

DIN EN ISO 21857



ICS 75.200

Einsprüche bis 2019-11-20

Entwurf**Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie –
Vermeidung von durch Streuströmen beeinflusster Korrosion an
Rohrleitungssystemen (ISO/DIS 21857:2019);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 21857:2019**

Petroleum, petrochemical and natural gas industries –
Prevention of corrosion on pipeline systems influenced by stray currents
(ISO/DIS 21857:2019);
German and English version prEN ISO 21857:2019

Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel –
Prévention de la corrosion sur les systèmes de conduites soumis à l'influence de courants
vagabonds (ISO/DIS 21857:2019);
Version allemande et anglaise prEN ISO 21857:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-09-20 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an noeg@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

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

Gesamtumfang 146 Seiten

DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 21857:2019) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Für Deutschland hat hieran der Arbeitsausschuss NA 109-00-02 AA „Fernleitungssysteme — Spiegelausschuss zu ISO/TC 67/SC 2“ im DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG) mitgearbeitet.

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.

Diese Norm enthält neben den gesetzlichen Einheiten auch die Einheit „in (inch)“ die in Deutschland nicht zugelassen ist. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Anwendung dieser Einheit im nationalen amtlichen und geschäftlichen Verkehr aufgrund des Gesetzes über Einheiten im Messwesen nicht zulässig ist. Die Angabe dieser Einheit dient lediglich als Hilfe im amtlichen und geschäftlichen Verkehr (z. B. bei Einfuhr und Ausfuhr) mit solchen Staaten, die diese Einheit anwenden.

Umrechnung:

Nicht-SI-Einheit	SI-Einheit	Umrechnung
in (inch)	mm	1 inch = 25,4 mm

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

ISO 8044:2015	siehe	DIN EN ISO 8044:2015-12
ISO 15589-1	siehe	DIN EN ISO 15589-1
ISO 18086:2015	siehe	DIN EN ISO 18086:2017-12

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 8044:2015-12, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Grundbegriffe (ISO 8044:2015); Dreisprachige Fassung EN ISO 8044:2015*

DIN EN ISO 15589-1, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Kathodischer Schutz für Transportleitungssysteme — Teil 1: On-land pipelines*

DIN EN ISO 18086:2017-12, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Bestimmung der Wechselstromkorrosion — Schutzkriterien (ISO 18086:2015); Deutsche Fassung EN ISO 18086:2017*

— Leerseite —

Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie — Vermeidung von durch Streuströme beeinflusster Korrosion an Rohrleitungssystemen (ISO/DIS 21857:2019)

Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel — Prévention de la corrosion sur les systèmes de conduites soumis à l'influence de courants vagabonds (ISO/DIS 21857:2019)

Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Prevention of corrosion on pipeline systems influenced by stray currents (ISO/DIS 21857:2019)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	5
Vorwort	6
Einleitung.....	7
1 Anwendungsbereich.....	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Abkürzungen und Symbole.....	11
5 Informationsaustausch und Zusammenarbeit.....	12
6 Häufige Beeinflussungsquellen, die die Korrosion beeinflussen können.....	14
6.1 Allgemeines.....	14
6.2 Wechselstrom	14
6.2.1 Allgemeines.....	14
6.2.2 Starkstrom-Freileitungen und erdverlegte Starkstromleitungen.....	15
6.3 Gleichstrom	15
6.3.1 Allgemeines.....	15
6.3.2 Bahnanlagen.....	15
6.3.3 Industrieanlagen.....	15
6.4 Hochspannungsgleichstrom-Übertragungssysteme.....	16
6.5 Natürliche Beeinflussung.....	16
6.5.1 Allgemeines.....	16
6.5.2 Geomagnetische (tellurische) Beeinflussung.....	16
6.5.3 Auswirkungen der gezeitenbedingten Beeinflussung.....	17
7 Feststellung und Messung von Streustrombeeinflussung.....	17
7.1 Kurzbeschreibung.....	17
7.2 Art der Beeinflussung.....	18
7.2.1 Induktive und leitende Kopplung von ortsfernen Quellen	18
7.2.2 Leitende Kopplung von benachbarten Quellen.....	18
7.3 Messung elektrischer Parameter.....	19
7.3.1 Datenerfassungssysteme.....	19
7.3.2 Mögliche Fehler bei Wechselstrommessungen	19
7.3.3 Potentialmessung.....	19
7.3.4 Strommessung an Messproben.....	19
7.3.5 Messung des IR-freien Potentials an Probeblechen und Messproben	19
7.3.6 Dauer der Messung.....	20
7.3.7 Spezielle Anforderungen an Probebleche bzw. Messproben	20
7.4 Messung der Korrosionsgeschwindigkeit	21
8 Abnahmekriterien für die Beeinflussung durch Gleichstrom.....	21
8.1 Übersicht der Kriterien.....	21
8.2 Korrosionsgeschwindigkeit.....	22
8.3 Kriterien für Stahl und Gusseisen.....	23
8.3.1 Zeitlich konstante Beeinflussung.....	23
8.3.2 Zeitvariante Beeinflussung	24

8.4	Kriterien für Stahlrohre in Beton auf der Grundlage von Potentialmessungen ohne kathodischen Korrosionsschutz	25
8.4.1	Zeitlich konstante anodische Beeinflussung.....	25
8.4.2	Zeitvariante Beeinflussung.....	25
9	Verminderung der Streustrombeeinflussung durch Gleichstrom.....	26
9.1	Allgemeines	26
9.2	Änderungen an der Beeinflussungsquelle.....	26
9.2.1	Grundsätze.....	26
9.2.2	Gleichstromsysteme an Industriestandorten.....	26
9.2.3	Gleichstromsysteme in Häfen	26
9.2.4	Gleichstrom-Bahnanlagen.....	27
9.2.5	Kathodische Korrosionsschutzsysteme.....	28
9.2.6	Tellurische Beeinflussung.....	28
10	Änderungen an dem beeinflussten Objekt.....	29
10.1	Allgemeines	29
10.2	Planungsvoraussetzungen.....	29
10.2.1	Umhüllungen.....	29
10.2.2	Elektrische Trennung von anderen Objekten.....	30
10.2.3	Zu maximierender Abstand.....	30
10.2.4	Installation von Schutzeinrichtungen.....	30
10.2.5	Veränderung der elektrischen Längsleitfähigkeit des beeinflussten Objekts.....	31
11	Inspektion und Wartung.....	31
Anhang A (informativ)	Die Anwendung von Strommessproben zur Bewertung veränderlicher Streustrombeeinflussung an kathodisch geschützten Objekten.....	32
Anhang B (informativ)	Bestimmung der relevanten Position für die Anordnung von Bezugselektroden, Probestücken und Messproben im Fall einer leitenden Kopplung.....	35
B.1	Einleitung.....	35
B.2	Optimierte Beurteilung der Streustrombeeinflussung.....	39
Anhang C (informativ)	Funktionsprinzipien von ER-Proben.....	40
C.1	ER-Proben zur Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit.....	40
Anhang D (informativ)	Geomagnetische Beeinflussung	41
D.1	Einleitung.....	41
D.2	Rohrleitungsbezogene Modellierung.....	41
D.3	Beispiel einer Modellberechnung	45
Anhang E (informativ)	Beeinflussung durch Hochspannungsgleichstrom.....	51
E.1	Anschlussender.....	51
E.2	Beeinflussungsmessungen vor der Inbetriebnahme.....	51
E.3	Beeinflussungsmessungen nach der Inbetriebnahme.....	51
E.4	Schutzmaßnahmen.....	51
E.5	Umrichterstationen.....	52
Anhang F (informativ)	Beeinflussung durch Wechselstrom	53
F.1	Allgemeines	53
F.2	Berechnungen der LFI	53
Anhang G (informativ)	Gezeitenwirkungen	58
Anhang H (informativ)	Photovoltaische Beeinflussung.....	59
H.1	Photovoltaische Beeinflussung an erdverlegten Rohrleitungen (Definition).....	59
H.2	Photovoltaische Beeinflussung an erdverlegten Rohrleitungen (Allgemeines).....	59
H.3	Quelle von Gleichstrom-Ableitströmen.....	59
H.3.1	Übliche Betriebsbedingungen	59
H.3.2	Unentdeckte Störfallzustände	60

H.4	Photovoltaische Beeinflussung und Streustromkorrosion.....	60
H.5	Feststellung und Messung von Streustrombeeinflussung.....	60
H.6	Verminderung der Streustrombeeinflussung durch Gleichstrom.....	61
Anhang I (informativ) Modellierung der Auswirkungen von Streustrombeeinflussung an kathodisch geschützten Rohrleitungen.....		
I.1	Einleitung.....	62
I.2	Anforderungen im Vorfeld der Modellierung	62
I.3	Modellspezifikation	65
I.4	Methodik der Modellierung.....	65
I.5	Modellvalidierung	65
Anhang J (informativ) Beurteilung des Korrosionsrisikos bei Stahl in Beton oder bei kathodisch geschützten Objekten unter zeitvarianten Beeinflussungsbedingungen.....		
		66
Anhang K (informativ) Grundsätze der anodischen und kathodischen Beeinflussung.....		71
Literaturhinweise.....		74

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 21857:2019) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“ 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.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 21857:2019 wurde von CEN als prEN ISO 21857:2019 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (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 Themen 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-Direktiven, 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-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

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

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67, *Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries*, Unterkomitee SC 2, *Pipeline transportation systems* erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Das vorliegende Dokument wurde erarbeitet, um Leitlinien zur Vermeidung von äußerer Korrosion bereitzustellen, wenn sich eine elektrische Beeinflussung auf eine Rohrleitung auswirkt. Elektrische Beeinflussung kann durch Streuströme (definiert in ISO 8044) und durch geomagnetische oder Gezeitenaktivität hervorgerufene, natürlich auftretende Beeinflussung bedingt sein.

Normen zum kathodischen Korrosionsschutz (z. B. ISO 15589-1 und 15589-2) beziehen sich auf einen Wert des Objekt-Elektrolyt-Potentials, der als Hinweis dafür angesehen wird, dass der kathodische Korrosionsschutz wirksam ist. Wenn das Potential durch Streuströme beeinflusst wird, ist es jedoch nicht immer möglich, ein aussagekräftiges Objekt-Elektrolyt-Potential zu erhalten und andere Beurteilungsverfahren sind erforderlich. Zu diesen anderen Verfahren können die mathematische Analyse der Potentiale und/oder die direkte Beurteilung der Korrosionsgeschwindigkeit unter Einsatz von ER-Proben gehören.

Anwender dieses Dokuments sollten sich dessen bewusst sein, dass für einzelne Anwendungen weitere oder andere Anforderungen als die in diesem Dokument angeführten erforderlich sein können. Dieses Dokument ist nicht dafür vorgesehen zu verhindern, dass für einzelne Anwendungen alternative oder abweichende Analysen, Messverfahren oder Systeme zur Schadensbegrenzung angewendet werden. Wird eine Alternative angeboten, so ist vorgesehen, dass alle Abweichungen von diesem Dokument ermittelt und dokumentiert werden.

Dieses Dokument kann auch für Rohrleitungssysteme außerhalb der Erdöl-, petrochemischen und Erdgasindustrie angewendet werden

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die allgemeinen Grundsätze fest, die anzuwenden sind, um die durch Gleichstrom bedingte Streustromkorrosion an äußeren Oberflächen von erd- oder wasserverlegte Rohrleitungssystemen zu minimieren.

ISO 18086 stellt ausführliche Informationen zu den Auswirkungen von Wechselstrom auf erd- oder wasserverlegten Rohrleitungen bereit. Eine kurze Beschreibung der Auswirkungen von Wechselstrom ist in dem vorliegenden Dokument angeführt.

Das Dokument ist dafür vorgesehen, als Leitlinie zu dienen für:

- die Auslegung von kathodischen Korrosionsschutzsystemen, die Streuströme erzeugen können;
- die Auslegung von Rohrleitungssystemen oder Elementen von Rohrleitungssystemen, die in der Erde oder im Wasser zu verlegen sind und die möglicherweise Streustromkorrosion unterliegen;
- die Auswahl von geeigneten Schutz- oder Schadensbegrenzungsmaßnahmen.

Die Auswirkungen von durch Wechselstrom induzierte Spannungen werden im vorliegenden Dokument nicht ausführlich behandelt, weil sie in ISO 18086 enthalten sind. Allgemeine Grundsätze und Leitlinien sind jedoch angeführt.

Streustromkorrosion kann auch innerhalb von Systemen auftreten, die eine elektrisch leitfähige Elektrolytlösung enthalten, z. B. in der Nähe von Isolierstücken oder hochohmigen Rohrverbindungen in Rohrleitungen, die elektrisch leitfähige Fluide transportieren.

Risiken einer Innenkorrosion aufgrund von Streuströmen werden in diesem Dokument nicht ausführlich behandelt, die hier beschriebenen Grundsätze und Maßnahmen können jedoch zur Minimierung der Auswirkungen der Beeinflussung anwendbar sein.

Streuströme können auch andere Auswirkungen bedingen, wie z. B. Überhitzung. Diese anderen Auswirkungen sind nicht in diesem Dokument enthalten.

Wechselströme können Spannungen an oberirdischen Armaturen von Rohrleitungssystemen induzieren. Diese werden im vorliegenden Dokument nicht ausführlich behandelt. Sie werden in EN 50443, EN 61140, IEC 60364-4-41, IEC/TS 60479-1, IEC 60364-5-52, IEC/TS 61201 und IEC/TR 60479-5 behandelt. EN 50122-1 enthält eine Leitlinie zu Grenzwerten von Berührungsgleichspannungen.

Systeme, die von Streuströmen beeinträchtigt werden können, umfassen erd- oder wasserverlegte Metallobjekte, wie z. B.:

- a) Rohrleitungssysteme;
- b) Metallmantelkabel;
- c) Tanks und Gefäße;
- d) Erdungsanlagen;
- e) Stahlbewehrung in Beton;
- f) Stahlspundwand.

Dieses Dokument enthält Einzelheiten nur für Rohrleitungssysteme, obwohl die Grundsätze auf andere erdverlegte Objekte angewendet werden können. Die Normenreihe EN 50162 enthält zudem Leitlinien für bahnbezogene Objekte.

Ein betroffenes, Streuströme führendes Objekt, z. B. eine Rohrleitung oder ein Kabel, kann selber nahegelegene Objekte beeinträchtigen.

2 Normative Verweisungen

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

IEC 62128-2:2013, *Railway applications — Fixed installations — Part 2: Protective provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems*

ISO 15589-1:2001, *Cathodic protection of buried or immersed metallic structures — General principles and application for pipelines*

ISO 8044:2015, *Corrosion of metals and alloys — Basic terms and definitions*

EN 50122-2:2010, *Bahnanwendungen — Ortsfeste Anlagen — Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung — Teil 2: Schutzmaßnahmen gegen Streustromwirkungen durch Gleichstrombahnen*

EN 14505:2005, *Kathodischer Korrosionsschutz komplexer Anlagen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 15589-1, IEC 62128-2:2013, ISO 8044 und die folgenden Begriffe.

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

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Umhüllung

elektrisch isolierende Umhüllung, die auf einer Metalloberfläche haftet, zum Schutz gegen Korrosion durch Verhinderung eines Kontaktes zwischen der Elektrolytlösung und der Metalloberfläche

3.2

Bezugserde

theoretisches Konzept, das sich auf einen Erder mit der Impedanz null bezieht, der in einem unendlichen Abstand von der zu prüfenden Erde angeordnet ist

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Praxis ist die Bezugserde annähernd erreicht, wenn der gegenseitige Widerstand zwischen der zu prüfenden Erde und der Prüfelektrode vernachlässigbar wird. Üblicherweise wird davon ausgegangen, dass eine Bezugserde ein Potential von null hat. [IEEE Std 81-1983].

3.3

leitende Kopplung

tritt auf, wenn ein Teil des Stromes, der zu dem beeinflussenden System gehört, über das beeinflusste System zur Systemerde zurückfließt

Anmerkung 1 zum Begriff: Tritt auch auf, wenn die Spannung zur Bezugserde des Bodens in der Nähe des beeinflussten Gegenstandes wegen einer Störung im beeinflussenden System ansteigt und geführte Spannungen und Ströme verursacht

3.4

Streustromableitung

Ableitung eines Streustromes von der beeinflussten Anlage zu der Streustromquelle durch eine beabsichtigte Verbindung

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Vorrichtungen zur Streustromableitung siehe direkte Streustromableitung, gerichtete Streustromableitung und erzwungene Streustromableitung.

3.5

direkte Streustromableitung

Vorrichtung, die durch Herstellen einer direkten metallenen leitenden Verbindung zwischen einer beeinflussten Anlage und der Streustromquelle eine Streustromableitung erlaubt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verbindung kann einen in Reihe geschalteten Widerstand zur Strombegrenzung enthalten.

3.6

erzwungene Streustromableitung

Vorrichtung, die durch Herstellen einer metallenen leitenden Verbindung zwischen einer beeinflussten Anlage und der Streustromquelle eine Streustromableitung erlaubt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verbindung beinhaltet eine Gleichstromquelle zur Verstärkung der Streustromableitung.

3.7

gerichtete Streustromableitung

Vorrichtung, die durch Herstellen einer gerichteten metallenen leitenden Verbindung zwischen einer beeinflussten Anlage und der Streustromquelle eine Streustromableitung erlaubt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verbindung beinhaltet eine Vorrichtung, z. B. eine Diode, um sicherzustellen, dass der Strom nur in einer Richtung fließen kann.

3.8

tellurische Beeinflussung

durch Schwankungen des geomagnetischen Feldes erzeugte Spannungen, die Schwankungen in den beobachteten Rohr-Boden-Potentialen hervorrufen

3.9

ER-Probe

Metallverlust wird durch Vergleich des kalibrierten Widerstandwertes eines Metallstücks mit bekannten physikalischen Kennwerten gemessen

3.10

Abtastrate

vom Betreiber festgelegtes Messintervall

4 Abkürzungen und Symbole

a^{-1}	pro Jahr
A.C. (a.c.)	Wechselstrom
CP	kathodischer Korrosionsschutz
D.C. (d.c.)	Gleichstrom
E	Objekt/Boden-Potential bei nicht kathodisch geschützten Objekten
E_a	anodisches Potential
E_c	kathodisches Potential
$E_{IR-free}$	IR-freies (Sofort-Ausschalt-)Potential zwischen Objekt und Elektrolytlösung bzw. Boden bei kathodisch geschützten Objekten
E_{off}	Ausschaltpotential zwischen Objekt und Elektrolytlösung bzw. Boden bei kathodisch geschützten Objekten
E_{on}	Einschaltpotential zwischen Objekt und Elektrolytlösung bzw. Boden bei kathodisch geschützten Objekten
ΔE	Potentialdifferenz aufgrund des Betriebs/Nichtbetriebs der Störquelle
ΔE_a	Verschiebung des anodischen Potentials (einschließlich IR-Abfall)
$\Delta E_{a,avg}$	durchschnittliche Verschiebung des anodischen Potentials
$\Delta E_{a,IR free}$	Verschiebung des anodischen Potentials (ohne IR-Abfall)
ΔE_c	Verschiebung des kathodischen Potentials
$\Delta E_{c,avg}$	durchschnittliche Verschiebung des kathodischen Potentials
Δv_{corr}	Unterschied in der Korrosionsgeschwindigkeit aufgrund des Betriebs/Nichtbetriebs der Beeinflussungsquelle
$E_{IR-free}$	IR-freies Potential
E_{on}	Einschaltpotential
$E_{on,avg}$	durchschnittliches Einschaltpotential
E_p	Schutzpotential nach ISO 15589-1
E_{ref}	Bezugselektrodenpotential: $E_{on} - E_{ref} > 0 \Rightarrow$ anodische Beeinflussung, $E_{on} - E_{ref} < 0 \Rightarrow$ kathodische Beeinflussung
EMI	elektromagnetische Beeinflussung

ER probe	ER-Probe
GIC	geomagnetisch induzierte Ströme
HVAC	Hochspannungswechselstrom
HVDC	Hochspannungsgleichstrom
IR	Produkt aus Stromstärke und Widerstand (I und R), das den spannungsfallbedingten Fehler in einer Potentialmessung anzeigt
J_a	anodische Stromdichte
J_c	kathodische Stromdichte
J_{ref}	Referenzwert für die Stromdichte
PV	photovoltaisch
Q_a	anodische Ladung während der Dauer der anodischen Beeinflussung
Q_c	kathodische Ladung während der Dauer der kathodischen Beeinflussung
r.m.s.	Effektivwert
ρ	spezifischer Bodenwiderstand [$\Omega \cdot m$]
s	Sekunde (Zeiteinheit)
R_{iso}	Isolationswiderstand, üblicherweise einer Kabelisolierung
t	Zeit
T_a	Intervall, in dem das Objekt in Bezug auf den gewählten Wert von E_{ref} oder I_{ref} anodisch ist
$T_{a,max}$	Höchstdauer der anodischen Periode
T_c	Intervall, in dem das Objekt in Bezug auf den gewählten Wert von E_{ref} oder I_{ref} kathodisch ist

5 Informationsaustausch und Zusammenarbeit

Häufige Beeinflussungsquellen, die Streustromkorrosion verursachen können, sind in Abschnitt 6 angeführt. Während der Planungsphase von erd- oder wasserverlegten metallischen Rohrleitungssystemen muss die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass eine Beeinflussung durch Streuströme hervorgerufen wird oder ausgehalten werden muss. Es ist erforderlich, dass die in Abschnitt 8 erwähnten Kriterien eingehalten werden. Bauarbeiten, größere Veränderungen an bestehenden Objekten, Nutzbremmung (regenerative Bremsung) usw. können eine ausführliche Betrachtung der Beeinflussungssituation erfordern.

Elektrische Beeinflussungsprobleme an erd- oder wasserverlegten metallischen Rohrleitungssystemen müssen unter Beachtung der folgenden Punkte berücksichtigt werden:

- Der Betreiber des Rohrleitungssystems kann ein Objekt mit dem Verfahren vor Korrosion schützen, das er für das geeignetste hält. Elektrische Beeinflussungen benachbarter Objekte müssen jedoch innerhalb der in Abschnitt 8 festgelegten Grenzen gehalten werden.
- Streuströme, insbesondere von Gleichstrom-Bahnanlagen, stehen in direktem Zusammenhang mit der Auslegung der Rückleitungen. Das bedeutet, dass es möglich ist, den Streustrom durch die Auslegung zu begrenzen, jedoch nicht vollständig zu beseitigen.
- Wo weitere Objekte vorhanden sind, die beeinflusst werden können, gilt die Forderung nach Begrenzung der Beeinflussung innerhalb der festgelegten Grenzwerte für alle betroffenen Objekte.
- Photovoltaik-(PV)-Großanlagen können eine stationäre Beeinflussung durch Gleichstrom in benachbarten erdverlegten Rohrleitungen entwickeln. Es wird erwartet, dass der Betreiber der PV-Anlage den R_{iso} -Wert ständig überwacht, um den Isolationswiderstand zwischen den PV-Modulen und der Erde zu überprüfen. Der Betreiber der Rohrleitung sollte über alle Erdschlüsse informiert werden.
- Die Betriebsmerkmale von HVDC-Systemen können sich bei Störfallzuständen und unter Instandhaltungsbedingungen ändern. Die Änderungen können das Korrosionsrisiko von erdverlegten Rohrleitungen beeinflussen und derartige Änderungen sollten zeitnah dem Betreiber der Rohrleitung mitgeteilt werden.

Diese Ziele werden am besten erreicht durch Vereinbarung, Zusammenarbeit und Informationsaustausch zwischen allen beteiligten Parteien. Informationsaustausch und Zusammenarbeit sind wichtig und müssen sowohl während der Planungsphase als auch während des Betriebes der Anlagen erfolgen. Auf diese Weise können mögliche Auswirkungen, geeignete Vorkehrungen und Abhilfemaßnahmen beurteilt werden.

Die folgenden Informationen sind für eine aussagekräftige technische Beurteilung erforderlich:

- Einzelheiten von erdverlegten metallischen Objekten;
- kathodische Korrosionsschutzanlagen oder wesentliche Veränderungen an bestehenden Anlagen;
- Gleichstrom-Bahnanlagen oder wesentliche Veränderungen an bestehenden Anlagen;
- HVDC-Übertragungsanlage oder Veränderung an bestehenden Anlagen oder von Betriebsarten;
- Einzelheiten zu allen Quellen von Gleichstromanlagen, die Beeinflussungen von erdverlegten Rohrleitungen bewirken können;
- Photovoltaik-Großanlagen.

Vereinbarungen und Zusammenarbeit können durch regelmäßige Treffen der interessierten Parteien, von Ausschüssen oder anderen Verbänden, die Verfahren zum Informationsaustausch festlegen und entsprechende Protokolle erstellen können, wirksamer erreicht und beibehalten werden.

6 Häufige Beeinflussungsquellen, die die Korrosion beeinflussen können

6.1 Allgemeines

Gleichstromsysteme, die dazu führen können, dass Ströme in der Erde oder einem anderen Elektrolyten, ob absichtlich oder unabsichtlich, fließen, umfassen:

- Gleichstrom-Bahnanlagen;
- Freileitungen für Fahrzeuge;
- O-Bus-Netze;
- Gleichstrom-Versorgungssysteme;
- Gleichstromgeräte an Industriestandorten, z. B. Schweißgeräte;
- Gleichstrom-Kommunikationssysteme;
- kathodischen Korrosionsschutzsysteme;
- Hochspannungsgleichstrom-(HVDC-)Übertragungssysteme;
- Gleisstromkreis-Signalisierungssysteme. (In Bezug auf Streuströme von Bahnanlagen enthält IEC 62128-2 Anforderungen an die Minimierung der Erzeugung und die Auswirkungen innerhalb des Bahnsystems);
- photovoltaische Versorgungssysteme;
- Offshore-Windpark-Energieanlagen;
- geomagnetische Beeinflussung (tellurische Ströme);
- Gezeitenschwankungen.

Wechselstromsysteme, die Spannungen in erdverlegten Objekten induzieren können, umfassen:

- Freileitungen für die Übertragung von Drehstrom;
- erdverlegte Drehstromkabel;
- wechselstrombetriebene Bahnen.

6.2 Wechselstrom

6.2.1 Allgemeines

Wechselstrombetriebene Systeme können Beeinflussungen von Rohrleitungen aufgrund von induktiven, leitenden und kapazitiven Kopplungsmechanismen bedingen, die in EN 50443 beschrieben sind.

Es ist möglich, dass die sich aus der Beeinflussung des Rohres ergebende Spannung annehmbare Werte von Berührungsspannung und/oder Stromdichten überschreiten kann, was zu Korrosionsschäden an den freiliegenden Stahloberflächen führt.

Die Potentiale und Stromdichten, die zur Bestimmung des Korrosionsrisikos aufgrund einer Wechselstrombeeinflussung verwendet werden, sind ausführlich in ISO 18086 dargelegt.

In Anhang F (informativ) sind ergänzende Informationen und ein Verfahren zur Berechnung der induzierten Spannung in einem Rohrabschnitt angeführt.

6.2.2 Starkstrom-Freileitungen und erdverlegte Starkstromleitungen

6.2.2.1 Allgemeines

Starkstrom-Freileitungen können, hauptsächlich durch Induktion, unannehmable Spannungen an erdverlegten Rohrleitungen erzeugen. Die Induktion ist das Ergebnis einer magnetischen Kopplung. Die Größenordnung der induzierten Spannung hängt von dem Abstand, der Länge der Parallelität, der Größenordnung, der Frequenz und der Phasenbeziehung des induzierenden Stroms ab.

6.2.2.2 Erdverlegte Starkstromkabel

Erdverlegte Starkstromleitungen können auf die gleiche Weise wie Starkstrom-Freileitungen unannehmable Spannungen an erdverlegten Rohrleitungen erzeugen, hauptsächlich durch Induktion. Vorzugsweise werden erdverlegte Kabel mit den Phasenleitern dicht beieinander verlegt, wobei sie eine Dreiecksanordnung bilden. Dreiecksanordnung bezieht sich auf ein Verfahren der Anordnung der einzelnen Phasenleiter zur Verminderung der Netzinduktivität, weil die Phasen gegenphasig verlaufen und sich gegenseitig aufheben.

6.2.2.3 Bahnsysteme

Wechselstrom-Bahnsysteme können eine Beeinflussungsquelle sein. Wenn die Rohrleitung parallel zum Schienenstrang verläuft, ist die Kopplung vorwiegend induktiv. Die Schienen von wechselstrombetriebenen Bahnen sind geerdet, was auch zu einer leitenden Kopplung zu angrenzenden erdverlegten Objekten führen kann. Wechselstrom-Bahnen können bei 60 Hz, 50 Hz und 16,67 Hz betrieben werden. Bei der Bewertung der Risiken, die sich aus den Auswirkungen der elektromagnetischen Beeinflussung (EMI) erdverlegter Rohrleitungen, die in der Nähe von elektrifizierten Wechselstrom-Bahnanlagen verlaufen, ergeben, sollte die Oberschwingungsverzerrung berücksichtigt werden. Das Auftreten von Oberschwingungen kann die an erdverlegten Rohrleitungen auftretenden Spannungen verstärken [REF].

6.3 Gleichstrom

6.3.1 Allgemeines

Gleichstromquellen, die die Objekt-Elektrolyt-Potentiale an Rohrleitungen beeinflussen können, können entweder industrielle oder natürliche Quellen sein.

6.3.2 Bahnanlagen

Es gibt verschiedene Konfigurationen von Gleichstrom-Bahnanlagen, die am häufigsten verwendet werden. Sie unterscheiden sich im Allgemeinen in Bezug auf die Art und Weise, in der der Strom zu dem (den) Bahn-Unterwerk(en) rückgeführt wird. Unabhängig davon, welche Anlagenkonfiguration genutzt wird, gibt es einen bestimmten Strom, der über die Erde zurückgeführt wird. EN 50122-2 enthält eine Leitlinie zu zulässigen Grenzwerten.

6.3.3 Industrieanlagen

6.3.3.1 Allgemeines

Industrieanlagen, in denen Gleichstrom genutzt oder erzeugt wird, sollten mit Erdungsanlagen ausgestattet sein, die nicht auf lange Erdrückleiter angewiesen sind oder gezielt Fremdobjekte für Erdungszwecke nutzen.

6.3.3.2 Schweißen

Schweißstromrückleitungskreise sollten so konfiguriert sein, dass sichergestellt ist, dass die Rückföhrpfade so kurz wie möglich sind und das Risiko der Rückföhrung von Strömen über Fremdoobjekte nicht erhöhen.

6.3.3.3 Photovoltaische Beeinflussung an erdverlegten Rohrleitungen

Ableitströme in photovoltaischen (PV-)Systemen entstehen durch einen Fehler oder durch den systematischen und unvermeidlichen Gleichstromfluss, wenn ein Schaden der Kabelisolierung, PV-Module und andere Anlagenbauteile vorliegen. Unter bestimmten Bedingungen können die Gleichstrom-Ableitströme, wenn sie unüberwacht gelassen oder gar nicht erkannt werden, eine beschleunigte Streustromkorrosion an metallischer unterirdischer Infrastruktur hervorrufen, wie z. B. erdverlegten Rohrleitungen in der Nähe großer PV-Großanlagen.

6.4 Hochspannungsgleichstrom-Übertragungssysteme

Es gibt zwei hauptsächliche Konfigurationen von Hochspannungsgleichstrom-(HVDC-)Übertragungssystemen, monopolar und bipolar. Bipolare HVDC-Systeme sollten bevorzugt werden, um Streustrombeeinflussung zu vermeiden. Die Erdung von HVDC-Systemen muss so ausgelegt sein, dass vermieden wird, dass der Strom beim normalen Betrieb durch die Erde fließt, und dass bei fehlerhaften oder unsymmetrischen Lastbedingungen der Erdstrom minimiert wird.

Bei der gesamten Systemauslegung muss der mögliche hohe Streustromanteil berücksichtigt werden, dem erd- oder wasserverlegte Metalloobjekte auch in erheblichem Abstand von den Anschlusserdern von Umrichterstationen ausgesetzt sein können.

Erdverlegte HVAC- und HVDC-Kabel werden in Verbindungsschächten, die entlang der Kabelstrecke installiert sind, miteinander verbunden. Der Sicherheitsabstand zwischen Verbindungsschächten hängt von der Betriebsspannung des Kabels sowie Leitergröße und -aufbau ab. Nicht bei allen Verbindungsschächten befindet sich eine Erdung in der Nähe des Verbindungsschachts, die Kabelschirme werden jedoch in jedem Verbindungsschacht verbunden. Die Lage aller Erdungen sollte vom Kabelsystembetreiber mitgeteilt werden. Wenn ein Betreiber beschließt, eine Erdung an einen Verbindungsschacht zu installieren, sollte die Erdung in einem Abstand von erdverlegten Rohrleitungen installiert werden, der sicherstellt, dass die Berührungsspannung, die an einer Rohrleitung bei Störfallzuständen erzeugt wird, innerhalb sicherer Grenzen liegt. Wechselstrom- und Gleichstrom-Ableitströme durch Erdsysteme können auch zur Beeinflussung von erdverlegten Versorgungsleitungen führen und sollten minimiert werden.

6.5 Natürliche Beeinflussung

6.5.1 Allgemeines

Natürliche niederfrequente Beeinflussung wird durch Schwankungen des geomagnetischen Felds und durch zeitenbedingte Wasserbewegungen verursacht.

6.5.2 Geomagnetische (tellurische) Beeinflussung

Schwankungen des geomagnetischen Felds sind Schwankungen im Magnetfeld der Erde. Die Schwankungen des geomagnetischen Felds induzieren elektrische Ströme in der Erde und in langen Leitern, wie z. B. Rohrleitungen und Energieübertragungsleitungen. Diese induzierten Ströme werden im Allgemeinen als tellurische Ströme bezeichnet, wenn sie mit Rohrleitungen verbunden sind, und von der Elektrizitätswirtschaft als geomagnetisch induzierte Ströme (GIC). Beide Benennungen werden in der Literatur verwendet und um der derzeitigen praktischen Anwendung von Rohrleitungen zu entsprechen, wird im vorliegenden Dokument die Benennung tellurische Ströme verwendet. (Hinsichtlich ergänzender Informationen siehe Anhang D (informativ).)

6.5.3 Auswirkungen der gezeitenbedingten Beeinflussung

Die Bewegung von leitfähigem Meerwasser durch das Erdmagnetfeld wirkt wie ein Dynamo und erzeugt im Meerwasser ein elektrisches Feld. Dieses treibt einen elektrischen Strom (einen Ladungsfluss) im Meerwasser senkrecht zur Bewegungsrichtung des Wassers. Wo dieser elektrische Strom auf das Land trifft, bildet sich eine elektrische Ladung, die einen Potentialgradienten sowohl entlang des Meeresbodens als auch im Landesinneren senkrecht zur Küste erzeugt. (Hinsichtlich ergänzender Informationen siehe Anhang G (informativ).)

7 Feststellung und Messung von Streustrombeeinflussung

7.1 Kurzbeschreibung

Die Beurteilung der Streustrombeeinflussung muss auf der Grundlage von Messung und Vergleich der beurteilten Daten mit in dem entsprechenden Abschnitt festgelegten Kriterien erfolgen. Vor der Messung der Beeinflussung sind die folgenden Aspekte zu klären und zu berücksichtigen:

- Art der Kopplung der Beeinflussung (Wechsel- und/oder Gleichstrom);
- relative Position zur Streustromquelle (ortsfern oder benachbart);
- die Dauer der anodischen Abweichung (T_a)
- Zeitabhängigkeit der Amplitude von $E_a - E_c$ sowie $J_a - J_c$ (Beeinflussungsamplitude ist konstant oder sich jahreszeitlich bedingt ändernd bei konstanter T_a)

Die Messung erfordert die Bestimmung von:

- der korrekten Position der Bezugselektrode und/oder von Probestücken (hinsichtlich einer Anleitung siehe Anhang B);
- Konfiguration des Probestücks oder der Messprobe (Größe und Form);
- Anschluss von Probestück oder Messprobe an die Rohrleitung;
- Abtastfrequenz des Messsystems;
- Dauer der Messung (siehe 7.3.6);
- Ein-/Aus-Schaltverhältnis.

Die Beurteilung der Beeinflussung kann auf mehreren unterschiedlichen Parametern beruhen:

- Objektpotentiale, gemessen gegen eine Bezugselektrode, die an einer repräsentativen Stelle angeordnet ist;
- Strom, der durch ein Probestück oder eine Messprobe fließt, das/die an einer repräsentativen Stelle angeordnet ist;
- Messung des IR-freien Potentials eines Probestücks oder einer Messprobe, das/die an einer repräsentativen Stelle angeordnet ist;
- Spannung zwischen zwei Bezugselektroden, die an einer repräsentativen Stelle angeordnet sind;
- Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit an einem Probestück oder einer Messprobe, das/die an einer repräsentativen Stelle angeordnet ist.

Eine Beschreibung der repräsentativen Stelle für die Bestimmung der relevanten Position für eine einfache Situation ist in Anhang B (informativ) für den Fall einer leitenden Kopplung angeführt.

In Anhang C (informativ) sind Informationen zu den Funktionsprinzipien der ER-Probe enthalten.

7.2 Art der Beeinflussung

7.2.1 Induktive und leitende Kopplung von ortsfernen Quellen

Beurteilung des ungünstigsten Falles der Beeinflussung im Fall einer induktiven Kopplung und einer leitenden Fernkopplung wird erhalten, wenn die Bezugselektrode bei der Bezugserde angeordnet wird. Das Verfahren zur Bestimmung der Bezugserde (fernen Erde) ist in ISO 18086:2015, Anhang G, beschrieben. Da die induktive Kopplung üblicherweise mit einer hohen Isolationsqualität des beeinflussten Objekts verbunden ist, darf die Anordnung der Bezugselektrode oberhalb des beeinflussten Objekts als Annäherung der Bezugserde genutzt werden.

In einer derartigen Konfiguration sollte die Messprobe idealerweise neben der Rohrleitung im gleichen Bettungsmaterial wie die Rohrleitung installiert werden, ohne dass Feldgradienten durch Umhüllungsbeschädigungen der Rohrleitung entstehen.

7.2.2 Leitende Kopplung von benachbarten Quellen

Im Fall einer leitenden Kopplung ist die Korrosionswirkung des Streustroms ein Ergebnis der Änderung des Bodenpotentials aufgrund des durch die Streustromquelle erzeugten elektrischen Feldes. Deshalb muss die Bezugselektrode oder die Messprobe unter Beachtung der ungünstigsten Situationen im elektrischen Feld angeordnet werden. In Bezug auf weiterführende Informationen zur Beurteilung der ungünstigsten Bedingungen im Fall einer leitenden Kopplung siehe Anhang B. Der kleinste Abstand der Rohrleitung zur Beeinflussungsquelle stellt im Fall einer leitenden Kopplung den Abschnitt der Rohrleitung mit dem größten Beeinflussungsgrad dar. Deshalb muss die Bezugselektrode, das Probeblech oder die Messprobe einen Abstand zur Beeinflussungsquelle aufweisen, der diesem kleinsten Abstand entspricht. Für spezifische Bedingungen ist dieser ungünstigste Fall wie folgt gegeben:

- Rohrleitung parallel zur Schiene: die Bezugselektrode muss oberhalb der Rohrleitung angeordnet werden;
- Kreuzung einer Rohrleitung mit einer Schiene: die Bezugselektrode muss oberhalb der Rohrleitung in einem Abstand zur Außenschiene angeordnet werden, der dem kleinsten Abstand zwischen Schiene und Rohrleitung entspricht;
- Rohrleitung innerhalb des Gradienten der Anodenanlage: die Bezugselektrode muss oberhalb der Rohrleitung an der Stelle mit dem kleinsten Abstand zwischen Rohrleitung und Anode angeordnet werden.

Es gibt Fälle, in denen es nicht möglich ist, die Bezugselektrode, das Probeblech oder die Messprobe an der entsprechenden, vorstehend beschriebenen Stelle anzuordnen. In diesen Fällen muss die elektrische Feldverteilung durch Messung oder Berechnung beurteilt werden. Der erwartete Beeinflussungsgrad an der relevanten Position wird dann auf der Grundlage der elektrischen Feldverteilung auf die Position mit dem kleinsten Abstand zwischen Rohrleitung und Beeinflussungsquelle extrapoliert.

7.3 Messung elektrischer Parameter

7.3.1 Datenerfassungssysteme

Abtastraten bei Potential-, Spannungs- und Strommessungen liegen für zeitvariante Werte üblicherweise zwischen 0,1 s und 5 s. Abtastraten müssen so gewählt werden, dass sie eine genaue Messung des zu untersuchenden Signals und der zu untersuchenden Erscheinungen ermöglichen. Ein-/Aus-Schaltmessungen an Probeblechen können zum Beispiel hohe Schaltfrequenzen und Abtastraten erfordern. Im Fall einer zeitvarianten Beeinflussung durch Gleichstrom, wie z. B. Gezeitenstrom oder tellurischer Strom, können längere Zeiträume zwischen den Messungen verwendet werden. Das Datenerfassungssystem muss für Spannungsmessungen über eine Eingangsimpedanz von mindestens 10 M Ω verfügen.

7.3.2 Mögliche Fehler bei Wechselstrommessungen

ISO 18086 fordert gemessene Effektivwerte des Potentials als Teil des Prozesses der Risikobeurteilung. Effektivwerte werden möglicherweise mit einigen digitalen Spannungsmessgeräten nicht korrekt gemessen, wenn die Wechselstromwellenform nicht sinusförmig ist. Nicht sinusförmige Wellenformen können auftreten, wenn die Last nicht linear (d. h. keine vorwiegend ohmsche Last) ist. Zu nicht linearen Lasten können Lasten mit induktiven oder kapazitiven Komponenten, z. B. Schaltnetzteile, Öfen, Industrieanlagen, gehören.

Die bei nicht linearer Last erzeugten Oberschwingungen verzerren die Wellenform und Oberschwingungen dritter Ordnung (3., 6., 9. usw.) erhöhen signifikant die Scheitelspannung.

Zur korrekten Messung des Effektivwertes des Potentials müssen digitale Spannungsmessgeräte mit Echt-Effektivwert-Funktion verwendet werden.

7.3.3 Potentialmessung

Die Messungen des Rohrleitungspotentials müssen durchgeführt werden, indem ein Datenerfassungsgerät an die Rohrleitung und eine Bezugselektrode angeschlossen wird. Die Anordnung der Bezugselektrode hängt von der Art der Beeinflussung ab und ist in 5.2 beschrieben.

Wenn kein direkter Anschluss an die beeinflusste Rohrleitung möglich ist, darf die Messung in Bezug auf die Bezugserde durchgeführt werden. In diesem Fall wird anstelle des Rohrleitungsanschlusses eine Bezugselektrode an der Bezugserde an das Datenerfassungsgerät angeschlossen.

7.3.4 Strommessung an Messproben

Zur Vermeidung von Messfehlern darf die Strommessung nicht zu einem Spannungsfall von mehr als 10 mV führen. Ein typischer Wert für den Nebenwiderstand ist 10 Ω . Zur Messung von Stromstärken größer als 1 mA können Nebenwiderstände mit niedrigeren Werten notwendig sein.

7.3.5 Messung des IR-freien Potentials an Probeblechen und Messproben

Alle Messfehler von IR-Abfällen müssen durch Berechnung oder Messung auf ein Mindestmaß verringert werden. Bei einer leitenden Kopplung müssen die ohmschen Spannungsfälle in der Erde berücksichtigt werden. Mögliche Verfahren umfassen mindestens einen der folgenden Punkte oder eine Kombination davon:

- dauerhafte oder vorübergehende Anordnung der Bezugselektrode in der Nähe der Oberfläche von Probeblech oder Messprobe;
- Unterbrechung des Schutzstroms durch das Probeblech/die Messprobe;
- Vornehmen von Ablesungen, wenn die Beeinflussungsquelle außer Betrieb ist;
- Berechnung des durch den Schutzstrom verursachten IR-Abfalls;
- Berechnung des durch die Beeinflussungsquelle verursachten IR-Abfalls.

7.3.6 Dauer der Messung

Die Datenerfassung ist über eine repräsentative Zeitdauer durchzuführen. Die folgenden Aspekte müssen berücksichtigt werden:

- Im Fall einer konstanten Beeinflussung entspricht das mindestens drei Zyklen mit ein- und ausgeschalteter Beeinflussungsquelle.
- Im Fall einer zeitvarianten Beeinflussung durch nach Zeitplan betriebene Bahnanlagen sollte die erste Messung für mindestens 24 h erfolgen. Aus diesen Daten können die Zeiträume der größten und kleinsten Beeinflussung bestimmt werden. Nachfolgende Messungen können über eine kürzere Dauer im Zeitraum der höchsten Beeinflussung durchgeführt werden.
- Im Fall einer zeitvarianten Beeinflussung mit unbekannten Betriebsmerkmalen sollte die Messung über einen Zeitraum von mindestens 24 h unter Einschluss des Zeitraums der größten und kleinsten Beeinflussung durchgeführt werden.

Im Fall einer bekannten und dokumentierten Beeinflussungshäufigkeit können kürzere Aufzeichnungszeiträume angewendet werden.

Wenn die Amplitude der Beeinflussung zeitlich nicht konstant ist, muss der Zeitraum der voraussichtlich höchsten Beeinflussung in die Beurteilung der Streustrombeeinflussung einbezogen werden. Das darf auf der Grundlage einer numerischen Berechnung oder einer langfristigen Datenaufzeichnung erfolgen.

7.3.7 Spezielle Anforderungen an Probebleche bzw. Messproben

Im Fall einer Beeinflussung durch Wechselstrom ist nach ISO 18086 die Verwendung eines Probeblechs mit einer Fläche von 1 cm^2 erforderlich. Das ist darauf zurückzuführen, dass kleinere Metalloberflächen zu höheren Stromdichten führen und daher schwierigere Beeinflussungsbedingungen darstellen. Gleichermaßen können Probebleche von 1 cm^2 auch für die Beeinflussung durch Gleichstrom verwendet werden.

Der Stromfluss durch eine Messprobe hängt von dem Ausbreitungswiderstand ab. Bei erdverlegten Rohrleitungen hängt der Ausbreitungswiderstand vom spezifischen Bodenwiderstand sowie der Änderung der Bodenzusammensetzung ab, weil der Strom durch die Stahloberfläche fließt. Das Probeblech muss vor der Messung polarisiert werden, bis sich das IR-freie Potential stabilisiert hat. Das ermöglicht die Bildung repräsentativer Bedingungen.

Möglicherweise kann die Messprobe nicht im ursprünglichen Boden installiert werden. In diesem Fall kann ein dokumentierter (d. h. bezüglich der chemischen Eigenschaften) Ersatzboden gewählt werden, der die ungünstigsten Bedingungen repräsentiert.

Die ungünstigsten Bedingungen im Fall einer Streustrombeeinflussung sind:

- geringerer spezifischer Bodenwiderstand;
- geringere Belüftung;
- geringere Gesamthärte (idealerweise $< 1,3\text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$);
- höheres Wasserrückhaltevermögen.

Diese Parameter stellen eine höhere anodische Ladung sicher und erhöhen folglich das Korrosionsrisiko aufgrund von Streustrombeeinflussung.

7.4 Messung der Korrosionsgeschwindigkeit

Abnahmekriterien für die Beeinflussung durch Gleichstrom können entweder auf der direkten Messung der Korrosionsgeschwindigkeit (siehe 6.1) oder allgemeinen elektrischen Parametern (siehe 6.2) oder einer Kombination aus beiden beruhen.

Die Messung der Geschwindigkeit der äußeren Korrosion ist ein unmittelbarer Beweis der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes. Im Fall einer Messprobe oder eines Probebleches ist die Anordnung an der repräsentativen Stelle, wie in 7.2.2 beschrieben, erforderlich.

8 Abnahmekriterien für die Beeinflussung durch Gleichstrom

8.1 Übersicht der Kriterien

Eine Übersicht der für die Beurteilung des Risikos einer Streustromkorrosion relevanten Kriterien ist in Tabelle 1 enthalten. Der Grad der Streustrombeeinflussung gilt als annehmbar, wenn die in Tabelle 1 angeführten Kriterien eingehalten werden.

Tabelle 1 — Übersicht der Kriterien für die Beurteilung der Streustrombeeinflussung

	Nicht kathodisch geschützt	Kathodisch geschützt
Objekte aus Stahl und Gusseisen		
Anodische Beeinflussung Zeitlich konstant	Verschiebung des anodischen Potentials ΔE_a (einschließlich IR-Abfall) $\Delta E_a \leq 300 \text{ mV}$ ($\rho > 200 \Omega \cdot \text{m}$) oder $\Delta E_a \leq 1,5 \text{ mV}(\Omega \cdot \text{m})^{-1} \cdot \rho$ ($15 \Omega \cdot \text{m} \leq \rho \leq 200 \Omega \cdot \text{m}$) oder $\Delta E_a \leq 20 \text{ mV}$ ($\rho < 15 \Omega \cdot \text{m}$) oder Verschiebung des anodischen Potentials $\Delta E_{a, \text{IR-free}}$ (ohne IR-Abfall) $\Delta E_{a, \text{IR-free}} \leq 20 \text{ mV}$ Siehe 8.3.1.1.1	IR-freies Potential $E_{\text{IR-free}}$: $E_{\text{IR-free}} \leq E_p$ (E_p = Schutzpotential nach ISO 15589-1) Siehe 8.3.1.1.3
Kathodische Beeinflussung Zeitlich konstant	Verschiebung des kathodischen Potentials ΔE_c : $\Delta E_c \leq 500 \text{ mV}$ (einschließlich IR-Abfall) Siehe 8.3.1.2	

	Nicht kathodisch geschützt	Kathodisch geschützt
Anodische/kathodische Beeinflussung	durchschnittliche Verschiebung des anodischen Potentials $\Delta E_{a,avg}$:	IR-freies Potential $E_{IR-free}$:
Zeitvariant	$\Delta E_{a,avg} \leq \Delta E_a$ Siehe 8.3.2.2.1	$E_{IR-free} \leq E_p$ (E_p = Schutzpotential nach ISO 15589-1) Verschiebung von $E_{on,avg}$: $E_{on,avg} \leq E_{ref} - \Delta E_{a,avg}$ Siehe 8.3.2.2.2 ^a
	durchschnittliche Verschiebung des kathodischen Potentials $\Delta E_{c,avg}$: $\Delta E_{c,avg} \leq 500 \text{ mV}$ (einschließlich IR-Abfall) Siehe 8.3.2.2.3	
Alle Bedingungen	Bemessungswert der Korrosionsgeschwindigkeit Siehe 8.1	$v_{corr} \leq 0,01 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ Siehe 8.1
Stahl in Beton ohne kathodischen Korrosionsschutz		
Anodische Beeinflussung	Verschiebung des anodischen Potentials ΔE_a : $\Delta E_a \leq 200 \text{ mV}$	
Zeitlich konstant	Siehe 8.4.1	
^a Weiterführende Informationen können Anhang J entnommen werden.		

8.2 Korrosionsgeschwindigkeit

Nach ISO 15589-1 ist das Rohrleitungs-Elektrolyt-Potential, bei dem die Korrosionsgeschwindigkeit für Kohlenstoffstahl und Gusseisen weniger als $0,01 \text{ mm pro Jahr}$ ($10 \mu\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$) beträgt, das Schutzpotential E_p . Diese Korrosionsgeschwindigkeit ist ausreichend gering, sodass die Korrosion über die gesamte Auslegungslbensdauer üblicherweise annehmbar ist. Das Kriterium für die Korrosionsgeschwindigkeit ist deshalb:

$$V_{corr} \leq 0,01 \text{ Mikron pro Jahr } (10 \mu\text{m} \cdot \text{a}^{-1})$$

Es ist möglich, dass diese Korrosionsgeschwindigkeit unter bestimmten Beeinflussungsbedingungen nicht immer eingehalten werden kann und deshalb muss eine anerkannte Korrosionsgeschwindigkeit (Auslegungswert) für eine vorgegebene Auslegungslbensdauer in Betracht gezogen werden. Die anerkannte Korrosionsgeschwindigkeit muss begründet und von allen interessierten Parteien anerkannt werden.

Bei nicht kathodisch geschützten Rohrleitungen liegt kein aktiver Korrosionsschutz vor und die anerkannte Korrosionsgeschwindigkeit muss die bei der Auslegung der Rohrleitung verwendete Korrosionsgeschwindigkeit sein.

Bei Rohrleitungen, die kathodisch geschützt und einer äußeren elektrischen Beeinflussung durch Wechselstrom ausgesetzt sind, enthält ISO 18086 Hinweise zu den Korrosionsrisiken, die mit einer elektrischen Beeinflussung durch Wechselstrom und die Kombination von Wechsel- und Gleichstrom verbunden sind.

Diese Werte können nach Anhang B (informativ) gemessen werden.

8.3 Kriterien für Stahl und Gusseisen

8.3.1 Zeitlich konstante Beeinflussung

8.3.1.1 Anodische Beeinflussung

8.3.1.1.1 Allgemeines

Die zutreffende anodische Beeinflussung wird anhand der Verschiebung des anodischen Potentials ΔE_a bewertet, wenn die Beeinflussungsquelle in und außer Betrieb ist.

8.3.1.1.2 Nicht kathodisch geschützte Objekte:

Die anodische Beeinflussung gilt als annehmbar, wenn die Kriterien nach Tabelle 2 eingehalten werden:

Tabelle 2 — Annehmbare Verschiebungen des anodischen Potentials ΔE_a für erd- oder wasserverlegte Objekte aus Stahl oder Gusseisen, die nicht kathodisch geschützt sind

Spezifischer Widerstand des Elektrolyts ($\Omega \cdot m$)	Maximale Verschiebung des anodischen Potentials ΔE_a (mV) (einschließlich IR-Abfall)	Maximale Verschiebung des anodischen Potentials $\Delta E_{a,IR-free}$ (mV) (ohne IR-Abfall)
≥ 200	300	20
15 bis 200	$1,5 \text{ mV}(\Omega \cdot m)^{-1} \cdot \rho^*$	20
< 15	20	20
* ρ in $\Omega \cdot m$		

8.3.1.1.3 Kathodisch geschützte Objekte:

Die anodische Beeinflussung gilt als annehmbar, wenn das IR-freie Potential des Objekts, $E_{IR-free}$, die in ISO 15589-1 angeführten Kriterien für das Schutzpotential, E_p , einhält.

8.3.1.2 Kathodische Beeinflussung

Verschiebungen des kathodischen Potentials, ΔE_c , aufgrund kathodischer Beeinflussung bestimmter Teile eines Objekts lassen darauf schließen, dass andere Teile vorhanden sind, die einer anodischen Beeinflussung unterliegen, d. h. einer Verschiebung des anodischen Potentials ΔE_a . Wenn sehr negative Verschiebungen des Potentials (z. B. $\Delta E_c > 500 \text{ mV}$, einschließlich IR-Abfall) gemessen werden, wird empfohlen, Bereiche mit Verschiebungen des anodischen Potentials zu ermitteln, um die Einhaltung der in 8.3.1.1.1 und 8.3.1.1.2 angeführten Kriterien zu bestätigen.

Während der betriebsfreien Dauer des beeinflussenden Systems aufgezeichnete Werte müssen als die normalen oder unbeeinflussten Potentiale berücksichtigt werden.

8.3.2 Zeitvariante Beeinflussung

8.3.2.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt behandelt die zeitvariante Beeinflussung, z. B. aufgrund von gleichstrombetriebenen Bahnen, tellurischen Strömen und Gezeitenwirkungen.

Es wird davon ausgegangen, dass die zeitlichen (t) Schwankungen des Beeinflussungssignals, z. B. $E(t)$ oder $E_{on}(t)$, aus aufeinanderfolgenden Intervallen mit anodischer, $E_a(t)$, und kathodischer, $E_c(t)$, Polarisation bestehen. Die Benennungen „anodisch“ und „kathodisch“ sind in Bezug auf einen ausgewählten Bezugswert (siehe Anhang J) festgelegt. Das Beeinflussungssignal wird über einen repräsentativen Zeitraum überwacht.

$E(t)$ oder $E_{on}(t)$ werden mit der nach Anhang B angeordneten Bezugselektrode und ohne in der Nähe angeordnetem Probestück gemessen.

Bei installierten Probestücken beruht die Beurteilung auf der Messung der Stromstärke am Probestück (I), aus der die Stromdichte (J) berechnet wird. Anodische und kathodische Stromdichten, die auf eine zeitvariante Beeinflussung zurückzuführen sind, sind in Bezug auf einen ausgewählten Bezugswert J_{ref} (siehe Anhang J) festgelegt.

8.3.2.2 Zeitvariante anodische Beeinflussung

8.3.2.2.1 Nicht kathodisch geschützte Objekte:

Die durchschnittliche anodische Beeinflussung, $\Delta E_{a,avg}$, wird anhand einer repräsentativen Messung von $E(t)$ beurteilt, die die Intervalle aufzeigt, in denen die Beeinflussungsquelle in und außer Betrieb ist.

Ein Bezugselektrodenpotential E_{ref} wird anhand des Intervalls bewertet, in dem die Beeinflussungsquelle außer Betrieb ist, z. B. nachts.

Intervalle von anodischer Beeinflussung werden aus $E_a(t) = E(t) - E_{ref} > 0$ ermittelt, was über ein repräsentatives Zeitintervall gemessen wurde (siehe 7.3.6). Die durchschnittliche Verschiebung des anodischen Potentials, $\Delta E_{a,avg}$, wird anhand des Durchschnittswertes von $E_a(t)$ über das repräsentative Zeitintervall bewertet.

Die anodische Beeinflussung gilt als annehmbar, wenn $\Delta E_{a,avg}$ innerhalb der für ΔE_a festgelegten Grenzen liegt (siehe 8.3.1.1.1).

8.3.2.2.2 Kathodisch geschützte Objekte:

Die vier Verfahren, die zur Bestimmung, ob die zeitvariante Beeinflussung annehmbar ist, angewendet werden können, sind:

- a) Die zeitvariante Beeinflussung gilt als annehmbar, wenn das IR-freie Potential des Objekts, E_{IRfree} , innerhalb der in ISO 15589-1 angeführten Grenzen für das Schutzpotential, E_p , liegt. Das IR-freie Potential kann unter Verwendung von Probestücken gemessen werden.

- b) Das Bezugs-Einschaltpotential E_{ref} bei dem ein wirksamer CP nach ISO 15589-1 gerade erreicht wird, wird während des Zeitraums ohne Beeinflussung (z. B. nachts ohne Zugbetrieb) bestimmt. Anschließend wird die durchschnittliche Verschiebung des anodischen Potentials $\Delta E_{a,avg}$ über einen repräsentativen Zeitraum, üblicherweise 24 h, bestimmt, wobei sich das CP-System im Dauerbetrieb befindet (kein Schalten der Gleichrichter). Ein ausreichendes Ausmaß an kathodischem Korrosionsschutz ist sichergestellt, wenn die folgende Gleichung erfüllt ist:

$$E_{on,avg} \leq E_{ref} - \Delta E_{a,avg}$$

(diese Methodik beruht auf der Beurteilung der Beeinflussung der Bahnanlage, wobei das größte Intervall $T_{a,max}$ der anodischen Abweichung 250 s nicht überschreitet.)

- c) Anhang J (informativ) enthält Einzelheiten zum Q-Verfahren, bei dem das Verhältnis zwischen der anodischen und kathodischen Ladung genutzt wird um zu bestimmen, ob der Grad der Beeinflussung annehmbar ist. Diese Bewertung ist konservativer im Vergleich zu (b) für $T_{a,max}$ größer als 250 s und weniger konservativ für $T_{a,max}$ kleiner als 250 s.
- d) Anhang A (informativ) enthält Einzelheiten eines alternativen Verfahrens. Dieses Verfahren ist konservativer als b) oder c).

8.3.2.2.3 Zeitvariante kathodische Beeinflussung

Eine zeitvariante kathodische Beeinflussung kann zum Beispiel von den Anoden von potentialgesteuerten kathodischen Schutzgleichrichtern erwartet werden. Analog zu $\Delta E_{a,avg}$ (siehe 8.3.2.2.1) müssen die durchschnittlichen Verschiebungen des kathodischen Potentials, $\Delta E_{c,avg}$, anhand einer Aufzeichnung des Potentials E (nicht kathodisch geschützte Objekte) oder E_{on} (kathodisch geschützte Objekte) bewertet werden. Wenn die Bewertung sehr negative Verschiebungen des Potentials (z. B. $\Delta E_{c,avg} > 500$ mV, einschließlich IR-Abfall) liefert, wird empfohlen, Bereiche mit Verschiebungen des anodischen Potentials zu ermitteln, um die Einhaltung der in 8.3.1.1.1 und 8.3.1.1.2 angeführten Kriterien zu bestätigen.

8.4 Kriterien für Stahlrohre in Beton auf der Grundlage von Potentialmessungen ohne kathodischen Korrosionsschutz

8.4.1 Zeitlich konstante anodische Beeinflussung

Die zutreffende anodische Beeinflussung wird anhand der Verschiebung des Potentials ΔE_a bewertet, wenn die Beeinflussungsquelle in und außer Betrieb ist.

Die anodische Beeinflussung gilt als annehmbar, wenn $\Delta E_a < 200$ mV.

8.4.2 Zeitvariante Beeinflussung

Analog zu 8.3.2.2.1 wird die zutreffende anodische Beeinflussung anhand der durchschnittlichen Verschiebung des Potentials $\Delta E_{a,avg}$ bewertet, wenn die Beeinflussungsquelle in und außer Betrieb ist. Die anodische Beeinflussung gilt als annehmbar, wenn $\Delta E_{a,avg} < 200$ mV.

9 Verminderung der Streustrombeeinflussung durch Gleichstrom

9.1 Allgemeines

Maßnahmen zur Minimierung der Auswirkungen von Streustrombeeinflussungen sollten mit der Beeinflussungsquelle beginnen. Wenn dies unpraktisch oder unwirksam ist, sollte die Aufmerksamkeit auf das beeinflusste Objekt gerichtet werden. In einigen Fällen ist es möglicherweise notwendig, an beiden Stellen Maßnahmen zur Minderung der Beeinflussung einzuführen, um einen annehmbaren Beeinflussungsgrad zu erreichen.

Es ist möglich, dass die Beeinflussungsquelle von einem Objekt stammt, das selbst beeinflusst wird. Das ist als sekundäre Beeinflussung bekannt. Wenn eine sekundäre Beeinflussung vorliegt, wird empfohlen, zuerst die ursprüngliche Beeinflussungsquelle zu ändern. Möglicherweise ist die Quelle der sekundären Beeinflussung zu ändern, wenn es nicht möglich ist, die ursprüngliche Quelle zu ändern. Das ist in Anhang K (informativ) veranschaulicht.

9.2 Änderungen an der Beeinflussungsquelle

9.2.1 Grundsätze

Unter üblichen Betriebsbedingungen darf die Erde nicht zum Führen von Gleichströmen genutzt werden. Ausnahmen von diesem Grundsatz sind:

- kathodische Korrosionsschutzsysteme;
- Gleichstrom-Bahnanlagen (innerhalb der in EN 50122-2 angeführten Grenzen).

Objekte, die eine Beeinflussungsquelle sind, dürfen nicht mit fremden erd- oder wasserverlegten Metallobjekten verbunden werden, es sei denn, es ist aus Sicherheitsgründen oder zum Schutz gegen Streustromkorrosion notwendig.

9.2.2 Gleichstromsysteme an Industriestandorten

Alle Leiter von Gleichstromsystemen (wie z. B. Gleichstrom-Versorgungssysteme und Gleichstrom-Schweißgeräte) sollten gegen Erde isoliert sein. Wenn aus bestimmten Gründen (z. B. für die Sicherheit des Personals) eine Erdung oder ein Potentialausgleich notwendig ist, muss besonders darauf geachtet werden, Streuströme zu vermeiden, z. B. Erdung nur an einem Punkt.

Der Schweißstromkreis muss so kurz wie möglich sein. Geerdete Metallobjekte, wie z. B. Bahn- oder Kranschienen, oberirdische Rohrkreuzungen oder erdverlegte Rohrleitungen, dürfen nicht zum Führen von Strom verwendet werden.

9.2.3 Gleichstromsysteme in Häfen

9.2.3.1 Krane

Neue Krananlagen in Häfen sollten für Wechselstrombetrieb ausgelegt sein, wobei für den Betrieb des Kranes benötigter Gleichstrom lokal am Ort der Verwendung erzeugt wird. Jeder Leiter, der Gleichstrom führt, sollte gegen Erde isoliert sein.

Wenn ein Gleichstrom-Kransystem nicht ohne Erdanschluss betrieben werden kann, wie im Falle einer bestehenden Anlage, müssen besondere Maßnahmen getroffen werden, um Streuströme zu vermeiden, z. B. durch Installation eines isolierten Rückleiters.

9.2.3.2 Gleichstrom-Schweißstationen am Kai

Jedes Schiff muss durch eine oder mehrere unabhängige Schweißstationen am Kai versorgt werden. Eine einzelne Gleichstrom-Schweißanlage, die verschiedene Schiffe versorgt, kann eine Quelle von Streuströmen zwischen den Schiffen sein, was zu schweren Korrosionsschäden an Dalben oder Fendern führt, da die Streustrombeeinflussung durch die Potentialausgleichsverbindungen zwischen den Schiffen nicht wesentlich vermindert wird. Rohrleitungen können auf ähnliche Weise beeinflusst werden.

9.2.3.3 Gleichstromversorgung von Schiffen

Gleichstrom-Versorgungssysteme auf Schiffen, die über eine vollständige Isolierung gegen Erde und Erdschluss-Schutzrelais verfügen, dürfen mit Gleichstrom vom Land versorgt werden.

Wenn ein Gleichstrom-Versorgungssystem auf einem Schiff mit einer Phase geerdet ist, muss das Schiff mit Wechselspannung versorgt werden und diese an Bord für die Verwendung in dem Gleichstrom-Versorgungssystem gleichgerichtet werden.

9.2.3.4 Gleichstrom-Kommunikationssysteme

Alle Kommunikationssysteme müssen so ausgelegt sein, dass üblicherweise kein Gleichstrom durch die Erde fließt. Gleichstromimpulse, wie z. B. Impulse für das Wählen oder die Erdung, dürfen durch die Erde fließen. Gleichströme dürfen keine Quelle für eine Streustrombeeinflussung von nahegelegenen Rohrleitungen oder Kabeln sein. Rohrleitungen oder Kabel dürfen nicht für Erdungsanschlüsse benutzt werden.

Verkehrssignalanlagen müssen so ausgelegt sein, dass üblicherweise kein Gleichstrom durch die Erde fließt.

9.2.4 Gleichstrom-Bahnanlagen

Streustrom von Gleichstrom-Bahnanlagen ist eine unvermeidliche Folge der Nutzung der Fahrschienen als Rückleitung für den Fahrstrom. Es gibt zwei Arten von Erdungssystemen, die üblicherweise in derartigen Anlagen verwendet werden: das geerdete System und das potentialfreie System. In einem potentialfreien System ist es zulässig, dass die Fahrschienen (und somit die negative Gleichstrom-Sammelschiene) in Bezug auf Erde potentialfrei werden. In einem geerdeten System sind die Fahrschienen am Bahn-Unterwerk wirksam (starr oder durch eine Diode) geerdet. Das geerdete System hält das negative Potential auf oder fast auf dem Erdpotential. Mit dieser Anordnung können Streuströme gegenüber einem potentialfreien System erhöht werden, wobei andere Dinge (Abstand der Bahn-Unterwerke, Leitfähigkeit und Isolierung der Rückleitung, zugeführte Energie usw.) gleich sind. Aus Sicht der Streustromkorrosion sind geerdete Systeme zu vermeiden. In modernen gleichstrombetriebenen Bahnen wird ein potentialfreies Erdungssystem nach EN 50122-2 eingesetzt.

Alle modernen Bahnanlagen nutzen beim Bremsen ein Stromrückkopplungssystem (d. h. Nutzbremmung).

Die Anforderung an die Auslegung der Streustromsteuerung besteht in der Minimierung der Auswirkung des Streustroms auf die unterstützende Infrastruktur und auf die Infrastruktur Dritter. Eine annehmbare Streustromsteuerung kann durch eine Reihe von Maßnahmen, hauptsächlich in der Planungsphase, erreicht werden. Die durchzuführenden Steuerungsverfahren müssen den Anforderungen in IEC 62128-2 entsprechen. Das Maßnahmenpaket für jede einzelne Gleichstrom-Bahnanlage stellt einen Kompromiss der verschiedenen Einschränkungen dar, die jedes System haben wird. Im Großen und Ganzen können die Aspekte der Auslegung der Gleichstrom-Zugförderung, die sich auf Streustrom auswirken, wie folgt zusammengefasst werden: a) Leitfähigkeit der Rückleitung (z. B. der Schienen), b) Isolierung der Rückleitung gegen Erde, c) Abstand von Versorgungs-Unterwerken, d) Bahn-Unterwerk- und Systemerdung und e) Nutzbremmung. Viele dieser Parameter werden zwangsläufig früh im Planungsprozess festgelegt. Sobald ein System einsatzbereit ist, ist der größte einzige Faktor, der die Streustrompegel ändert, der Widerstand der Schienen gegen Erde. Eine mangelhafte Kontrolle darüber kann der entscheidende Faktor für eine übermäßige Korrosion von Schienen und Infrastrukturen sein.

9.2.5 Kathodische Korrosionsschutzsysteme

9.2.5.1 Anpassung des Schutzstromgerät-Ausgangs

Der Stromausgang des Schutzstromgerätes, das an einem beeinflussenden Objekt installiert ist, muss auf den niedrigsten Wert eingestellt werden, der einen kathodischen Korrosionsschutz bietet. In besonderen Fällen könnte die Möglichkeit in Erwägung gezogen werden, den Gesamtstrom durch zusätzliche Schutzstromgeräte und Anodenfelder aufzuteilen.

9.2.5.2 Erhöhung des Widerstandes der Umhüllung

Objekte mit hochwertiger Umhüllung erfordern einen geringeren kathodischen Schutzstrom und verringern daher das Risiko einer Streustrombeeinflussung von ihrem kathodischen Korrosionsschutzsystem auf ein Mindestmaß. Es kann erforderlich sein, Umhüllungsbeschädigungen an einem kathodisch geschützten Objekt zu orten und zu reparieren, wenn der Grad der Beeinflussung von benachbarten Objekten vermindert werden muss. Die Verwendung von leitfähigen Umhüllungen in Streustrombereichen wird nicht empfohlen.

9.2.5.3 Lage des Anodenfeldes

Die Beeinflussung durch Fremdstromanoden hängt ab von dem Anodenstromausgang, dem Abstand zu benachbarten Objekten und dem spezifischen Widerstand des umgebenden Mediums.

Die Beeinflussung kann vermindert werden, indem sichergestellt wird, dass die benachbarten Objekte nicht im Bereich des Anodenfeldes liegen, wo der Potentialgradient zu einer Potentialverschiebung außerhalb der in Abschnitt 8 angeführten Grenzen führt. Das kann erreicht werden durch:

- Erhöhung des Abstandes zwischen der Anode und den benachbarten Objekten (entweder horizontal oder vertikal). Dies ist das wirksamste Verfahren;
- Verminderung des Potentialgradienten um das Anodenfeld herum durch Vergrößerung der Anodenfeldgeometrie oder durch Verringerung des Stromausgangs;
- Anordnung verteilter Anoden in der Nähe des zu schützenden Objekts;
- Verwendung linearer Anoden in der Nähe des zu schützenden Objekts.

9.2.6 Tellurische Beeinflussung

Der grundlegende Mechanismus bei der tellurischen Beeinflussung besteht darin, dass Schwankungen des geomagnetischen Felds ein elektrisches Feld in der Rohrleitung induzieren, das Ströme in der Rohrleitung einprägt. Wenn Ströme auf oder von der Rohrleitung weg fließen, erzeugt der Fluss durch den Widerstand zwischen Rohr und Erde (z. B. Widerstand der Umhüllung oder des Anodenfeldes) einen Spannungsfall (ohmsches Gesetz). Das wird als tellurische Schwankung im Objekt-Elektrolyt-Potential betrachtet. Üblicherweise fließen die tellurischen Ströme von einem Ende der Rohrleitung und werden am anderen Ende der Rohrleitung zur Erde abgeleitet. Wenn ein geringer Widerstand zwischen dem Rohrstahl und der Erde besteht, entweder absichtlich wegen guter Erdanschlüsse oder unabsichtlich wegen einer mangelhaften Umhüllung, ist der durch den tellurischen Strom erzeugte Spannungsfall gering und die tellurische Beeinflussung gering. Jedoch erhöht alles, was den Fluss des tellurischen Stroms auf, entlang und von der Rohrleitung weg behindert, den Spannungsfall. (Hinsichtlich ergänzender Informationen siehe Anhang D (informativ).)

Die folgenden Faktoren sollten bei der Auslegung der Rohrleitung berücksichtigt werden, wenn der durch eine tellurische Beeinflussung bedingte Spannungsfall beurteilt wird, der in bestimmten Bereichen auftreten kann.

- Änderungen des Widerstands der Umhüllung des beeinflussten Objekts. Ein höherer Widerstand der Umhüllung führt zu größeren tellurischen Schwankungen.
- Die Länge der elektrisch leitenden Rohrleitung. An längeren Rohrleitungen treten größere Schwankungen auf.
- Die Verwendung von Isolierflanschen. Isolierflansche leiten den tellurischen Strom von der Rohrleitung weg in die Erde und zurück auf die Rohrleitung. Dies führt zu gegenphasigen Potentialen auf beiden Seiten der Isolierung.
- Bögen. (Tellurische Ströme neigen dazu, an den Bögen auf die Rohrleitung und von ihr weg zu fließen).
- Änderung des Reihenwiderstands des Rohrleitungssystems.
- Lage von Anodenfeldern und Nutzung von potentiostatischen Schutzstromgeräten.

10 Änderungen an dem beeinflussten Objekt

10.1 Allgemeines

Änderungen am beeinflussten Objekt können aus einem oder mehreren der folgenden Punkte bestehen:

- a) Anwendung von Schadensbegrenzungsmaßnahmen (z. B. lokales Erhöhen des Bodenpotentials, siehe EN 14505);
- b) Veränderung der elektrischen Längsleitfähigkeit des beeinflussten Objekts;
- c) Vergrößerung des Abstandes von dem beeinflussenden Objekt.

Eine Verbindung zwischen der Beeinflussungsquelle und dem beeinflussten Objekt sollte nur als letztes Mittel und auch dann nur nach sorgfältiger Abwägung der möglichen sekundären und langfristigen Auswirkungen der Verbindung verwendet werden.

Die Wahl von Abhilfemaßnahmen, die am beeinflussten Objekt angewendet werden dürfen, ist bestimmt durch Kriterien, die sowohl das beeinflussende als auch das beeinflusste Objekt betreffen, wie z. B.:

- 1) die Lage der Beeinflussungsquelle, die wichtig sein kann beim Finden einer Lösung, die sowohl technisch als auch wirtschaftlich zufriedenstellend ist;
- 2) der elektrische Zustand des beeinflussten Objekts, z. B. die Art der Isolierung, die elektrische Längsleitfähigkeit und ob ein kathodischer Korrosionsschutz verwendet wird;
- 3) der elektrische Zustand des beeinflussenden Objekts, z. B. die Art der Isolierung, die elektrische Längsleitfähigkeit und ob ein kathodischer Korrosionsschutz verwendet wird;
- 4) die Eigenschaften der Umgebung zwischen dem beeinflussten und dem beeinflussenden Objekt (Leitfähigkeit des Bodens und Vorhandensein nahegelegener metallischer Objekte).

10.2 Planungsvoraussetzungen

10.2.1 Umhüllungen

Die Anwendung von hochohmigen Umhüllungen am beeinflussten Objekt vermindert den Gesamtpegel von Streuströmen im Objekt durch eine Erhöhung des Widerstandes zwischen dem Objekt und dem Boden. Das vereinfacht die Planung und den Einsatz von möglicherweise notwendigen Gegenmaßnahmen, ist jedoch nicht unbedingt eine kostengünstige Lösung.

10.2.2 Elektrische Trennung von anderen Objekten

Es sollte keinen unbeabsichtigten direkten metallenen Kontakt mit Streustromquellen oder anderen metallenen Objekten (z. B. Mantelrohre) geben, die durch Streuströme beeinflusst sein können; z. B. dürfen Stahlbetonstrukturen keinen direkten metallenen Kontakt mit Streustromquellen haben.

10.2.3 Zu maximierender Abstand

Da der Grad der Beeinflussung mit dem Abstand abnimmt, sollten neue Objekte so weit entfernt wie möglich von bekannten Streustromquellen angeordnet werden.

10.2.4 Installation von Schutzeinrichtungen

10.2.4.1 Allgemeines

Die Installation von Schutzeinrichtungen hat zum Ziel, eine Streustrombeeinflussung von dem beeinflussten Objekt direkt in die Umgebung zu vermindern oder zu beseitigen, um die in Abschnitt 8 angeführten Kriterien einzuhalten.

Das kann erreicht werden durch:

- Anwendung von kathodischem Korrosionsschutz mit Fremdstrom;
- Verschiebung des Objektpotentials in negative Richtung durch Verbindung.

Bei der Anwendung dieser Techniken muss die Auswahl einer geeigneten Stelle für die dauerhafte oder zeitweilige Bezugselektrode zum Messen oder Erfassen mit Sorgfalt getroffen werden (siehe Abschnitt 7).

In allen Fällen müssen die Schutzeinrichtungen so eingestellt werden, dass ein minimaler Strom gebraucht wird, um das angestrebte Ziel zu erreichen.

Die Anwendung dieser Maßnahmen erfordert die Zusammenarbeit und Zustimmung der betroffenen Parteien (siehe Abschnitt 5).

10.2.4.2 Kathodischer Korrosionsschutz

Ein kathodisches Korrosionsschutzsystem kann, wenn es ordnungsgemäß ausgelegt ist und angewendet wird, die nachteiligen Auswirkungen von Streustrombeeinflussung mindern. Das kann auf zwei Weisen erreicht werden. Entweder durch herkömmlichen kathodischen Korrosionsschutz unter Anwendung der in ISO 15589-1 angeführten Verfahren oder durch Einstellung des Gradienten des Bodenpotentials nach EN 14505, um die Kriterien in Abschnitt 8 zu erfüllen.

10.2.4.3 Verbindung

Eine Verbindung ist dafür bestimmt, das Potential des beeinflussten Objekts in negative Richtung (kathodisch) zu verschieben. Das kann durch eine Metall- oder Halbleiterverbindung (bekannt als Ableitung) von dem beeinflussten Objekt zurück zur Gleichstromquelle erreicht werden. Unter bestimmten Umständen ist es notwendig, den Strom durch den Halbleiter zu zwingen (erzwungene Ableitung) und das erfordert eine zugeordnete Energiequelle.

Eine unvermeidliche Folge davon ist jedoch, dass jede Verbindung die Möglichkeit hat, die Gesamtmenge des erzeugten Streustroms zu erhöhen. Dieses Risiko kann durch die Verwendung von Reihenwiderständen beherrscht werden. Aus diesem Grund darf eine Verbindung nur als letztes Mittel in Betracht gezogen werden.

Bei kathodisch geschützten Objekten dürfen keine direkten Verbindungen zu zeitvarianten Beeinflussungsquellen (z. B. Gleichstrom-Bahnanlagen) vorhanden sein.

In allen Fällen müssen die Schutzeinrichtungen so eingestellt werden, dass ein minimaler Strom gebraucht wird, um das angestrebte Ziel zu erreichen.

Die Anwendung dieser Maßnahmen erfordert die Zusammenarbeit und Zustimmung der betroffenen Parteien (siehe Abschnitt 5).

Nach einer derartigen Verbindung sollten Untersuchungen an der Quelle und an nahegelegenen oder kreuzenden fremden Objekten durchgeführt werden. Bei Bedarf sollten weitere Gegenmaßnahmen durchgeführt werden.

Dieses Verfahren ist nicht dafür vorgesehen, einen kathodischen Korrosionsschutz des beeinflussten Objekts zu erzielen.

10.2.4.4 Erdungsanlage

Die Verwendung von elektrischen Erdern oder Erdmatten, um die Auswirkungen von Gleichstrom-Streustrom entweder vorübergehend oder dauerhaft zu mindern, wird nicht empfohlen. Die Risiken einer Verstärkung der Auswirkungen des Streustroms überwiegen die möglichen Vorteile. Wenn Erder für die vorübergehende Minderung einer Wechselstrombeeinflussung verwendet werden, müssen sie in Bezug auf das zu schützende Objekt kathodisch sein (z. B. Zink, Magnesium). Im Fall einer dauerhaften Reduzierung des Wechselstroms müssen die Elektroden über eine Gleichstrom-Entkopplungseinrichtung (Abgrenzeinheit) verbunden sein.

10.2.5 Veränderung der elektrischen Längsleitfähigkeit des beeinflussten Objekts

Bei der Streustrombeeinflussung an langen Objekten, z. B. Rohrleitungen aus Stahl oder Stahlbetonstrukturen, ist es gegebenenfalls möglich, den Bereich des Objekts, der der Beeinflussung ausgesetzt ist, durch elektrisch trennende Abschnitte des Objekts zu begrenzen und damit die Potentialdifferenz zwischen dem Objekt und dem Elektrolyten zu verringern. Die elektrische Trennung kann durch die Installation von Isolierstücken erreicht werden (siehe ISO 15589-1 zur weiterführenden Informationen).

Wenn Isolierstücke für diesen Zweck eingesetzt werden, sollten Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um sicherzustellen, dass durch einen Stromfluss über das Isolierstück durch die Erde keine Korrosion am Isolierstück hervorgerufen wird. Die in Abschnitt 8 erwähnten Kriterien müssen eingehalten werden.

Bei Rohren, in denen leitfähige Elektrolyte transportiert werden, sollten Vorsichtsmaßnahmen gegen eine mögliche Innenkorrosion an der Rohrwand auf der anodischen Seite des Isolierstückes (siehe ISO 15589-1) getroffen werden.

Wegen der isolierenden Dichtungen muss an umhüllten Rohren aus Gusseisen die Beeinflussung nur in Bereichen mit steilen Potentialgradienten (z. B. größer als 200 mV je einzelne Rohrlänge) betrachtet werden. Derartige Verhältnisse können innerhalb eines Abstandes von 10 m um die Schienen gleichstrombetriebener Bahnanlagen und in der Nähe von Anodenfeldern auftreten. Wenn eine unzulässige Beeinflussung erwartet wird, müssen die Rohrverbindungen durch Kabel kurzgeschlossen und die Maßnahmen, die in 10.2.4 ausführlich behandelt werden, angewendet werden.

11 Inspektion und Wartung

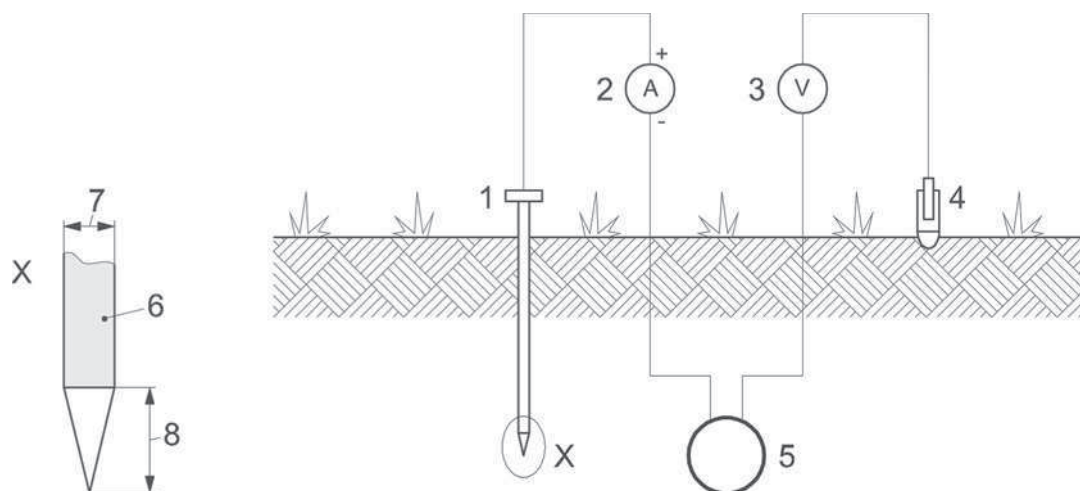
Alle Anlagen und Ausrüstungen, die installiert worden sind, um den Fluss eines Streustromes in eine Elektrolytlösung zu begrenzen oder dessen Auswirkung zu verringern, sollten in angemessenen Intervallen geprüft und gewartet werden (siehe ISO 15589-1 für kathodische Korrosionsschutzsysteme).

Anhang A (informativ)

Die Anwendung von Strommessproben zur Bewertung veränderlicher Streustrombeeinflussung an kathodisch geschützten Objekten

Messverfahren

Strommessproben können zur Bewertung veränderlicher Streustrombeeinflussung an kathodisch geschützten Objekten eingesetzt werden. Ein typisches Verfahren zur Durchführung der Messungen mit Strommessproben ist im Bild A.1 dargestellt:



Legende

- 1 Messprobe
- 2 aufzeichnendes Strommessgerät
- 3 aufzeichnendes Spannungsmessgerät
- 4 Elektrode
- 5 Objekt
- 6 Isolierung
- 7 Ø 16 mm (Beispiel)
- 8 65 mm (Beispiel)

Bild A.1 — Messverfahren

Eine isolierte Stahl-Messprobe mit blanker Oberfläche wird in die Erde auf Höhe der Rohrleitung eingebracht. Die Messprobe ist elektrisch mit der Rohrleitung verbunden. Die blanken Oberfläche der Messprobe stellt nun die Stahloberfläche in einer simulierten Umhüllungsbeschädigung dar. Das aufzeichnende Strommessgerät wird zur Bestimmung von Richtung und Größenordnung des Stromes angewendet. Die Messung wird üblicherweise über eine Zeitdauer von 24 h durchgeführt.

Durchführung der Messung und Auswertung

Schritt 1:

Der Probenstrom, der dem kathodischen Schutzpotential der Rohrleitung (nach ISO 15589-1) entspricht, wird während einer Zeitdauer gemessen, in der die Rohrleitung nicht von veränderlichem Streustrom beeinflusst wird (z. B. nachts). Dieser Probenstrom wird als 100 % festgelegt (Bezugswert), wie in Bild D.2, Periode „A“, gezeigt.

Schritt 2:

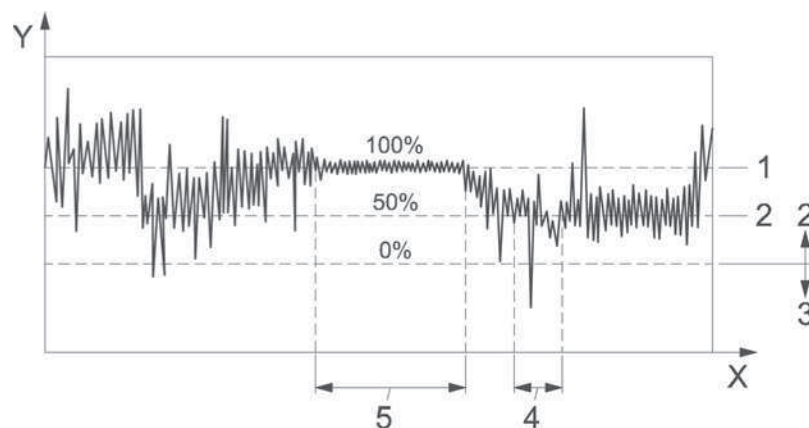
Der Probenstrom (die Summe des kathodischen Schutzstromes und des Streustromes) wird kontinuierlich während einer Zeitdauer von üblicherweise 24 h aufgezeichnet.

Schritt 3:

Zur Bewertung wird die Stunde mit den höchsten Probenstrom-Verringerungen (d. h. die Stunde mit den positivsten Potentialschwankungen) bestimmt (Periode „B“ in Bild A.2).

Schritt 4:

Probenströme unterhalb eines beliebigen der in Spalte 1 von Tabelle A.1 angeführten Werte weisen auf ein hohes Korrosionsrisiko hin, wenn ihre gesamte Zeitdauer die zugehörigen Werte von Spalte 3 in Tabelle A.1 überschreitet.



Legende

- 1 Bezugswert
- 2 eintretend
- 3 austretend
- 4 Periode B (Stunde mit höchster Beeinflussung)
- 5 Periode A
- Y Probenstrom [mA]
- X Zeit [h].

Bild A.2 — Beispiel für das Ergebnis einer Messung des Probenstroms („A“ bezeichnet die Periode, während der der Bezugswert gemessen wird; „B“ bezeichnet die Periode mit der höchsten Verringerung des Bezugswertes)

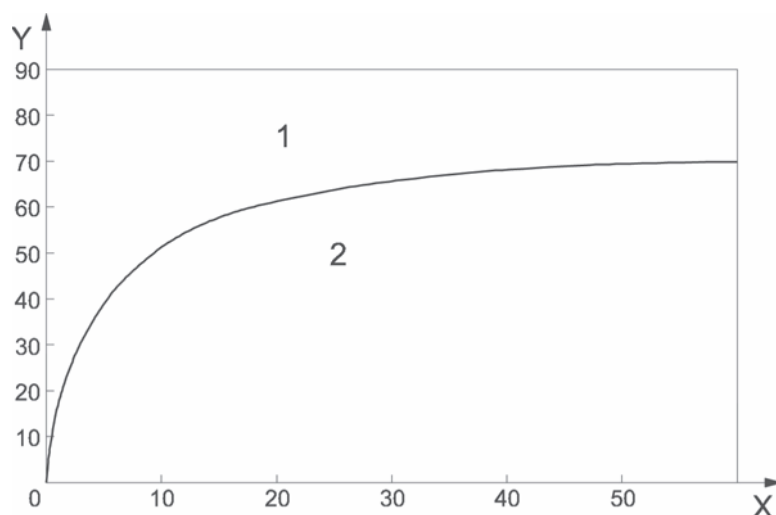
Tabelle A.1 — Stromkriterien im Fall der Beeinflussung durch Gleichstrom-Bahnanlagen

Probenstrom in % des Bezugswerts	Maximal zulässige Zeitdauer des Auftretens	
	in % der Stunde mit der höchsten Beeinflussung	in Sekunden
> 70	unbegrenzt	
< 70	40	1 440
< 60	20	720
< 50	10	360

Probenstrom in % des Bezugswerts	Maximal zulässige Zeitdauer des Auftretens	
	in % der Stunde mit der höchsten Beeinflussung	in Sekunden
< 40	5	180
< 30	2	72
< 20	1	36
< 10	0,5	18
< 0	0,1	3,6

ANMERKUNG 1 Die Zahlenwerte in Tabelle A.1 beruhen auf praktischer Erfahrung.

ANMERKUNG 2 Die Bewertung nach Tabelle A.1 kann in Fällen, in denen die IR-freien Potentiale (z. B. wie in Schritt 1 gemessen) beträchtlich (z. B. 250 mV) negativer sind als das Schutzpotential nach ISO 15589-1, zu einer Überbewertung des Korrosionsrisikos führen.



Legende

- 1 geringes Korrosionsrisiko
- 2 hohes Korrosionsrisiko
- X Zeit in % der Stunde mit der höchsten Beeinflussung
- Y Probenstrom in % des kathodischen Schutzstromes

Bild A.3 — Graphische Darstellung von Tabelle A.1

Anhang B (informativ)

Bestimmung der relevanten Position für die Anordnung von Bezugselektroden, Probeblechen und Messproben im Fall einer leitenden Kopplung

B.1 Einleitung

Der aus der Schiene austretende Streustrom verursacht einen ohmschen Spannungsfall ΔU im Boden, der durch die beiden Umhüllungsbeschädigungen aufgenommen wird. Da die beiden Umhüllungsbeschädigungen eine identische Größe und folglich einen ähnlichen Ausbreitungswiderstand haben, können die Verschiebung des anodischen Potentials ΔU_a und des kathodischen Potentials ΔU_k in einer ersten Näherung als identisch angenommen werden. Die Messung der Streustrombeeinflussung in der Konfiguration in Bild 1 führt zur korrekten Bestimmung der durch den Streustrom verursachten anodischen Beeinflussung ΔU_a . Die in Bild 1 dargestellte Feldverteilung stellt die von der Bezugselektrode an der Bodenoberfläche aufgenommene Feldverteilung dar. Die Anwendung der Beeinflussungsgrade ermöglicht die Schätzung des tatsächlichen Korrosionsrisikos. Ohne Frage stellt die Konfiguration mit nur zwei Umhüllungsbeschädigungen keinen typischen Beeinflussungsfall dar. Vielmehr muss von einer großen Anzahl von vom Schnittpunkt entfernten Umhüllungsbeschädigungen ausgegangen werden. Daher ist der Ausbreitungswiderstand der einen Umhüllungsbeschädigung innerhalb des Streustromgradienten im Kreuzungsbereich wesentlich größer als der aller entfernten Umhüllungsbeschädigungen. Diese Konfiguration ist in Bild B.2 dargestellt, wo die große Anzahl von kleinen Umhüllungsbeschädigungen, die von der Kreuzung entfernt sind, mit einer großen Umhüllungsbeschädigung dargestellt ist. Der Spannungsfall ΔU ist in dieser Konfiguration nicht mehr gleichmäßig auf die beiden Umhüllungsbeschädigungen aufgeteilt. Stattdessen werden eine starke kathodische Beeinflussung ΔU_k an der kleinen Umhüllungsbeschädigung und eine schwache anodische Beeinflussung ΔU_a an der großen Umhüllungsbeschädigung beobachtet. Das bestätigt, dass ein aus der Schiene austretender Streustrom, der eine kathodische Beeinflussung bewirkt, in den meisten Fällen nicht zu einer kritischen anodischen Beeinflussung führt.

Die Situation ist im Fall eines Streustroms, der bei einem kathodischen Schienenpotential zur Schiene zurückkehrt, komplexer, wie in Bild B.3 veranschaulicht. Die Messung ergibt eine kleine kathodische Beeinflussung, während die kleine Umhüllungsbeschädigung an der Kreuzung mit der Schiene einer starken anodischen Beeinflussung unterliegt. Folglich führt die Messung nicht nur zu einem fehlerhaften Wert in Bezug auf das Ausmaß der Beeinflussung, sondern auch in Bezug auf deren Polarität. Eine ausführlichere Analyse der Situation zeigt deutlich, dass die anodische Beeinflussung nicht auf der Grundlage einer Potentialmessung in der gegebenen Konfiguration beurteilt werden kann. Das Gleiche gilt für ein in der Erde unterhalb der Bezugselektrode in Bild B.3 angeordnetes Probeblech. Ähnlich wie die Bezugselektrode unterliegt das Probeblech einer kleinen kathodischen Beeinflussung.

Die Position der Bezugselektrode in Bezug auf die Schiene ist entscheidend für die Beurteilung des durch Streustrom bedingten Risikos. In Bild B.4 ist die Auswirkung verschiedener Positionen der Bezugselektrode in Bezug auf die Schiene veranschaulicht. An Position (a) wird eine kleine kathodische Verschiebung, an Position (b) keine Verschiebung, an Position (c) eine anodische Verschiebung und an Position (d) eine starke anodische Beeinflussung ΔU_m gemessen. Das ist hauptsächlich das Ergebnis der Anordnung der Bezugselektrode innerhalb des von der Schiene verursachten Gradienten. Diese Betrachtung zeigt, dass durch die Anordnung der Bezugselektrode ein beliebiger Beeinflussungswert erhalten werden kann. Keiner der Beeinflussungsgrade ΔU_m in Bild B.4 entspricht jedoch der tatsächlichen Beeinflussung an der Umhüllungsbeschädigung.

Gleichermaßen würden Probebleche, die auf Höhe der Rohrleitung unterhalb der Bezugselektroden verlegt sind, den tatsächlichen Beeinflussungszustand der kritischen Umhüllungsbeschädigung nicht erkennen lassen. Sowohl bei der Potential- als auch der Probeblechmessung wird das tatsächliche Korrosionsrisiko an jeder der Stellen (a) bis (d) erheblich unterschätzt. Die Situation wird durch die Tatsache weiter verkompliziert, dass eine Messung an Position (d) eine anodische Beeinflussung anzeigt, selbst wenn keine Umhüllungsbeschädigungen innerhalb des Gradienten der Schiene vorliegen. Die optimale Lage von Probeblech und Bezugselektrode ist in B.2 beschrieben und in Bild B.5 dargestellt.

Die Erörterung der experimentellen Probleme im Zusammenhang mit der Beurteilung der Streustrombeeinflussung zeigt auf, dass die tatsächliche Streustrombeeinflussung nur auf der Grundlage einer tiefergehenden Analyse bestimmt werden kann. Die meisten Streustrommessungen ohne Berücksichtigung dieser Aspekte führen zu einer erheblichen Unterschätzung des tatsächlichen Korrosionsrisikos. Das gilt nicht nur in Bezug auf das Ausmaß der Beeinflussung, sondern auch in Bezug auf deren Polarität.

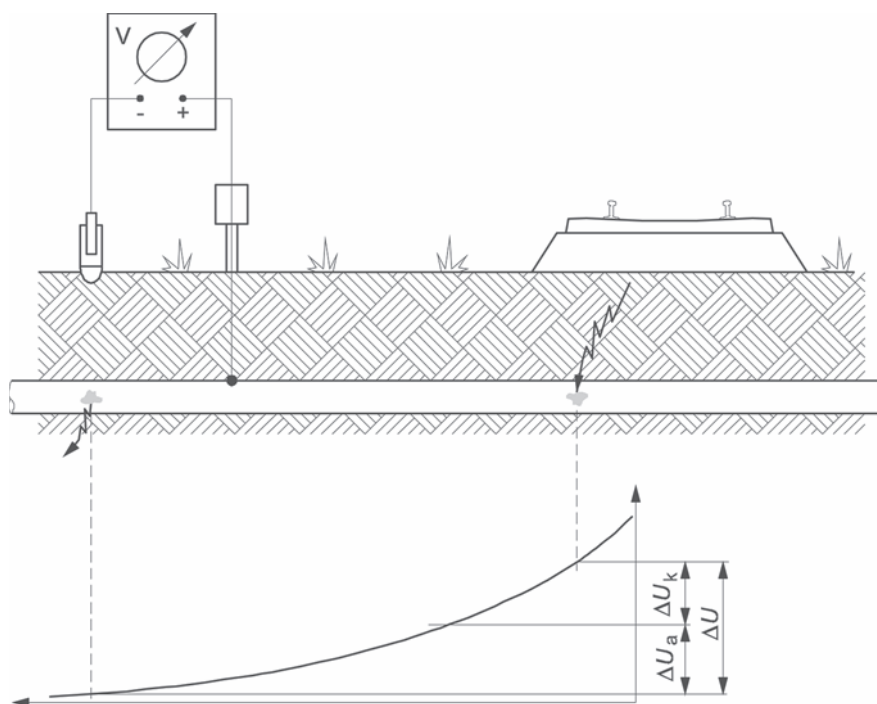


Bild B.1 — Streustrombeeinflussung einer Rohrleitung mit nur zwei identischen Umhüllungsbeschädigungen. Die unten dargestellte Potentialverteilung veranschaulicht die Potentialverteilung an der Bodenoberfläche

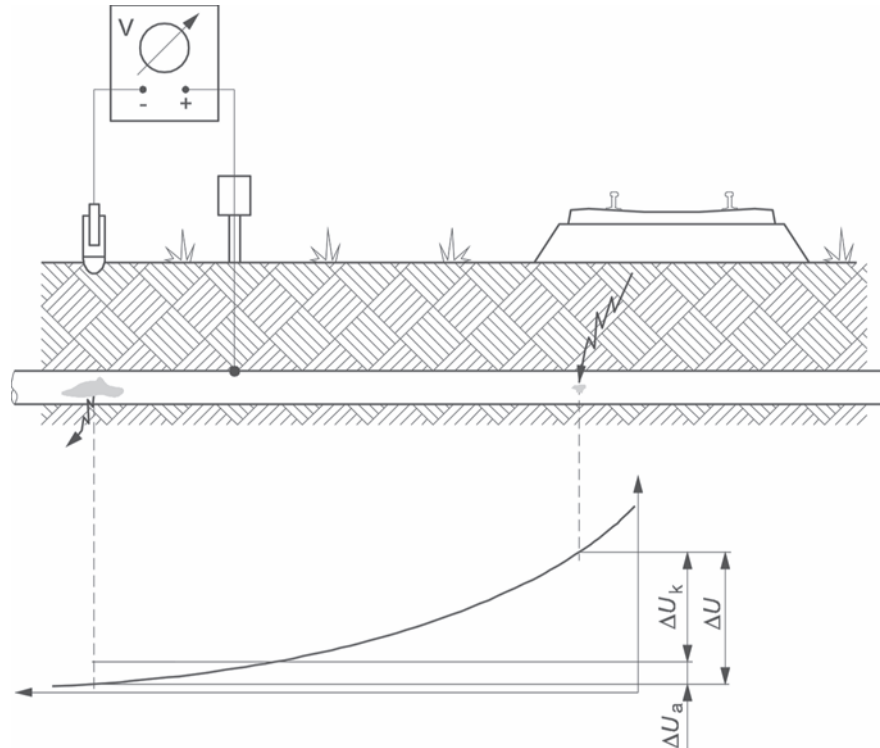


Bild B.2 — Kathodische Streustrombeeinflussung einer Rohrleitung mit asymmetrischer Verteilung der Umhüllungsbeschädigungen entsprechend einer typischen Konfiguration

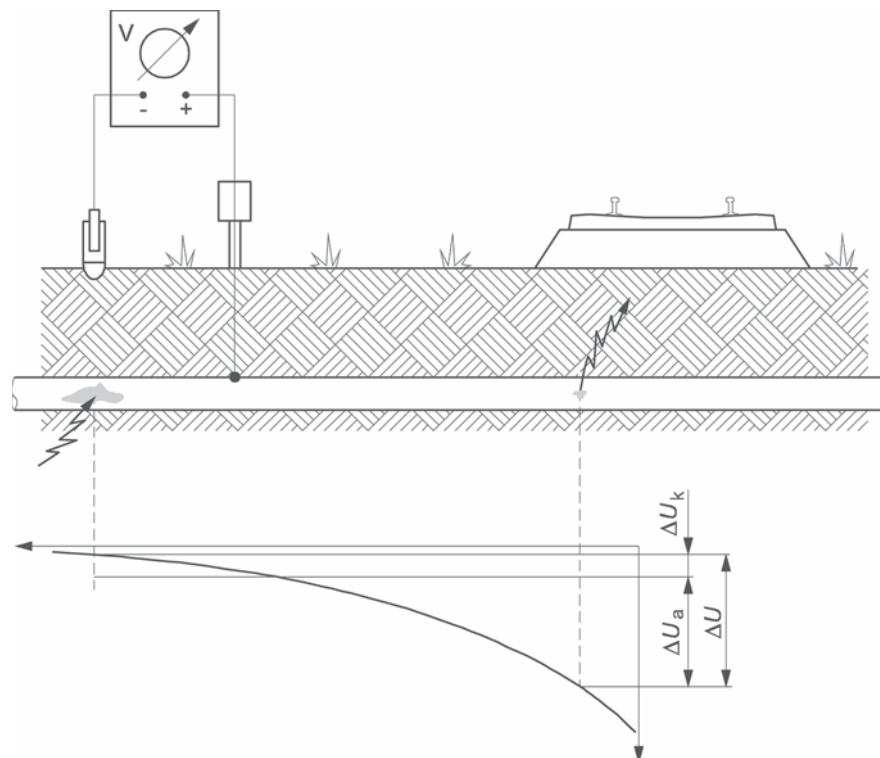


Bild B.3 — Anodische Streustrombeeinflussung einer Rohrleitung mit asymmetrischer Verteilung der Umhüllungsbeschädigungen entsprechend einer typischen Konfiguration

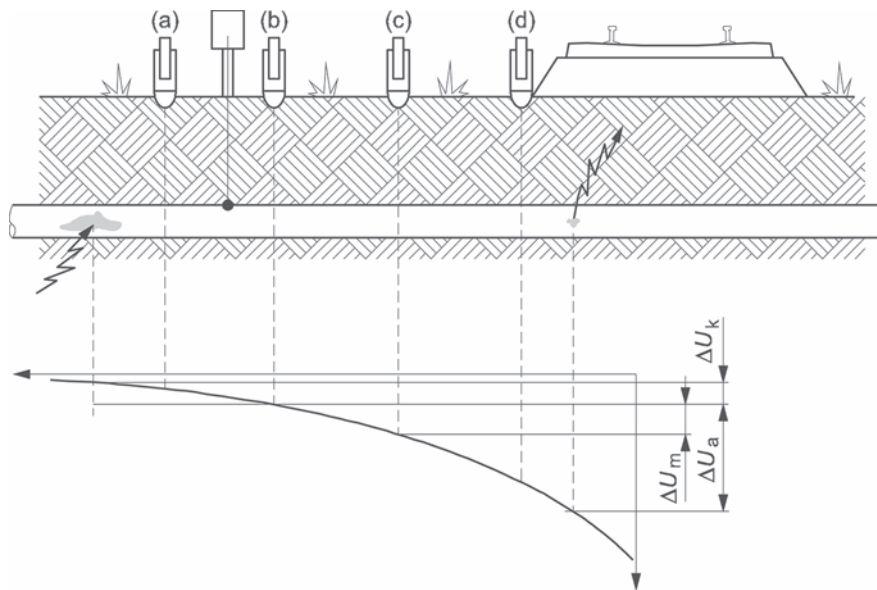


Bild B.4 — Anodische Streustrombeeinflussung einer Rohrleitung mit asymmetrischer Verteilung der Umhüllungsbeschädigungen entsprechend einer typischen Konfiguration. Die gemessene Beeinflussung wird durch ΔU_m dargestellt

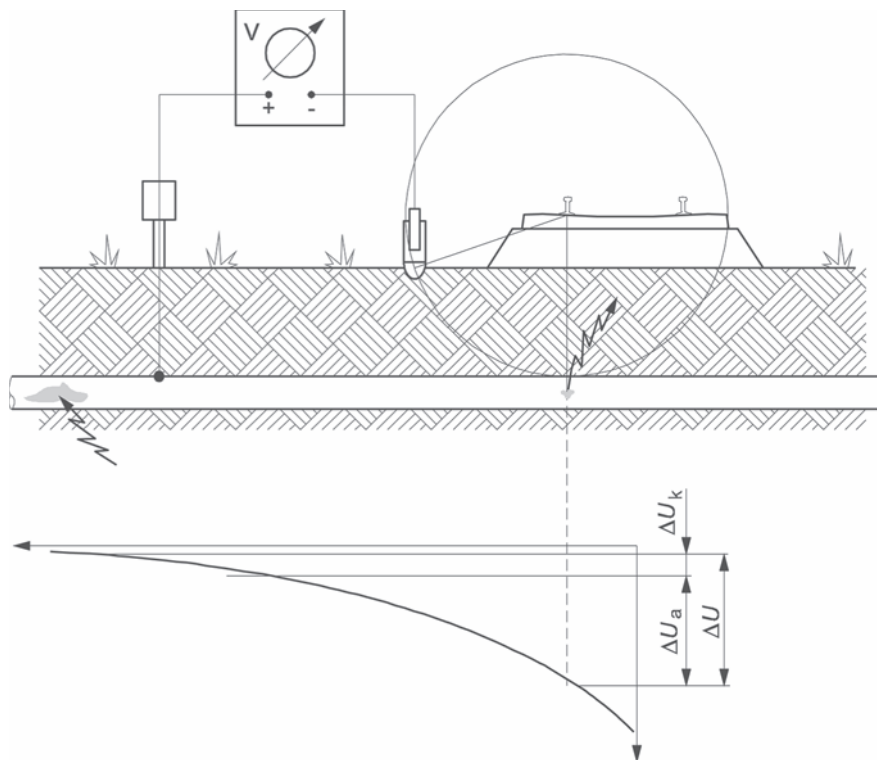


Bild B.5 — Korrekte Anordnung der Bezugselektrode (oder des Probestücks) für die ordnungsgemäße Beurteilung der anodischen Streustrombeeinflussung einer Rohrleitung

B.2 Optimierte Beurteilung der Streustrombeeinflussung

Da die direkte Beurteilung der Streustrombeeinflussung auf der Grundlage einer Potential- oder Probedblechmessung in der gegebenen Konfiguration nicht möglich ist, stellt sich die Frage nach einem verbesserten Messverfahren. Die vorstehend angeführte Argumentation hat deutlich gezeigt, dass die Anordnung der Bezugselektrode innerhalb des Gradienten des Gleises nur zu einer Messung des Gradienten und nicht zur tatsächlichen Beeinflussung einer Umhüllungsbeschädigung führt. Selbst wenn keine Umhüllungsbeschädigung an der Rohrleitung vorliegt, wird ein ähnlicher Beeinflussungsgrad erhalten. Folglich kann jede Messung nur auf der Grundlage einer Betrachtung des ungünstigsten Falls unter der Annahme des Vorhandenseins einer Umhüllungsbeschädigung durchgeführt werden. Die ungünstigste Position der Umhüllungsbeschädigungen befindet sich am Punkt der größten Annäherung der Rohrleitung an das Gleis mit dem größten Gradienten. Unter der Annahme eines homogenen spezifischen Bodenwiderstands und einer gleichmäßigen Stromverteilung folgt daraus unmittelbar, dass diese ungünstigste Beeinflussung bestimmt werden kann, indem die Bezugselektrode oder das Probedblech in dem gleichen Abstand zur Schiene angeordnet wird. Diese Konfiguration ist in Bild B.5 dargestellt.

Das gilt gleichermaßen für eine Rohrleitung parallel zur Schiene. In diesem Fall muss die Messung jedoch in dem Teil der Parallelität mit dem negativsten Schienenpotential und/oder der schlechtesten Schiene-Erde-Isolierung durchgeführt werden, der den größten Spannungsgradienten im Boden ergibt.

In vielen Fällen ist die Anordnung der Bezugselektrode nicht unbedingt an der geforderten Stelle möglich. Das gilt insbesondere im Fall einer Streustrombeeinflussung, die durch eine kathodisch geschützte Rohrleitung an einer nicht geschützten Rohrleitung verursacht wird. Da der Abstand zwischen den Rohrleitungen üblicherweise kleiner als die Rohrtiefe ist, führt jede Messung, die oberhalb des Schnittpunktes der beiden Rohrleitungen durchgeführt wird, zwangsläufig zu einer wesentlichen Unterschätzung des tatsächlichen Beeinflussungsgrades.

Anhang C (informativ)

Funktionsprinzipien von ER-Proben

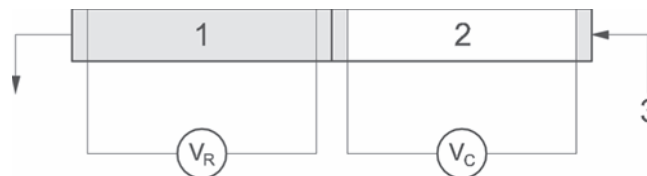
C.1 ER-Proben zur Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit

Die Bestimmung des elektrischen Widerstands mit einer ER-Probe (ER-Verfahren) kann zur Beurteilung der Korrosionsgeschwindigkeit angewendet werden. Andere Größen des Probedecks, wie z. B. Sofort-Ausschalt-Potential, Wechselstromdichte, Gleichstromdichte, Ausbreitungswiderstand usw., können ebenfalls mit ER-Proben gemessen werden.

Das ER-Verfahren besteht in der Messung der Widerstandsänderung eines metallischen Elements. Wenn das metallische Element aufgrund von Korrosion einen Metallverlust erleidet, erhöht sich der elektrische Widerstand des Elements. Da sich der Widerstand des Elements auch aufgrund von Temperaturschwankungen ändert, wird für die Temperaturkompensation ein zweites Element eingesetzt, das zum Korrosionsschutz umhüllt ist. Die Messprobe besteht aus einem Element, das der korrosiven Umgebung ausgesetzt ist (Probedeckelement) und dem durch die Umhüllung vor Korrosion geschützten Element (siehe Bild C.1).

Wenn Strom zwischen dem freiliegenden Element und dem Boden ausgetauscht wird, sollte das ER-Verfahren zusätzlich zu der herkömmlichen Temperaturkompensation Mittel zur Temperaturkompensation aufgrund der Erwärmung des freiliegenden Elements durch den Stromaustausch bereitstellen.

Die Widerstandswerte der beiden einzelnen Elemente werden gewöhnlich gemessen, indem ein Erregerstrom durch die Elemente geleitet und die über die Elementlänge erzeugte Spannung gemessen wird, die durch den Erregerstrom verursacht wird.



Legende

- 1 Bezugselement – R_r
- 2 Probedeckelement – R_c
- 3 Erregerstrom

Bild C.1 — Prinzip der ER-Probe mit Erregerstrom und Spannungsmessung

Die Dicke des freiliegenden Elements zum Zeitpunkt (t) kann im Zeitverlauf unter Anwendung des skizzierten Stromlaufplans beurteilt werden. Die Dicke des freiliegenden Elements zum Zeitpunkt (t) wird dann quantitativ mit einem mathematischen Algorithmus bestimmt, zum Beispiel:

$$d(t) = d(t = 0) \cdot \frac{R_r(t)}{R_c(t)} \cdot \frac{R_c(t = 0)}{R_r(t = 0)}$$

Dabei bezieht sich

(t = 0) auf den Ausgangszustand der Messprobe.

Für die einfache Beurteilung der Korrosionsgeschwindigkeit kann der Anstieg einer Dicke-Zeit-Kurve verwendet werden.