

DIN EN ISO 21857



ICS 75.200

**Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie –
Vermeidung von durch Streuströme beeinflusster Korrosion an
Rohrleitungssystemen (ISO 21857:2021);
Deutsche Fassung EN ISO 21857:2021**

Petroleum, petrochemical and natural gas industries –
Prevention of corrosion on pipeline systems influenced by stray currents (ISO 21857:2021);
German version EN ISO 21857:2021

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 21857:2021);
Version allemande EN ISO 21857:2021

Gesamtumfang 83 Seiten

DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 21857:2021 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ als EN ISO 21857:2021 übernommen, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

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

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

Umrechnung:

Nicht zugelassene Einheit	Zugelassene Einheit	Umrechnung
in (inch)	mm	1 in = 25,4 mm
kn (Knoten)	m·s ⁻¹	1 kn = 5,144 444 · 10 ⁻¹ m·s ⁻¹

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

IEC 60364-4-41	siehe	DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410)
IEC 60364-5-52	siehe	DIN VDE 0100-520 (VDE 0100-520)
IEC 60479-1	siehe	DIN IEC/TS 60479-1
IEC 61140	siehe	DIN EN 61140 (VDE 0140-1)
IEC 61557-8	siehe	DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8)
IEC 62109-2:2011	siehe	DIN EN 62109-2 (VDE 0126-14-2):2012-04
ISO 8044	siehe	DIN EN ISO 8044
ISO 14688-1	siehe	DIN EN ISO 14688-1
ISO 15589-1	siehe	DIN EN ISO 15589-1
ISO 18086:2019	siehe	DIN EN ISO 18086:2021-02

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61140 (VDE 0140-1), *Schutz gegen elektrischen Schlag — Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel (IEC 61140)*

DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8), *Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1 000 V und DC 1 500 V — Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen — Teil 8: Isolationsüberwachungsgeräte für IT-Systeme (IEC 61557-8)*

DIN EN 62109-2 (VDE 0126-14-2):2012-04, *Sicherheit von Leistungsumrichtern zur Anwendung in photovoltaischen Energiesystemen — Teil 2: Besondere Anforderungen an Wechselrichter (IEC 62109-2:2011); Deutsche Fassung EN 62109-2:2011*

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

DIN EN ISO 14688-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden — Teil 1: Benennung und Beschreibung*

DIN EN ISO 15589-1, *Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie — Kathodischer Korrosionsschutz für Rohrleitungssysteme — Teil 1: Rohrleitungen an Land*

DIN EN ISO 18086:2021-02, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Bestimmung der Wechselstromkorrosion — Schutzkriterien (ISO 18086:2019); Deutsche Fassung EN ISO 18086:2020*

DIN IEC/TS 60479-1, *Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere — Teil 1: Allgemeine Aspekte*

DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410), *Errichten von Niederspannungsanlagen — Teil 4-41: Schutzmaßnahmen — Schutz gegen elektrischen Schlag*

DIN VDE 0100-520 (VDE 0100-520), *Errichten von Niederspannungsanlagen — Teil 5-52: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel — Kabel- und Leitungsanlagen*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

**Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie —
Vermeidung von durch Streuströme beeinflusster Korrosion
an Rohrleitungssystemen (ISO 21857:2021)**

Petroleum, petrochemical and natural gas industries —
Prevention of corrosion on pipeline systems influenced by
stray currents (ISO 21857:2021)

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 21857:2021)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 3. Oktober 2021 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Abkürzungen und Symbole	10
4.1 Abkürzungen	10
4.2 Symbole	10
5 Informationsaustausch und Zusammenarbeit	12
6 Häufige Beeinflussungsquellen, die die Korrosion beeinflussen können	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Gleichstrom	13
6.2.1 Allgemeines	13
6.2.2 Bahnanlagen	14
6.2.3 Industrieanlagen	14
6.3 Wechselstrom	14
6.3.1 Allgemeines	14
6.3.2 Starkstrom-Freileitungen und erdverlegte Starkstromleitungen	14
6.4 Hochspannungsgleichstrom-Übertragungssysteme	15
6.5 Natürliche Beeinflussung	15
6.5.1 Allgemeines	15
6.5.2 Geomagnetische (tellurische) Beeinflussung	16
6.5.3 Auswirkungen der gezeitenbedingten Beeinflussung	16
7 Feststellung und Messung der Streustrombeeinflussung	16
7.1 Kurzbeschreibung	16
7.2 Streustrombeeinflussung	17
7.2.1 Induktive und leitende Kopplung von ortsfernen Quellen	17
7.2.2 Leitende Kopplung von benachbarten Quellen	17
7.3 Messung elektrischer Parameter	18
7.3.1 Datenerfassungssysteme	18
7.3.2 Mögliche Fehler bei Wechselstrommessungen	18
7.3.3 Potentialmessung	18
7.3.4 Strommessung an Messproben	18
7.3.5 Messung des IR-freien Potentials an Probeblechen und Messproben	19
7.3.6 Dauer der Messung	19
7.3.7 Spezielle Anforderungen an Probebleche bzw. Messproben	19
7.4 Messung der Korrosionsgeschwindigkeit	20
8 Abnahmekriterien für die Beeinflussung durch Gleichstrom	20
8.1 Übersicht der Kriterien	20
8.2 Korrosionsgeschwindigkeit	21
8.3 Kriterien für Stahl und Gusseisen	22
8.3.1 Zeitlich konstante Beeinflussung	22

8.3.2	Zeitvariante Beeinflussung.....	23
8.4	Kriterien für Stahlrohre in Beton auf der Grundlage von Potentialmessungen ohne kathodischen Korrosionsschutz	24
8.4.1	Zeitlich konstante anodische Beeinflussung.....	24
8.4.2	Zeitvariante Beeinflussung.....	24
9	Verminderung der Streustrombeeinflussung durch Gleichstrom	25
9.1	Allgemeines	25
9.2	Änderungen an der Beeinflussungsquelle	25
9.2.1	Grundsätze.....	25
9.2.2	Gleichstromsysteme an Industriestandorten	25
9.2.3	Gleichstromsysteme in Häfen	25
9.2.4	Gleichstrom-Bahnanlagen.....	26
9.2.5	Kathodische Korrosionsschutzsysteme	27
9.2.6	Tellurische Beeinflussung.....	27
9.2.7	Gleichstrom-Kommunikationssysteme.....	28
10	Änderungen an dem beeinflussten Objekt.....	28
10.1	Allgemeines	28
10.2	Planungsvoraussetzungen	29
10.2.1	Umhüllungen.....	29
10.2.2	Elektrische Trennung von anderen Objekten.....	29
10.2.3	Zu maximierender Abstand.....	29
10.2.4	Installation von Schutzeinrichtungen.....	29
10.2.5	Veränderung der elektrischen Längsleitfähigkeit des beeinflussten Objekts.....	30
11	Inspektion und Wartung.....	31
Anhang A (informativ) 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, die durch Streuströme verursacht wird.....		35
Anhang C (informativ) Funktionsprinzipien von ER-Proben.....		42
Anhang D (informativ) Geomagnetische Beeinflussung		43
Anhang E (informativ) Beeinflussung durch Hochspannungsgleichstrom.....		55
Anhang F (informativ) Beeinflussung durch Wechselstrom		57
Anhang G (informativ) Gezeitenwirkungen		62
Anhang H (informativ) Photovoltaische Beeinflussung.....		63
Anhang I (informativ) Modellierung der Auswirkungen von Streustrombeeinflussung an kathodisch geschützten Rohrleitungen		66
Anhang J (informativ) Beurteilung des Korrosionsrisikos bei Stahl in Beton oder bei kathodisch geschützten Objekten unter zeitvarianten Beeinflussungsbedingungen.....		70
Anhang K (informativ) Grundsätze der anodischen und kathodischen Beeinflussung		75
Literaturhinweise.....		78

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 21857:2021 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ als EN ISO 21857:2021 übernommen, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2022, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2022 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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

Entsprechend der CEN CENELEC Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 21857:2021 wurde von CEN als EN ISO 21857:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-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 <https://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 <https://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*, in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 219, *Kathodischer Korrosionsschutz*, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

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

Einleitung

Das vorliegende Dokument stellt Leitlinien zur Vermeidung von äußerer Korrosion bereit, 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.

Internationale Normen zum kathodischen Korrosionsschutz (z. B. ISO 15589-1 und ISO 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.

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

Dieses Dokument ist nicht dafür vorgesehen, die Anwendung alternativer Ausrüstung oder technischer Lösungen für einzelne Anwendungen zu verhindern. Wird eine Alternative angeboten, so ist vorgesehen, dass alle Abweichungen von diesem Dokument ermittelt und dokumentiert werden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die allgemeinen Grundsätze für die Bewertung und Minimierung der Auswirkungen von Streustromkorrosion an äußeren Oberflächen von erd- oder wasserverlegten Rohrleitungssystemen fest, die durch eine elektrische Beeinflussung durch Wechsel- und Gleichstrom verursacht wird.

Andere Auswirkungen von Streustrom, wie z. B. die Überhitzung und Beeinflussung von Schweißvorgängen, werden von diesem Dokument nicht behandelt.

Eine kurze Beschreibung der Auswirkungen von Wechselstrom, allgemeine Grundsätze und einige Leitlinien werden bereitgestellt.

ANMERKUNG 1 Siehe ISO 18086 für Auswirkungen von Wechselstrom auf erd- oder wasserverlegte Rohrleitungen.

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

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

Dieses Dokument enthält Leitlinien für

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

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.

ANMERKUNG 2 Die Auswirkungen elektromagnetischer Beeinflussung auf oberirdische Armaturen von Rohrleitungssystemen werden in EN 50443, IEC 61140, IEC 60364-4-41, IEC 60479-1, IEC 60364-5-52, IEC/TS 61201 und IEC/TR 60479-5 behandelt.

Dieses Dokument kann auch für Rohrleitungssysteme außerhalb der petrochemischen und Erdgasindustrie sowie andere erd- oder wasserverlegte Objekte angewendet werden.

ANMERKUNG 3 EN 50162 enthält Leitlinien für bahnbezogene Objekte.

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 — Electrical safety, earthing and the return circuit — Part 2: Provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems*

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

ISO 8044, *Corrosion of metals and alloys — Vocabulary*

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:

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

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.

[QUELLE: IEEE Std 81-2012 [1]].

3.3

leitende Kopplung

Übertragung von Energie, die auftritt, 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

elektrische 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* (3.5), *gerichtete Streustromableitung* (3.7) und *erzwungene Streustromableitung* (3.6).

3.5

direkte Streustromableitung

Vorrichtung, die durch Herstellen einer bidirektional metallenen leitenden Verbindung zwischen einer beeinflussten Anlage und der Streustromquelle eine *elektrische Streustromableitung* (3.4) erlaubt

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

3.6

erzwungene Streustromableitung

Vorrichtung, die durch Herstellen einer metallenen leitenden Verbindung zwischen einer beeinflussten Anlage und der Streustromquelle eine *elektrische Streustromableitung* (3.4) 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 *elektrische Streustromableitung* (3.4) 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

en electrical resistance probe

Vorrichtung, die den Metallverlust durch Vergleich des kalibrierten Widerstandwertes eines Metallstücks mit bekannten physikalischen Kennwerten misst

3.10

Abtastrate

vom Betreiber festgelegtes Messintervall

3.11

Wechselspannungsbeeinflussung

von Wechselstromsystemen erzeugte elektrische Störung, die erd- oder wasserverlegte Rohrleitungen durch Konduktion und/oder Induktion beeinflusst

Anmerkung 1 zum Begriff: Starkstromleitungen, Bahnanlagen.

3.12

Gleichspannungsbeeinflussung

Störung, die von Gleichstromsystemen erzeugt wird, die erd- oder wasserverlegte metallische Objekte hauptsächlich durch Induktion beeinflusst

4 Abkürzungen und Symbole

4.1 Abkürzungen

AC	Wechselstrom (en: alternating current)
ACVG	Wechselstrom-Spannungsgradient (en: alternating current voltage gradient)
CP	kathodischer Korrosionsschutz (en: cathodic protection)
DC	Gleichstrom (en: direct current)
DCVG	Gleichstrom-Spannungsgradient (en: direct current voltage gradient)
emf	elektromotorische Kraft (en: electromotive force)
GIC	geomagnetisch induzierte Ströme (en: geomagnetically induced currents)
HVAC	Hochspannungswechselstrom (en: high voltage alternating current)
HVDC	Hochspannungsgleichstrom (en: high voltage direct current)
IR	Produkt aus Stromstärke und Widerstand (I und R), das den spannungsfallbedingten Fehler in einer Potentialmessung anzeigt
PV	photovoltaisch
r.m.s.	Effektivwert (en: root mean square)

4.2 Symbole

a^{-1}	je Jahr
B	magnetisches Feld
E	Objekt/Boden-Potential bei nicht kathodisch geschützten Objekten
E_a	anodisches Potential
E_c	kathodisches Potential
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
ΔE_m	gemessene Beeinflussung
$\Delta E_{c,avg}$	durchschnittliche Verschiebung des kathodischen Potentials
E_{cor}	Objektpotential eines Metalls in einem gegebenen Korrosionssystem (ISO 8044)

$E_{\text{IR-free}}$	Objektpotential ohne Messfehler aufgrund des im Stromkreis fließenden Stroms
E_{on}	Einschaltpotential
$E_{\text{on,avg}}$	durchschnittliches Einschaltpotential
E_{p}	Schutzpotential nach ISO 15589-1
E_{ref}	Einschaltpotential, das zum Erreichen eines wirksamen kathodischen Korrosionsschutzes erforderlich ist
F	elektrisches Feld
I_{cpn}	Strom am Probestück
J	Stromdichte
J_{a}	anodische Stromdichte
J_{c}	kathodische Stromdichte
J_{cpn}	Stromdichte des Probestücks
J_{ref}	Referenzwert für die Stromdichte (analog zu I_{ref})
ρ	spezifischer Bodenwiderstand ($\Omega \cdot \text{m}$)
Q_{a}	anodische Ladung während der Dauer der anodischen Beeinflussung
Q_{c}	kathodische Ladung während der Dauer der kathodischen Beeinflussung
R_{c}	Probestück-Element-Widerstand
R_{iso}	Isolationswiderstand, üblicherweise einer Kabelisolierung
s	Sekunden
$\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$	Siemens je Längeneinheit
t	Zeit
T_{a}	Intervall, in dem das Objekt in Bezug auf den gewählten Wert von E_{ref} oder J_{ref} anodisch ist
$T_{\text{a,max}}$	Höchstdauer der anodischen Periode
T_{c}	Intervall, in dem das Objekt in Bezug auf den gewählten Wert von E_{ref} oder J_{ref} kathodisch ist
v_{cor}	Korrosionsgeschwindigkeit
V_{CSE}	Spannung in Bezug auf eine Kupfer/Kupfersulfat-Bezugselektrode

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 und dokumentiert werden, dass eine Beeinflussung durch Streuströme hervorgerufen wird oder ausgehalten werden muss. Das Rohrleitungssystem sollte die in Abschnitt 8 identifizierten Abnahmekriterien erreichen. 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 und dokumentiert werden:

- Der Betreiber des Rohrleitungssystems kann ein Objekt mit dem Verfahren vor Korrosion schützen, das er für das geeignetste hält. Elektrische Beeinflussungsgrade 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 Bahnrückleitungen. Das bedeutet, dass es möglich ist, den Streustrom durch die Auslegung der Bahnleitung zu begrenzen, jedoch nicht vollständig zu beseitigen.
- Wo weitere Objekte vorhanden sind, die möglicherweise beeinflusst werden, 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 Änderungen der R_{ISO} -Werte außerhalb des Schwellenwerts 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 werden 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.

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 die Folgenden:

- a) Bahnanlagen;
- b) Freileitungen für Fahrzeuge;
- c) O-Bus-Netze;
- d) Versorgungssysteme;
- e) Geräte an Industriestandorten, z. B. Schweißgeräte;
- f) Kommunikationssysteme;
- g) Messeinrichtungen;
- h) kathodische Korrosionsschutzsysteme;
- i) Hochspannungs-Übertragungssysteme, siehe Anhang E;
- j) Stromkreis-Signalisierungssysteme (in Bezug auf Streuströme von Bahnanlagen enthält IEC 62128-2 Anforderungen an die Minimierung der Erzeugung und die Auswirkungen innerhalb des Bahnsystems);
- k) photovoltaische Versorgungssysteme, siehe Anhang H;
- l) Offshore-Windpark-Energieanlagen;
- m) geomagnetische Beeinflussung (tellurische Ströme), siehe Anhang D;
- n) Gezeitenschwankungen, siehe Anhang G.

Wechselstromsysteme (siehe Anhang F), die Spannungen in erdverlegten Objekten induzieren können, umfassen

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

6.2 Gleichstrom

6.2.1 Allgemeines

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

6.2.2 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. IEC 62128-2 enthält eine Leitlinie zu zulässigen Grenzwerten.

6.2.3 Industrieanlagen

6.2.3.1 Allgemeines

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

6.2.3.2 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 Fremdobjekte nicht erhöhen.

6.2.3.3 Photovoltaische Beeinflussung an erdverlegten Rohrleitungen

Ableitströme in photovoltaischen Systemen entstehen durch einen Fehler oder durch den systematischen und unvermeidlichen Gleichstromfluss, wenn ein Schaden der Kabelisolierung von PV-Modulen und anderen Anlagenbauteilen vorliegt. 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.

6.3 Wechselstrom

6.3.1 Allgemeines

Wechselstrombetriebene Systeme können Beeinflussungen von Rohrleitungen aufgrund von induktiven, leitenden und kapazitiven Kopplungsmechanismen bedingen, die in den Literaturhinweisen [3] und [6] beschrieben sind.

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

Die Potentiale und Stromdichten, die zur Bestimmung des Korrosionsrisikos aufgrund einer Wechselstrombeeinflussung verwendet werden, sind ausführlich in den Literaturhinweisen [3] und [6] dargelegt.

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

6.3.2 Starkstrom-Freileitungen und erdverlegte Starkstromleitungen

6.3.2.1 Allgemeines

Starkstrom-Freileitungen können, hauptsächlich durch Induktion, unannehmbare 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.

6.3.2.2 Erdverlegte Starkstromkabel

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

6.3.2.3 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 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 induzierten Spannungen verstärken [5].

6.4 Hochspannungsgleichstrom-Übertragungssysteme

Es gibt zwei hauptsächliche Konfigurationen von Hochspannungsgleichstrom-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 Metallobjekte auch in erheblichem Abstand von den Elektrodenstation 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.

Zusätzliche Informationen sind in Anhang E angegeben.

6.5 Natürliche Beeinflussung

6.5.1 Allgemeines

Natürliche niederfrequente Beeinflussung wird durch Schwankungen des geomagnetischen Felds und durch gezeitenbedingte 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 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.)

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.)

7 Feststellung und Messung der Streustrombeeinflussung

7.1 Kurzbeschreibung

Die Feststellung der Streustrombeeinflussung wird durch Analyse der Messungen erreicht. Die Bewertung der Beeinflussung erfolgt durch einen Vergleich der Daten mit den Abnahmekriterien.

Die Messungen müssen so geplant werden, dass alle bekannten Informationen bezüglich der Abnahmekriterien für die Beeinflussung (Tabelle 1 für Gleichstrom) berücksichtigt werden. Insbesondere sollten die folgenden Punkte berücksichtigt werden:

- Art der Kopplung der Beeinflussung (Wechsel- und/oder Gleichstrom);
- relative Position zur Streustromquelle (ortsfern oder benachbart);
- zu erwartende Dauer der anodischen Abweichung ($T_{a,max}$);
- zu erwartende 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 Folgendem:

- a) die korrekte Position der zu messenden Bezugselektrode und/oder von Probestücken (siehe Anhang B);
- b) Identifizierung des Bereichs mit der höchsten Beeinflussung (Anhang B);
- c) Konfiguration des Probestücks oder der Messprobe (Größe und Form);
- d) Anschluss von Probestück oder Messprobe an die Rohrleitung;
- e) Abtastrate des Messsystems;
- f) Dauer der Messung (siehe 7.3.6);
- g) Ein-/Aus-Schaltverhältnis.

Die Bewertung der Beeinflussung kann auf mehreren unterschiedlichen Messungen an repräsentativen Stellen in Bezug auf eine Bezugselektrode beruhen:

- Objektpotentiale;
- Strom, der durch ein Probestück oder eine Messprobe fließt;
- Messung des IR-freien Potentials eines Probestücks oder einer Messprobe;
- Spannung zwischen zwei Bezugselektroden;
- Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit an einem Probestück oder einer Messprobe;
- Rohrstrommessung.

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

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

7.2 Streustrombeeinflussung

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 18086:2019, Anhang G, beschrieben. Da die induktive Kopplung üblicherweise mit einer hohen Isolationsqualität des beeinflussten Objekts verbunden ist, kann 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, außerhalb des Einflusses von Feldgradienten, die durch Umhüllungsbeschädigungen 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 Probestück 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 Probestück 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.

IEC 62128-2 und Literaturhinweis [26] stellen Beispiele eines Berechnungsverfahrens zur Bestimmung der elektrischen Feldverteilung einer Schiene bereit. Anhand dieser Gleichungen kann eine Korrektur für die Elektrodenanordnung vorgenommen werden.

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.

Ein-/Aus-Schaltmessungen an Probestücken können zum Beispiel hohe Schaltfrequenzen und Abtastraten erfordern. Abtastraten müssen so gewählt werden, dass sie eine genaue und aussagekräftige Messung des zu untersuchenden Signals und der zu untersuchenden Erscheinungen ermöglichen.

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 [3] fordert gemessene Effektivwerte des Potentials als Teil des Prozesses der Risikobeurteilung. Die 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. Schaltnetzwerke, Öfen, Industrieanlagen, gehören.

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

Zur korrekten Messung des Effektivwertes des Potentials müssen digitale Spannungsmessgeräte mit einer 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 Abschnitt 7 beschrieben.

Wenn kein direkter Anschluss an die beeinflusste Rohrleitung möglich ist, kann 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

Die Auswirkung der Einbindung des Nebenwiderstands in den zu messenden Stromkreis sollte aufgrund des Nebenwiderstands nicht zu einer Messgenauigkeit schlechter als $\pm 2,5$ % 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 muss über eine repräsentative Dauer durchgeführt werden. Die folgenden Aspekte müssen berücksichtigt werden:

- Im Fall einer konstanten Beeinflussung (z. B. kathodischer Korrosionsschutz) entspricht das mindestens 3 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 (z. B. tellurisch, HVAC) 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.

7.3.7 Spezielle Anforderungen an Probebleche bzw. Messproben

Im Fall einer Beeinflussung durch Wechselstrom ist nach Literaturhinweis [3] die Verwendung eines Probeblechs mit einer Fläche von 1 cm² erforderlich. Bei Streustrombeeinflussung durch Gleichstrom können verschiedene Probeblechgrößen verwendet werden [6].

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.

Es ist nicht immer möglich, die Messprobe im ursprünglichen Boden zu installieren. In diesem Fall kann ein äquivalenter (d. h. bezüglich der chemischen Eigenschaften) Ersatzboden gewählt werden, der die ungünstigsten Bedingungen repräsentiert (siehe Literaturhinweis [6]).

7.4 Messung der Korrosionsgeschwindigkeit

Abnahmekriterien für die Beeinflussung durch Gleichstrom können entweder auf der direkten Messung der Korrosionsgeschwindigkeit (siehe 8.2) oder allgemeinen elektrischen Parametern (siehe 8.1) 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 Probedeleches ist die Anordnung an der repräsentativen Stelle, wie in 7.2 beschrieben, erforderlich.

8 Abnahmekriterien für die Beeinflussung durch Gleichstrom

8.1 Übersicht der Kriterien

Der Grad der Streustrombeeinflussung gilt als annehmbar, wenn die in Tabelle 1 angeführten Kriterien eingehalten werden.

Für Objekte, die nicht kathodisch geschützt sind, wird als Basiswert für die Beurteilung der anodischen und kathodischen Beeinflussungsgrade das Potenzial verwendet, das in Perioden ohne Beeinflussung gemessen wird [Korrosionspotenzial (E_{cor})].

Bei Objekten, die kathodisch geschützt sind, kann der Basiswert zur Beurteilung der anodischen und kathodischen Beeinflussungsgrade das Einschaltpotential sein, das zum Erreichen eines wirksamen kathodischen Korrosionsschutzes erforderlich ist [Referenzpotential (E_{ref})].

Tabelle 1 — Übersicht der Kriterien für die Beurteilung der Streustrombeeinflussung

	Nicht kathodisch geschützt	Kathodisch geschützt
Objekte aus Stahl und Gusseisen		
Anodische Beeinflussung (d. h. wenn das Potential anodischer ist als das Potential während der Zeiträume der Nichtbeeinflussung) Zeitlich konstant	Verschiebung des anodischen Potentials (in Bezug zu E_{cor}) 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 (in Bezug zu E_{cor}) $\Delta E_{a, \text{IR-free}}$ (ohne IR-Abfall): $\Delta E_{a, \text{IR-free}} \leq 20 \text{ mV}$ Siehe 8.3.1.1.2	IR-freies Potential $E_{\text{IR-free}}$: $E_{\text{IR-free}} \leq E_p$ (E_p = Schutzpotential nach Literaturhinweis [7]) 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 Zeitvariant	Durchschnittliche Verschiebung des anodischen Potentials (in Bezug zu E_{cor}) $\Delta E_{a,avg}: \Delta E_{a,avg} \leq \Delta E_a$ Siehe 8.3.1.1.2	IR-freies Potential $E_{IR-free}$: $E_{IR-free} \leq E_p$ (E_p = Schutzpotential nach Literaturhinweis [7]) Verschiebung von $E_{on,avg}$: $E_{on,avg} \leq E_{ref} - \Delta E_{a,avg}$ Siehe 8.3.1.1.3 ^a
	Durchschnittliche Verschiebung des kathodischen Potentials $\Delta E_{c,avg}$: $\Delta E_{c,avg} \leq 500 \text{ mV}$ (einschließlich IR-Abfall) Siehe 8.3.1.2	
Alle Bedingungen	Bemessungswert der Korrosions- geschwindigkeit Siehe 8.2	$v_{cor} \leq 0,01 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ Siehe 8.2
Stahl in Beton ohne kathodischen Korrosionsschutz		
Anodische Beeinflussung Zeitlich konstant Zeitvariant	Verschiebung des anodischen Potentials (in Bezug zu E_{cor}) ΔE_a : $\Delta E_a \leq 200 \text{ mV}$ siehe 8.4.1 $\Delta E_{a,avg} \leq 200 \text{ mV}$ siehe 8.4.2	
^a Weiterführende Informationen können Anhang A und Anhang J entnommen werden.		

8.2 Korrosionsgeschwindigkeit

Nach Literaturhinweis [7] ist das Rohrleitungs-Elektrolyt-Potential, bei dem die Korrosionsgeschwindigkeit für Kohlenstoffstahl und Gusseisen weniger als $0,01 \text{ mm je Jahr}$ ($10 \mu\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$) 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:

$$v_{cor} \leq 0,01 \text{ mm je Jahr } (10 \mu\text{m} \cdot \text{a}^{-1})$$

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 [3] 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 gemessen werden.