädigungszuständen und sollten für die Planung von Fremdstromschutzanlagen mit langer Nutzungsdauer verwendet werden.

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

Die Zahlen für die optimierte Planung berücksichtigen nicht den Stromverbrauch durch mit der Rohrleitung verbundene Probebleche oder durch Abgrenzeinheiten fließenden Strom oder Strom von oder zu Fremdoobjekten. Hierbei handelt es sich um die Erfahrungswerte verschiedener Betreiber, die aufgeführt sind, um den Planer bei der Auslegung der Anlage zu unterstützen.

Tabelle 5 — Typische Auslegungs-Stromdichten für umhüllte Rohrleitungen

Art der Umhüllung	Stromdichte für die optimierte Planung mA/m ²	Stromdichte für die konservative Planung mA/m ²
3LPE oder 3LPP	0,001 bis 0,02	0,05 bis 0,2
FBE	0,005 bis 0,050	0,010 bis 0,100
Steinkohlenteer- oder Bitumentumhüllung	0,2 bis 0,3	0,3 bis 0,8
Blanker Stahl	5 bis 100	

ANMERKUNG 1 Diese Werte gelten für Rohrleitungen, die unter Beachtung der in 7.5.2 und 7.5.3 angegebenen Normen errichtet wurden.

ANMERKUNG 2 Bei den Zahlen in dieser Tabelle für alle Umhüllungen wird davon ausgegangen, dass es keine Verluste/Ableitungen des Korrosionsschutzstromes aus der Rohrleitung über Verbindungen oder unvollkommene Trennung/Isolierstücke gibt.

ANMERKUNG 3 Diese Werte für FBE werden in der ISO 15589-1 als angemessen „sicher“ für die Auslegung angesehen. Rohrleitungsbetreiber mit beträchtlicher Erfahrung, die die Qualität der FBE und der Bettungsmasse sicher einschätzen können, haben die Möglichkeit, niedrigere Werte auf der Grundlage ihrer eigenen Umgebung und ihrer Erfolgsbilanz zu verwenden.

Bei grabenlosen Horizontalbohrungen (HDD, en: horizontal directional drilling) sollten verbesserte Umhüllungen mit hoher Abriebfestigkeit verwendet werden. Nach der Installation und vor dem Anschluss an die Hauptrohrleitung wird eine Prüfung empfohlen, einschließlich einer Prüfung der Stromdichte. In einigen Ländern wird ein Abnahmekriterium von $1 \mu A/m^2/100 \text{ mV}$ Verschiebung verwendet, aber es versteht sich von selbst, dass dies nicht immer verbindlich ist. Ein vernünftiger Wert für die Planung von HDD, die mit den besten verfügbaren abriebfesten Umhüllungen versehen sind, darf im Bereich des 1- bis 2-Fachen der vorgeschlagenen konservativen Werte für FBE in Tabelle 3 liegen.

8.5 Ausrüstung für den kathodischen Korrosionsschutz

8.5.1 Kabel

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

ANMERKUNG Metallarmierungen können die Kabelisolierung bei übermäßigem Biegen beschädigen.

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

Die Kabelquerschnitte sind auf der folgenden Grundlage auszulegen:

- technisch zulässige Spannungsabfälle nach Planung;
- Dauerstrom durch den Kabelquerschnitt nach Planung;
- Eigenschaften der Kabelisolierung;
- mechanische Festigkeit;
- Flexibilität;
- Betriebstemperaturbedingungen.

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

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

Als Leitermaterial sollte Kupfer verwendet werden.

Der Gesamtquerschnitt der Kabel darf die folgenden Werte nicht unterschreiten:

a) Fremdstromschutzanlagen:

- 1) Kabel zur geschützten Rohrleitung 10 mm^2 ;
- 2) Kabel zum Anodenfeld $4 \times 2,5 \text{ mm}^2$ oder 10 mm^2 ;

b) galvanische Anodensysteme:

- 1) Kabel zur geschützten Rohrleitung 4 mm^2 ;
- 2) Kabel zur einzelnen Anode $2,5 \text{ mm}^2$;

c) andere Anlagen:

- 1) Kabel für die Potentialmessung $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ oder 6 mm^2 ;
- 2) Kabel für Rohrstrommessung $4 \times 2,5 \text{ mm}^2$;
- 3) Kabel für elektrisch leitende Verbindung $4 \times 2,5 \text{ mm}^2$ oder 10 mm^2 .

E DIN EN ISO 15589-1:2024-05
prEN ISO 15589-1:2024 (D)

Die folgenden Anforderungen gelten für die Kabelinstallation:

- Kabel müssen ohne Schleifen oder Knicke verlegt werden;
- zwischen der Rohrleitung und jeder Einzelader oder jedem Kabel mit separater Funktion muss eine separate Verbindung hergestellt werden.

BEISPIEL Für die Potentialmessung verwendete Kabel sind getrennt 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 Schutzrohren oder der Schutz der Kabel durch geeignete Abdeckungen 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. Erdverlegte und unter Wasser liegende Kabelverbindungen sollten für die dauerhafte Verlegung oder Unterwasserlage geeignet sein.

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

8.5.2 Kabelverbindung

Verbindungen von Kabeln für den kathodischen Korrosionsschutz mit 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,
- Klebeverbindungen (nur für Messkabel),
- Schmelzschweißen mit Metallauftrag,
- Bolzenschweißen,
- Aufschweißung eines Stahlstückes (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, Einbauteile und Armaturen angeschweißt werden.

Sofern das aluminothermische Schweißverfahren angewendet wird, muss das Schweißverfahren sicherstellen, dass das Eindringen 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 Rohrleitungen aus korrosionsbeständigen Legierungen durchgeführt werden.

Aluminothermische Schweißladungen 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 Umhüllung so repariert werden, dass ein zukünftiges Eindringen von Wasser verhindert wird.

8.5.3 Verteilerkästen und Messstellen

Alle überirdischen elektrischen Anlagen in Verbindung mit dem kathodischen Korrosionsschutz der Rohrleitung sollten mit einem geeigneten Gehäuse versehen sein, um sie vor unbefugtem Zugang und Umwelteinflüssen zu schützen.

Die Gehäuse sollten an einem Ort aufgestellt werden, zu dem ein sicherer Zugang möglich ist.

ANMERKUNG 1 Die häufigsten oberirdischen Anlagen können als aktiv oder passiv klassifiziert werden. In diesem Sinne sind aktive Anlagen beispielsweise Schutzstromgeräte, Diodenabgrenzeinheiten und Polarisationszellen. Passive Anlagen umfassen Geräte wie Verteilerkästen, Messeinrichtungen, Ferninspektionstechnik und Potentialausgleichsanlagen. Manchmal sind passive Messeinrichtungen in aktiven Anlagen enthalten.

Aktive Anlagen sollten in einem ausreichend großen Gehäuse oder Anlagenschrank installiert werden. Die Größe des Gehäuses oder des Schrankes sollte jede möglicherweise anfallende Wärmeerzeugung berücksichtigen. Das Material sollte für die zu erwartenden Umweltbedingungen einschließlich UV-Strahlung geeignet sein. Die Gehäuse sollten verschließbar sein.

Sofern anwendbar, sollte für das Gehäuse Folgendes vorgesehen werden:

- Netzanschlusskasten;
- Verteilertafel mit Sicherheitseinrichtungen und zusätzlichen Steckdosen;

- Befestigungsmöglichkeiten für die Hauptgeräte (z. B. Schutzstromgerät, Polarisationszelle, Diodenabgrenzeinheit);
- Schalttafel für Messungen;
- 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 oder 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.

Die Messanschlüsse sollten in einer geeigneten Messstelle oder einem Gehäuse aufgelegt 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 auf der Rohrleitung besteht, sollte die Messeinrichtung nicht-metallisch sein (dead face), um das Risiko von Stromschlägen für den Bediener und die Öffentlichkeit auszuschließen. Die Prüfeinrichtung sollte mit einem dauerhaften Kennschild ausgestattet sein.

Prüfeinrichtungen, die in einem unterirdischen Gehäuse oder einer Straßenkappe installiert sind, sollten eine ausreichende mechanische Festigkeit für den zu erwartenden Verkehr aufweisen (z. B. Straßenkappen auf Straßen oder in oberirdischen Anlagen).

Prüfeinrichtungen sollten außerhalb von Gefahrenbereichen installiert werden, um Risiken durch Funkenbildung zu vermeiden. Wenn eine Prüfeinrichtung in Bereichen installiert werden soll, die als gefährlich eingestuft sind, muss sie der Klassifizierung dieses Gefahrenbereichs nach IEC 60079-10-1 oder einer vergleichbaren Norm entsprechen.

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

8.6 Temporärer Schutz

Der temporäre kathodische Korrosionsschutz sollte während des Zeitraums zwischen der Grabenverfüllung und der Anwendung des permanenten kathodischen Korrosionsschutzsystems angewendet werden, um das Außenkorrosionsrisiko an der Rohrleitung zu vermeiden.

Kathodische Korrosionsschutzsysteme für den temporären Schutz sollten für die erwartete Dauer bis zur Installation eines permanenten kathodischen Korrosionsschutzsystems vorgesehen werden. Es empfiehlt sich, eine angemessene Sicherheitsspanne für den Fall von Verzögerungen der Baumaßnahmen vorzusehen.

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

- eine Rohrleitung wurde in einem Elektrolyten mit geringem spezifischem Widerstand (weniger als 100 Ωm) installiert;
- der Zeitraum zwischen der Installation der Rohrleitung und dem permanenten kathodischen Korrosionsschutz beträgt mehr als 3 Monate;
- die Rohrleitung wird in einem Bereich installiert, in dem hohe Korrosionsrisiken, beispielsweise durch Belüftungselemente, festgestellt wurden.

In Abhängigkeit vom spezifischen Elektrolytwiderstand und dem Strombedarf sollten Zink- oder Magnesiumanoden verwendet werden (siehe 10.3 und 10.4).

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

ANMERKUNG Direkt mit der Rohrleitung verbundene Anoden sind schwer zu orten und zu trennen, wenn ein permanentes kathodisches Korrosionsschutzsystem in Betrieb ist, und können zukünftige präzise ON/OFF-Messungen des kathodischen Korrosionsschutzes unmöglich machen.

Die Stromabgabe der Anoden und ihre Wirksamkeit bei der Bereitstellung des kathodischen Korrosionsschutzes sind durch Messungen in Übereinstimmung mit Anhang A zu prüfen.

8.7 Sonderfall bestehender Rohrleitungen

8.7.1 Allgemeines

Bei bestehenden Rohrleitungen darf die Planung unter Verwendung der in 8.4.3 enthaltenen Informationen in Verbindung mit Felduntersuchungen erfolgen. Berechnungen der Schutzbereichslängen dürfen vorgenommen werden, um die Standorte der Anodenfelder entlang der Rohrleitung zu bestimmen (siehe Anhang E).

ANMERKUNG In einigen Fällen sind die einzigen erfassbaren sinnvollen Daten auf den Elektrolyt-Widerstand, die Elektrolytuntersuchung, Streustrommessungen und die Ergebnisse aus einem Einspeiseversuch mit temporären Fremdstromschutzanlagen beschränkt.

8.7.2 Parallele Rohrleitungen

Wenn Rohrleitungen parallel verlaufen, müssen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um sicherzustellen, dass keine unzulässige Beeinflussung oder Abschirmung auftritt. Die Beeinflussung kann durch den Einfluss des angewendeten kathodischen Korrosionsschutzes entstehen. In diesem Fall können die Systeme angepasst oder die Rohrleitungen durch ein gemeinsames kathodisches Korrosionsschutzsystem geschützt werden.

Sofern Änderungen an dem kathodischen Korrosionsschutz- oder dem Umhüllungssystem 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 ausgeführt werden oder es kann notwendig sein, eine Diode oder einen Reihenwiderstand in einer Messstelle zu installieren.

Anodenfelder sollten unter angemessener Berücksichtigung des Abschirmungs- und Beeinflussungsrisikos angeordnet werden.

An fremden parallelen Rohrleitungen sollten keine Arbeiten ohne die Zustimmung der Betreiber durchgeführt werden.

Die Verbindung paralleler Rohrleitungen mit sehr unterschiedlichen Umhüllungseigenschaften und -zuständen muss beurteilt werden, um unannehmbare elektrische Wechselwirkungen zwischen den Rohrleitungen zu vermeiden.

ANMERKUNG Bei Messungen der Rohrleitung/Elektrolyt-Potentiale an parallelen Rohrleitungen, die nicht verbunden sind, ist es wichtig, die Bezugselektrode korrekt zu positionieren.

8.7.3 Parallelführung oder Kreuzung mit Wechselstromnetzen

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

ANMERKUNG 1 Im Fall einer Langzeitbeeinflussung metallischer Rohrleitungen kann Wechselstrom zwischen dem unbeschichteten Metall (d. h. Umhüllungsfehlstelle) und dem Elektrolyten 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 der Personenschutz werden in EN 50443 behandelt.

8.8 Grabenlose Verlegeverfahren

Rohrleitungen, die in Tunneln verlegt oder durch horizontale Bohrverfahren (grabenlos) verlegt werden, unterliegen einem Risiko der Beschädigung der Außenumhüllung während des Einziehens. Diese Verlegeverfahren schließen ausführliche Untersuchungen der Umhüllung oder Intensivmessungen nach der Installation des Rohrleitungsabschnitts aus. Andere Überprüfungsverfahren sollten angewendet werden, um festzustellen, ob die Umhüllung beschädigt ist. Die Überprüfungsverfahren, siehe z. B. D.4.3, dienen der Unterstützung bei der Feststellung, ob diese Rohrleitungsabschnitte kathodisch geschützt werden können. Sofern die Abnahmekriterien nach Durchführung der Überprüfungsverfahren nicht erfüllt werden, darf, sofern technisch realisierbar, eine Fehlstellenortung durchgeführt werden. Hierdurch werden Umhüllungsfehlstellen lokalisiert und es unterstützt bei der Entscheidung, ob eine Fehlstellenbeseitigung notwendig ist.

Folgendes sollte bei grabenlosen Verlegeverfahren 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 vergossen oder verfüllt wurde, sollten Messungen durchgeführt werden, um die Fehlstellenfreiheit der Umhüllung zu bestätigen.
- Sofern grabenlose Rohrleitungsabschnitte nicht durch das Hauptschutzsystem geschützt werden können, sollten sie elektrisch getrennt und separat kathodisch geschützt werden.

9 Fremdstromschutzanlagen

9.1 Allgemeines

Fremdstromschutzanlagen sollten an Orten installiert werden, an denen sie leicht zugänglich und gegen umgebungsbedingte, elektrische Beschädigungen und Vandalismus geschützt sind. Die Anlage muss in Übereinstimmung mit den nationalen und lokalen anzuwendenden elektrischen Normen 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 Anodenfeld;
- Abstände zur Rohrleitung und anderen metallischen Objekten (unterirdische Objekte oder metallische Gebäude), hauptsächlich in städtischen Bereichen;
- Abstände zu anderen kathodischen Systemen oder Wechselstrom- oder Gleichstromquellen;
- Gefahrenbereiche.

Die Installationsarbeiten werden üblicherweise möglichst zeitnah nach der Verlegung der Rohrleitung ausgeführt. Sofern aufgrund der Planung gefordert (siehe 8.5), sollten temporäre kathodische Korrosionsschutzsysteme installiert und in Betrieb genommen werden.

Die folgenden Kennzeichnungen sollten am Gehäuse angebracht werden:

- Sicherheitshinweise zur Gefahr durch Elektrizität;

- Kennschilder mit Angaben zum Eigentümer/Betreiber und der Anlage.

9.2 Stromversorgung

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

Folgendes ist bei der Festlegung von Gleichspannungsquellen zu berücksichtigen:

- Verfügbarkeit und Art des Anschlusses an die Wechselspannungsversorgung;
- Art des Gleichrichters;
- Messgeräte wie etwa Voltmesser, Amperemesser;
- Anzahl der Ausgangsanschlüsse;
- Art der Kühlung (Luft oder Öl);
- Art der Ausgangssteuerung (Spannung, Strom oder potentiostatisch);
- Trennbare Verbindung, um ein Taktgerät einfügen zu können;
- Anforderung an die dauerhafte Installation eines Taktgeräts;
- elektrische und sicherheitstechnische Anforderungen an die Anlage;
- Schutzmaßnahmen gegen mögliche Hochspannungsbeeinflussung;
- Anforderungen an den Wechsel- und/oder Gleichstrom-Überspannungsschutz;
- Anforderungen an Schutzart und das Gehäuse;
- Wechselstromanteil im Gleichstromausgang (akzeptabler Glättungs-Faktor);
- Angaben auf dem Kennschild und dem Typenschild;
- Schutzart (z. B. IP-Klasse);
- Einrichtungen zur Ferninspektion/Fernsteuerung.

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

ANMERKUNG Gradienten im Elektrolyten in der Nähe von Anodenfeldern können eine Gefahr für Tiere, Menschen oder Gebäude mit metallischen Strukturen darstellen.

Schutzstromgeräte müssen speziell für den kathodischen Korrosionsschutz ausgelegt und für den Dauerbetrieb unter den vorherrschenden Betriebsbedingungen geeignet sein.

9.3 Anodenfelder

9.3.1 Allgemeines

Die Anodenfelder eines Fremdstromschutzsystems müssen entweder als Tiefen- oder als Flachbett-Ausführungen errichtet werden. Planung und Standort müssen folgende Anforderungen erfüllen.

- a) Die Menge der Anodenfeldmaterialien (Anode und Bettungsmasse) muss für die Größe des Anodenfeldes und die Auslegungs-Lebensdauer des kathodischen Korrosionsschutzsystems geeignet sein.
- b) Der Ausbreitungswiderstand eines jeden Anodenfeldes muss den maximalen vorhergesehenen Strombedarf ohne Überschreitung eines in der Planung festgelegten Werts (z. B. 70 % der Ausgangsspannung der Gleichstromquelle) während der Jahreszeiten und der gesamten Auslegungs-Lebensdauer des kathodischen Korrosionsschutzsystems erfüllen. Die Berechnung muss auf dem Ausbreitungswiderstand des Anodenbettes zum Ende seiner Auslegungs-Lebensdauer basieren.

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

- c) Schädliche Beeinflussung benachbarter unterirdischer Objekte einschließlich Zäunen, Fremdleitungen, Anlagenpiping und Erdungsanlagen sind zu vermeiden.

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

- Elektrolytbedingungen und tiefenabhängige Schwankungen des spezifischen Elektrolytwiderstandes;
- Grundwasserspiegel;
- Nachweise extremer jahreszeitlicher Veränderungen der Elektrolytbedingungen;
- Geländeeigenschaften;
- Abschirmung (insbesondere bei parallelen Rohrleitungen);
- Wahrscheinlichkeit von Beschädigungen durch Fremdeinwirkung.

Die Basisplanung muss eine Berechnung des Ausbreitungswiderstandes des Anodenfeldes auf der Grundlage detaillierter verfügbarer spezifischer Elektrolytwiderstandsdaten beinhalten.

Wenn mehrere Anodenfelder zur Lieferung des Strombedarfs erforderlich sind, sollte die Stromabgabe von jedem Anodenfeld individuell einstellbar sein.

9.3.2 Tiefenanodenfelder

Die Planung und der Einbau von Tiefenanodenfeldern erfordern besondere Kompetenz und sollten nach einer technischen Spezifikation erfolgen. NACE SP0572 ist ein Beispiel für eine geeignete technische Spezifikation.

Tiefenanodenfelder 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 Objekte besteht,
- der verfügbare Platz für ein Flachbettanodenfeld begrenzt ist und
- ein Risiko der Verursachung von Streuströmen durch benachbarte Anlagen besteht.

Die Detailplanung muss ein Verfahren zur Tiefenbohrung, die Ermittlung des spezifischen Elektrolytwiderstandes des Elektrolyts in verschiedenen Tiefen, die Komplettierung des Bohrlochs und ein Verfahren für den Einbau der Anoden und der leitfähigen Bettungsmasse umfassen.

Die Planung und der Bau des Bohrlochs müssen einen unerwünschten Wassertransport zwischen verschiedenen geologischen Formationen und die Verunreinigung der darunter liegenden Schichten verhindern. In einigen Ländern kann diese Tätigkeit besondere Prüfungen und Dokumentationen erfordern.

Soweit erforderlich, sollten metallene Standrohre zur Stabilisierung des Bohrlochs im aktiven Abschnitt des Anodenfeldes verwendet werden. Die Standrohre müssen elektrisch von allen anderen Objekten an der Oberfläche isoliert werden.

ANMERKUNG Metallene Standrohre bieten nur eine vorübergehende Stabilisierung des Bohrlochs, da das Metall durch den Gleichstromfluss verbraucht wird.

Wenn eine dauerhafte Stabilisierung erforderlich ist, sollten nichtmetallene perforierte Standrohre verwendet werden. Bei der Berechnung des Ausbreitungswiderstandes des Anodenfeldes müssen die spezifischen Elektrolytwiderstandsdaten entsprechend der Tiefe des Mittelpunktes der aktiven Länge verwendet und die Möglichkeit mehrschichtiger Elektrolyte mit sehr unterschiedlichen spezifischen Elektrolytwiderständen berücksichtigt werden.

Tiefenanodenfelder sollten mit geeigneten Entlüftungsrohren ausgestattet werden, um Gasblockaden zwischen den Anoden und der leitfähigen Bettungsmasse zu verhindern. Das Entlüftungsrohr muss aus nichtmetallischem chloridbeständigem Material hergestellt sein.

9.3.3 Flachbettanodenfelder

Flachbettanodenfelder sollten in Betracht gezogen werden, wenn

- der spezifische Bodenwiderstand an der Oberfläche sehr viel besser geeignet ist als in der Tiefe eines Tiefenanodenfeldes,
- kein Risiko der Abschirmung durch angrenzende Rohrleitungen oder andere unterirdische Objekte besteht,
- ausreichend Platz für ein Flachbettanodenfeld vorhanden ist und
- der abgegebene Strom keine unzulässige Korrosion an angrenzenden erdverlegten Objekten verursacht.

Anoden in Flachbettanodenfeldern müssen horizontal oder vertikal installiert werden. In beiden Fällen muss die Oberkante der leitfähigen Bettungsmasse mindestens 0,8 m unter der Geländeoberkante oder mindestens unter der Dauerfrostbodenschicht (sofern zutreffend) liegen. Bei der Berechnung des Ausbreitungswiderstandes des Anodenfeldes müssen die spezifischen Elektrolytwiderstände entsprechend der Mittellinie (horizontale Verlegung) oder dem Mittelpunkt (vertikale Verlegung) der Anoden verwendet und die Möglichkeit mehrschichtiger Elektrolyte mit sehr unterschiedlichen spezifischen Bodenwiderständen berücksichtigt werden.

Die Detailplanung muss ein Verfahren für den Bau des Anodenbettes, den Einbau der Anoden und die leitfähige Bettungsmasse umfassen.

Am Anfang und am Ende des Anodenfeldes sollte eine dauerhafte Markierung in Betracht gezogen werden.

9.3.4 Fremdstromanoden und leitfähige Bettungsmasse

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

- Eisenlegierung mit hohem Siliziumanteil, mit geeignetem Chromgehalt bei Anwendung in Elektrolyten mit hohem Chloridanteil und sofern gesetzlich zulässig;
- Magnetit;
- Graphit;

E DIN EN ISO 15589-1:2024-05
prEN ISO 15589-1:2024 (D)

- Mischmetalloxid-beschichtetes Titan;
- leitfähige Polymere;
- Stahl.

Alternative Materialien dürfen verwendet werden, wenn die verlässliche 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 Auslegungs-Lebensdauer des kathodischen Korrosionsschutzsystems zu liefern.

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

Für Fremdstromanoden werden üblicherweise elektronenleitende Bettungsmassen verwendet, da diese:

- den Anodenverbrauch reduzieren;
- die Ansammlung von Gas in Taschen vermeiden.

ANMERKUNG Bettungsmasse kann entweder elektronenleitend (z. B. Koks, Graphit und Magnetit) oder elektrolytleitend (z. B. Bentonit und Gips) sein.

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

Die Umweltauswirkung der Auflösung des Anodenmaterials und der Abbau der leitenden Bettungsmasse sind 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 sowohl in ausreichender Menge vorhanden als auch homogen ist und die Anforderungen der Projektspezifikation erfüllt.

Die Verwendung längsleitfähiger Polymeranoden oder von Titan-MMO-Drahtanoden sollte insbesondere bei Elektrolyten mit sehr hohem spezifischem Elektrolytwiderstand um die Rohrleitung erwogen werden.

Die Anodeneigenschaften sollten mit dem Hersteller geprüft werden. Die typischen elektrochemischen Eigenschaften von Anoden für Fremdstromschutzanlagen unterirdischer Rohrleitungen sind in Tabelle 6 angegeben. Wenn kokshaltige Bettungsmasse verwendet wird, sollte der Verbrauch der Bettungsmasse bei der Bemaßung des Anodenfelds berücksichtigt werden.

Tabelle 6 — Typische elektrochemische Eigenschaften von Fremdstromanoden im Erdreich

Anodenmaterialien	Anodenverbrauch $\text{g A}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$	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
Imprägnierter Graphit	500 bis 1 000	2,5 bis 10 ^b
Magnetit	2	10 bis 20 ^b
Mischmetalloxid (MMO) auf Titan in kokshaltiger Bettungsmasse	^{a c}	50 bis 100 ^b

Tabelle 6 (fortgesetzt)

Anodenmaterialien	Anodenverbrauch $\text{g A}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$	Typischer Anoden- Stromdichtebereich $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$
Leitfähige Polymere in kokshaltiger Bettungsmasse	^a	0,4 ^b
ANMERKUNG Wenn Fremdstromanoden mit kokshaltiger Bettungsmasse installiert werden, ist es notwendig, die Verbrauchsrate der kokshaltigen Bettungsmasse zu berücksichtigen. Üblicherweise 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 kokshaltiger Bettungsmasse installiert. Die Auslegungs-Lebensdauer wird grundsätzlich durch die Verbrauchsrate der kokshaltigen Bettungsmasse bestimmt. Der Anodenverbrauch 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 Steuerung der Stromabgabe

9.4.1 Allgemeines

Der Ausgangsstrom eines Gleichrichters darf wie folgt gesteuert werden:

- konstante Gleichrichterausgangsspannung: Der Strom wird durch den Stromkreiswiderstand gesteuert. Veränderungen des äußeren Stromkreises (z. B. Streustrom, Elektrolytschwankungen) führen zu Änderungen des Werts des an die Rohrleitung abgegebenen Stroms;
- Potentialsteuerung: Das an einer repräsentativen Stelle der Rohrleitung gemessene und an den Gleichrichter übertragene Potential, das den Ausgang des Gleichrichters regelt und die voreingestellten Potentialmesswerte an der Rohrleitung aufrechterhält. Veränderungen des äußeren Stromkreises (z. B. Streustrom, Elektrolytschwankungen) führen zu Änderungen des Werts des an die Rohrleitung abgegebenen Stroms;
- Stromsteuerung: Der vom Gleichrichter gelieferte Strom wird automatisch durch den Vergleich mit einem eingestellten Wert geregelt.

Der Stromkreis zwischen dem Anodenfeld und der Rohrleitung sollte bis zur Inbetriebnahme am Gleichrichter geöffnet bleiben.

9.4.2 Stromverteilung für mehrere Rohrleitungen

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

- Trassenverlauf der Rohrleitung;
- Eigentümer/Betreiber der Rohrleitung;
- Elektrische Beeinflussung;
- Strombedarf für jede Rohrleitung;
- Abschirmungseffekt des kathodischen Korrosionsschutzes (Lage des Anodenfeldes im Vergleich zu den verschiedenen Rohrleitungen).

Es können Widerstände in den Minusanschlüssen installiert werden, um individuell abzugleichen. Der Anschluss 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 Verteilerschrank oder dem Gleichrichtergehäuse installiert werden.

Der kathodische Korrosionsschutz mehrerer Rohrleitungen durch einen einzelnen Gleichrichter darf durch Verwendung eines Potentialausgleichs hergestellt werden, wenn die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes sichergestellt werden kann. Dies schränkt jedoch die Möglichkeit der Potentialmessung an einzelnen Rohrleitungen ein.

9.4.3 Potentialsteuerung

Die Gleichspannungsquelle kann unter bestimmten Bedingungen ein konstantes Rohrleitungspotential aufrechterhalten, um Änderungen der externen Stromkreisbedingungen auszugleichen. Änderungen können durch Streuströme bzw. tellurische Beeinflussung verursacht werden.

In diesen Fällen darf die durch eine dauerhafte Bezugselektrode gemessene Spannung als steuerndes Potential zur Änderung des Gleichrichterausgangs und Aufrechterhaltung eines konstanten Rohrleitung/Elektrolyt-Potentials verwendet werden. Die Bezugselektrode 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 Bezugselektrode zu verhindern.

Dauerbezugselektroden müssen wiederkehrend überwacht werden.

Der zur Steuerung verwendete Potentialmesskreis muss einen Mindesteingangswiderstand von 10 M Ω aufweisen. Das elektronische Regelungssystem muss eine Auflösung von mindestens ± 10 mV haben und sollte mit Reglern zur Einstellung des erforderlichen Einschaltpotentials und des Stromgrenzwerts und/oder Alarmanzeigen für Überspannung oder zu hoher Stromabgabe ausgestattet sein.

Die Ausgangsspannung, der Ausgangsstrom und das Rohrleitung/Boden-Potential müssen angezeigt werden.

10 Galvanische Anodenanlagen

10.1 Allgemeines

Galvanische Anodenanlagen sollten berücksichtigt werden, wenn der Strombedarf gering ist, z. B. für Rohrleitungen mit kleinem Durchmesser oder kurzen Längen (einige Kilometer) umhüllter Rohrleitungen mit größerem Durchmesser. Um die Stromentladung zu optimieren, sollten galvanische Anoden in Elektrolyten mit geringem spezifischem Elektrolytwiderstand installiert werden, z. B. in feuchten Lehmböden oder in Wässern, Sümpfen oder Marschen.

Die Anwendung galvanischer Anoden darf außerdem berücksichtigt werden:

- wenn keine Spannungsversorgung zur Verfügung steht,
- für den temporären Schutz neu verlegter Rohrleitungen,
- für den temporären oder dauerhaften Schutz bestehender Rohrleitungen,
- wenn Anodenfelder im Bereich der fernen Erde für Fremdstromschutzanlagen nicht installiert werden können,
- in Taubereichen im Permafrostboden (siehe ANMERKUNG 1),
- zur Ergänzung des Stroms aus einer bestehenden kathodischen Fremdstromschutzanlage, wenn lokale Bereiche mit erhöhtem Strombedarf vorhanden sind,