

DIN EN ISO 21857



ICS 75.200

Entwurf

Einsprüche bis 2021-08-18
Ersatz für
E DIN EN ISO 21857:2019-10

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

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

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-06-18 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 oder 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 153 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 prEN 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).

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 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 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*

— Leerseite —

<i>Titel de:</i>	Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie — Vermeidung von durch Streuströme beeinflusster Korrosion an Rohrleitungssystemen (ISO 21857:2021)
<i>Titel en:</i>	Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Prevention of corrosion on pipeline systems influenced by stray currents (ISO 21857:2021)
<i>Titel fr:</i>	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)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Abkürzungen und Symbole	11
4.1 Abkürzungen	11
4.2 Symbole	11
5 Informationsaustausch und Zusammenarbeit	13
6 Häufige Beeinflussungsquellen, die die Korrosion beeinflussen können	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Gleichstrom	14
6.2.1 Allgemeines	14
6.2.2 Bahnanlagen	15
6.2.3 Industrieanlagen	15
6.3 Wechselstrom	15
6.3.1 Allgemeines	15
6.3.2 Starkstrom-Freileitungen und erdverlegte Starkstromleitungen	15
6.4 Hochspannungsgleichstrom-Übertragungssysteme	16
6.5 Natürliche Beeinflussung	16
6.5.1 Allgemeines	16
6.5.2 Geomagnetische (tellurische) Beeinflussung	17
6.5.3 Auswirkungen der gezeitenbedingten Beeinflussung	17
7 Feststellung und Messung von Streustrombeeinflussung	17
7.1 Kurzbeschreibung	17
7.2 Streustrombeeinflussung	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	20
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	25
9.1	Allgemeines	25
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	27
9.2.6	Tellurische Beeinflussung.....	28
9.2.7	Gleichstrom-Kommunikationssysteme.....	29
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) Anwendung von Strommessproben zur Bewertung veränderlicher Streustrombeeinflussung an kathodisch geschützten Objekten		32
A.1	Allgemeines	32
A.1.1	Hintergrund.....	32
A.1.2	Messverfahren	32
A.2	Auswertung der Messung.....	33
Anhang B (informativ) Bestimmung der relevanten Position für die Anordnung von Bezugselektroden, Probeblechen und Messproben im Fall einer leitenden Kopplung, die durch Streuströme verursacht wird.....		35
B.1	Einleitung	35
B.2	Optimierte Beurteilung der Streustrombeeinflussung.....	40
Anhang C (informativ) Funktionsprinzipien von ER-Proben.....		42
Anhang D (informativ) Geomagnetische Beeinflussung		43
D.1	Einleitung	43
D.2	Rohrleitungsbezogene Modellierung.....	43
D.3	Beispiel einer Modellberechnung	47
D.3.1	Allgemeines	47
D.3.2	Schritt 1 – Erfassung der Parameter der Rohrleitung	48
D.3.3	Schritt 2 – Berechnung elektrischer Parameter	49
D.3.4	Schritt 3 – Bestimmung der Pi-Ersatzschaltung für alle Rohrleitungsabschnitte	49
D.3.5	Schritt 4 – Kombinieren von Pi-Ersatzschaltungen zu einem Knotenadmittanznetzwerk.....	50
D.3.6	Schritt 5 – Erstellen der Admittanzmatrix	50
D.3.7	Schritt 6 – Inversion der Admittanzmatrix	51
D.3.8	Schritt 7 – Bestimmen von Ersatzstromquellen für nordwärts und ostwärts gerichtete elektrische Felder und Summieren dieser an jedem Knoten, um die Knotenstromquellen J zu erhalten.....	51
D.3.9	Schritt 8 – Multiplizieren der invertierten Admittanzmatrix mit der J -Spaltenmatrix, um die Knotenspannungen zu erhalten (siehe Tabelle D.10)	53

D.3.10 Schritt 9 – Verwendung der Knotenspannungen zur Berechnung des Rohrleitungspotentials innerhalb jedes Abschnitts	53
Anhang E (informativ) Beeinflussung durch Hochspannungsgleichstrom	54
E.1 Anschlussender	54
E.2 Beeinflussungsmessungen vor der Inbetriebnahme	54
E.3 Beeinflussungsmessungen nach der Inbetriebnahme	54
E.4 Schutzmaßnahmen	54
E.5 Umrichterstationen	55
Anhang F (informativ) Beeinflussung durch Wechselstrom	56
F.1 Allgemeines	56
F.2 Berechnungen der LFI	56
F.3 Berechnungsbeispiele (ohne und mit Erdleiter)	58
Anhang G (informativ) Gezeitenwirkungen	61
Anhang H (informativ) Photovoltaische Beeinflussung	62
H.1 Photovoltaische Beeinflussung an erdverlegten Rohrleitungen	62
H.2 Quelle von Gleichstrom-Ableitströmen	62
H.2.1 Übliche Betriebsbedingungen	62
H.2.2 Unentdeckte Störfallzustände	63
H.3 Photovoltaische Beeinflussung und Streustromkorrosion	63
H.4 Feststellung und Messung von Streustrombeeinflussung	63
H.5 Verminderung der Streustrombeeinflussung durch Gleichstrom	64
Anhang I (informativ) Modellierung der Auswirkungen von Streustrombeeinflussung an kathodisch geschützten Rohrleitungen	65
I.1 Einleitung	65
I.2 Anforderungen im Vorfeld der Modellierung	65
I.3 Modellspezifikation	68
I.4 Methodik der Modellierung	68
I.5 Modellvalidierung	68
Anhang J (informativ) Beurteilung des Korrosionsrisikos bei Stahl in Beton oder bei kathodisch geschützten Objekten unter zeitvarianten Beeinflussungsbedingungen	69
Anhang K (informativ) Grundsätze der anodischen und kathodischen Beeinflussung	74
Literaturhinweise	77

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 prEN ISO 21857:2021 übernommen, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 21857:2021 wurde von CEN als prEN 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 Richtlinien 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) Stahlpundwand.

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 *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 *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 *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

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 betrifft

BEISPIEL Starkstromleitungen, Bahnanlagen.

3.12

Gleichspannungsbeeinflussung

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

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 Probeblech
J	Stromdichte
J_{a}	anodische Stromdichte
J_{c}	kathodische Stromdichte
J_{cpn}	Stromdichte des Probeblechs
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}	Probeblech-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) Gezeitschwankungen, 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 Dreieckskonfiguration 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 von 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 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.

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 Probeblechen 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. Schaltnetzteile, 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 Probestückes 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}) $\Delta E_{a,IR-free}$ (ohne IR-Abfall): $\Delta E_{a,IR-free} \leq 20 \text{ mV}$ Siehe 8.3.1.1.2	IR-freies Potential $E_{IR-free}$: $E_{IR-free} \leq E_p$ (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.

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 wasser-verlegte 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	$1,5 \text{ mV } (\Omega \cdot m)^{-1} \cdot \rho^a$	20
< 15	20	20
^a 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 Literaturhinweis [7] angeführten Kriterien für das Schutzpotential E_p einhält.

8.3.1.2 Kathodische Beeinflussung

Die zutreffende kathodische Beeinflussung wird anhand der Verschiebung des kathodischen Potentials ΔE_c bewertet, wenn die Beeinflussungsquelle in und außer Betrieb ist. Dieser Wert wird durch die Differenz des gemessenen Potentials mit der Beeinflussungsquelle in Betrieb minus dem Potential mit der Beeinflussungsquelle außer Betrieb bestimmt.

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 Konformität der in 8.3.1.1.2 und 8.3.1.1.3 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

8.3.2 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 $E_{\text{on}}(t)$, 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 E_{ref} (siehe Anhang J) festgelegt. Das Beeinflussungssignal wird über einen repräsentativen Zeitraum überwacht.

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

Bei installierten Probestücken beruht die Beurteilung auf der Messung der Stromstärke am Probestück (I_{cpn}), aus der die Stromdichte (J_{cpn}) 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 $\Delta E_{a,\text{avg}}$ wird anhand einer repräsentativen Messung von $E(t)$ beurteilt, die die Intervalle aufzeigt, in denen die Beeinflussungsquelle in und außer Betrieb ist.

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

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

Die anodische Beeinflussung gilt als annehmbar, wenn $\Delta E_{a,\text{avg}}$ innerhalb der für ΔE_a festgelegten Grenzen liegt (siehe 8.3.1.1.2).

8.3.2.2.2 Kathodisch geschützte Objekte

Eines dieser vier Verfahren kann zur Bestimmung angewendet werden, ob die zeitvariante Beeinflussung annehmbar ist:

- Die zeitvariante Beeinflussung gilt als annehmbar, wenn das IR-freie Potential des Objekts E_{IRfree} innerhalb der in Literaturhinweis [7] angeführten Grenzen für das Schutzpotential E_p liegt. Das IR-freie Potential kann unter Verwendung von Probestücken gemessen werden.
- Das Bezugs-Einschaltpotential E_{ref} bei dem ein wirksamer CP nach Literaturhinweis [7] gerade erreicht wird, wird während des Zeitraums ohne Beeinflussung (z. B. nachts ohne Zugbetrieb) bestimmt. Anschließend wird die durchschnittliche Verschiebung des anodischen Potentials $\Delta E_{a,\text{avg}}$ 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:

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

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

ANMERKUNG Der Wert von $T_{a,max} = 250$ s ist ein konservativer Wert, der aus Feldmessungen von typischen Beeinflussungen von Gleichstrom-Bahnanlagen abgeleitet wurde.

- c) Anhang J enthält eine verallgemeinerte Beschreibung von Verfahren (b), das für den gesamten Frequenzbereich der Streustrombeeinflussung anwendbar ist, sowie Einzelheiten zum Q-Verfahren. Das Q-Verfahren nutzt das Verhältnis zwischen der anodischen und kathodischen Ladung 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 enthält Einzelheiten eines alternativen Verfahrens. Dieses Verfahren ist konservativer als b) oder c).

8.3.2.3 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 8.3.1.1.2) 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 Konformität der in 8.3.2.2 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 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 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.

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 IEC 62128-2 angeführten Grenzen).

Objekte, die eine Beeinflussungsquelle sind, dürfen nicht mit fremden erd- oder wasserverlegten Metall-objekten verbunden werden, es sei denn, es ist aus Sicherheitsgründen oder zum Schutz gegen Streustrom-korrosion 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.

Bei Schweißvorgängen muss der Schweißstromkreis so kurz wie möglich sein. Geerdete Metallobjekte, wie z. B. Bahn- oder Kranschienen, oberirdische Rohrkreuzungen oder fremde erdverlegte Rohrleitungen, dürfen nicht zum Führen von Schweißstrom 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, werden häufig mit Gleichstrom vom Land versorgt.

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.

9.2.4 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 Erdungssystem. 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 sind Streuströme gegenüber einem potentialfreien Erdungssystem möglicherweise erhöht, 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 IEC 62128-2 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 mit den Anforderungen nach IEC 62128-2 übereinstimmen. 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;
- e) Nutzbremmung.

Viele dieser Parameter werden zwangsläufig früh im Planungsprozess festgelegt. Sobald ein System einsatzbereit ist, ist der größte einzelne Faktor, der die Streustrompegel ändert, der Widerstand der Schienen gegen Erde [8] [9]. Eine mangelhafte Kontrolle des Widerstands von Schienen gegen Erde 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 Gleichrichters, der an einem beeinflussenden Objekt installiert ist, muss auf den niedrigsten Wert eingestellt werden, der erforderlich ist, um einen kathodischen Korrosionsschutz zu erreichen (siehe Literaturhinweis [7]). Die Möglichkeit zur Aufteilung des Gesamtstroms durch zusätzliche Gleichrichter und Anodenfelder hilft, eine Beeinflussung durch Gleichstrom zu kontrollieren und das Risiko für Überpolarisierung zu verringern.

9.2.5.2 Erhöhung des Widerstandes der Umhüllung

Objekte mit hochwertiger Umhüllung (z. B. $> 10^6 \Omega \cdot m^2$) erfordern einen geringeren kathodischen Schutzstrom und verringern daher das Risiko einer Streustrombeeinflussung von ihrem kathodischen Korrosionsschutzsystem auf ein Mindestmaß.

Möglicherweise müssen Umhüllungsbeschädigungen an einem kathodisch geschützten Objekt geortet und mit einer hochwertigen Umhüllung repariert werden, wenn der Grad der Beeinflussung von benachbarten Objekten vermindert werden muss.

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.

Der Gradient des Bodenpotentials bestimmt den Grad der Beeinflussung angrenzender Objekte. Die Berechnungen können mit Standardgleichungen oder durch Modellierung durchgeführt werden (siehe Literaturhinweis [10]). Anhang I enthält allgemeine Anforderungen für die Modellierung.

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 wie folgt erreicht werden:

- 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 an einem Ende auf die Rohrleitung, entlang der Rohrleitung, und werden am anderen Ende der Rohrleitung zur Erde abgeleitet. Wenn ein geringer Widerstand zwischen dem Rohrsteel 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.)

Die folgenden Faktoren sollten bei der Auslegung der Rohrleitung berücksichtigt werden, wenn der durch eine tellurische Beeinflussung bedingte Spannungsfall beurteilt wird, der möglicherweise wie folgt auftritt:

- 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 die Nutzung von potentialgesteuerten Schutzstromgeräten.

9.2.7 Gleichstrom-Kommunikationssysteme

Gleichströme von Kommunikationssystemen dürfen keine Quelle für eine Streustrombeeinflussung von nahegelegenen Rohrleitungen oder Kabeln sein. Rohrleitungen oder Kabel dürfen nicht für Erdungsanschlüsse benutzt werden.

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 Literaturhinweis [11]);
- b) Veränderung der elektrischen Längsleitfähigkeit des beeinflussten Objekts (z. B. Einbau von Isolierkupplungen);
- 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 können, ist bestimmt durch Kriterien, die sowohl das beeinflussende als auch das beeinflusste Objekt betreffen, darunter die folgenden:

- die Lage der Beeinflussungsquelle, die wichtig sein kann beim Finden einer Lösung, die sowohl technisch als auch wirtschaftlich zufriedenstellend ist;
- der elektrische Zustand des beeinflussten Objekts (z. B. die Art der Isolierung), die elektrische Längsleitfähigkeit und ob ein kathodischer Korrosionsschutz verwendet wird;
- der elektrische Zustand des beeinflussenden Objekts (z. B. die Art der Isolierung), die elektrische Längsleitfähigkeit und ob ein kathodischer Korrosionsschutz verwendet wird;
- 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 wie folgt erreicht werden:

- 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 und Anhang B).

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 Literaturhinweis [7] angeführten Verfahren oder durch Einstellung des Gradienten des Bodenpotentials nach Literaturhinweis [11], 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 direkte Streustromableitung oder eine gerichtete Streustromableitung von dem beeinflussten Objekt zurück zur Gleichstromquelle erreicht werden. Unter bestimmten Umständen ist es notwendig, eine erzwungene Streustromableitung zu verwenden, was eine zugeordnete Energiequelle erfordert.

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

Bei kathodisch geschützten Objekten dürfen keine direkten Streustromableitungen 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 Falle einer dauerhaften Wechselstrom-Minderung sollten die Elektroden über eine Gleichstrom-Entkopplungseinrichtung verbunden werden, es sei denn, sie sind auslegungsbedingt für den kathodischen Korrosionsschutz des Rohres erforderlich.

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 Literaturhinweis [7] für weiterführende 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 [12]. 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 Literaturhinweis [7]) 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 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 vorgeschriebenen Intervallen geprüft und gewartet werden, mindestens entsprechend den in Literaturhinweis [7] angegebenen Intervallen.

Anhang A (informativ)

Anwendung von Strommessproben zur Bewertung veränderlicher Streustrombeeinflussung an kathodisch geschützten Objekten

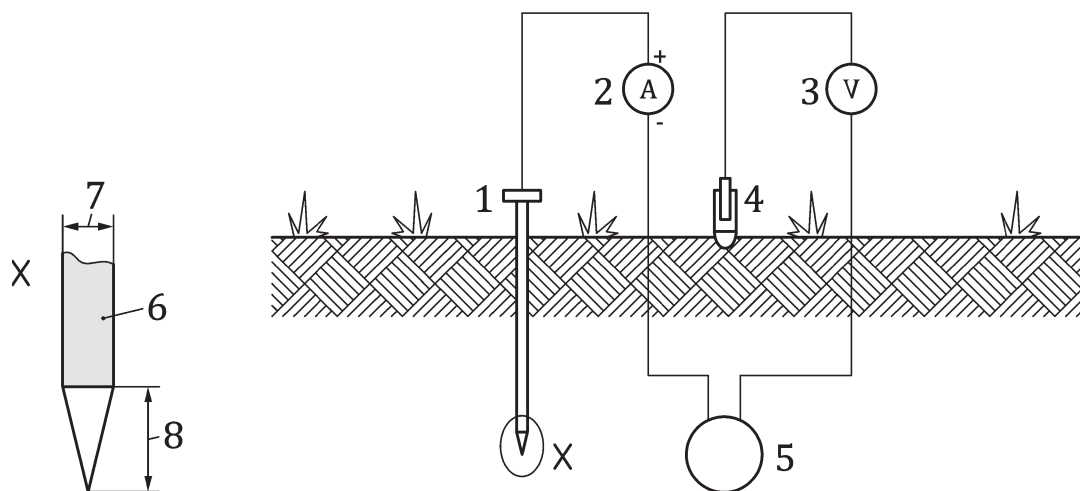
A.1 Allgemeines

A.1.1 Hintergrund

Dieses Verfahren wurde aus praktischen Erfahrungen in den Niederlanden für Rohrleitungen entwickelt, die in der Vergangenheit bei Einschaltpotentialen zwischen $-0,85\text{ V}$ bis $-1,0\text{ V}_{\text{CSE}}$ betrieben wurden. Das Korrosionsrisiko wird bei Anwendung unter diesen Bedingungen korrekt bewertet. Dieses Verfahren kann jedoch zu einer Überschätzung des Korrosionsrisikos führen, wenn negativere Niveaus des kathodischen Korrosionsschutzes angewendet werden.

A.1.2 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 | 5 | Objekt |
| 2 | aufzeichnendes Strommessgerät | 6 | Isolierung |
| 3 | aufzeichnendes Spannungsmessgerät | 7 | 16 mm Durchmesser (zum Beispiel) |
| 4 | Elektrode | 8 | 65 mm (zum Beispiel) |

Bild A.1 — Messverfahren

Eine isolierte Stahl-Messprobe mit blanker Oberfläche wird in die Erde auf Höhe der Rohrleitung eingebracht (siehe Anhang B für weitere Anleitung zur Anordnung des Probeblechs). 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.

A.2 Auswertung der Messung

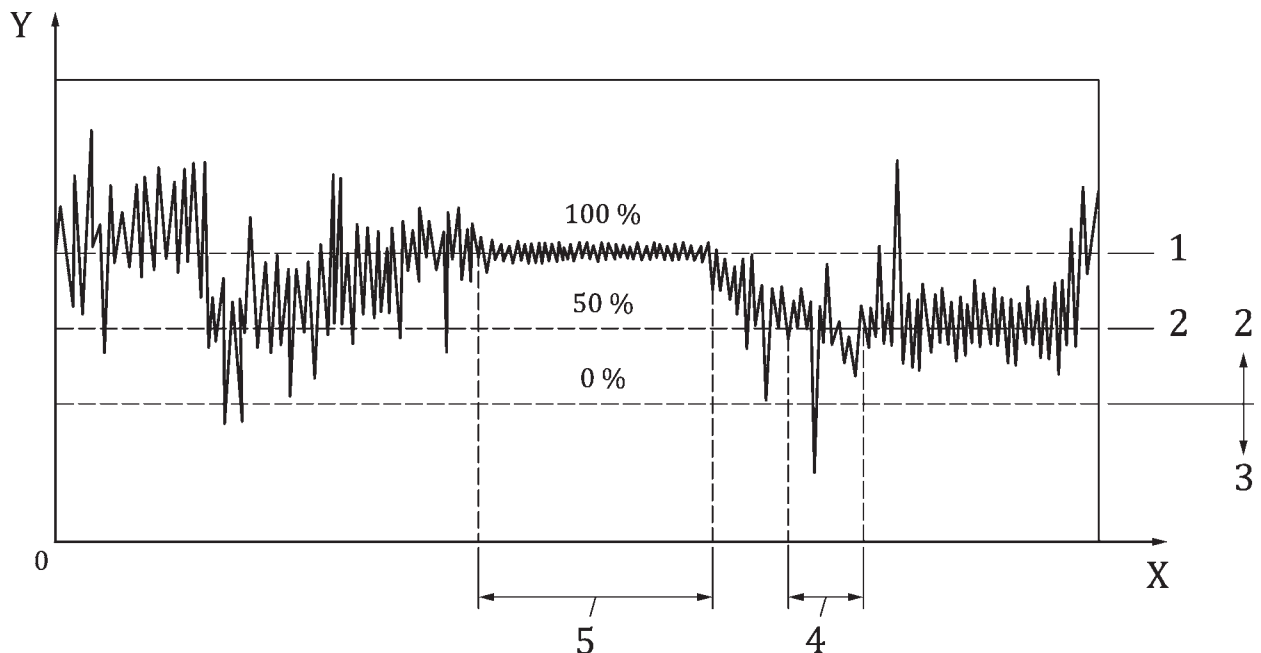
A.2.1 Der Probenstrom, der dem kathodischen Schutzpotential der Rohrleitung (nach ISO 15589-1) entspricht, wird während einer Zeitdauer gemessen, in der die Rohrleitung nicht von veränderlichem Streustrom beeinflusst wird (z. B. nachts). Dieser Probenstrom wird als 100 % festgelegt (Bezugswert), wie in Bild A.2, Periode „A“, gezeigt.

A.2.2 Der Probenstrom (das Ergebnis des kathodischen Schutzstromes und des Streustromes) wird kontinuierlich während einer Zeitdauer von üblicherweise 24 h aufgezeichnet.

A.2.3 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).

A.2.4 Probenströme unterhalb eines beliebigen der in Tabelle A.1, Spalte 1, angeführten Werte weisen auf ein hohes Korrosionsrisiko hin, wenn ihre gesamte Zeitdauer die zugehörigen Werte in Tabelle A.1, Spalte 3, überschreitet.

Das Korrosionsrisiko ist in Bild A.3 grafisch dargestellt.



Legende

- 1 Bezugswert
- 2 eintretend
- 3 austretend
- 4 Periode B (Stunde mit höchster Beeinflussung)
- 5 Periode A
- Y Probenstrom, in mA
- X Zeit, in Stunden
- A Periode, während der der Bezugswert gemessen wird
- B Periode mit der höchsten Verringerung des Bezugswerts

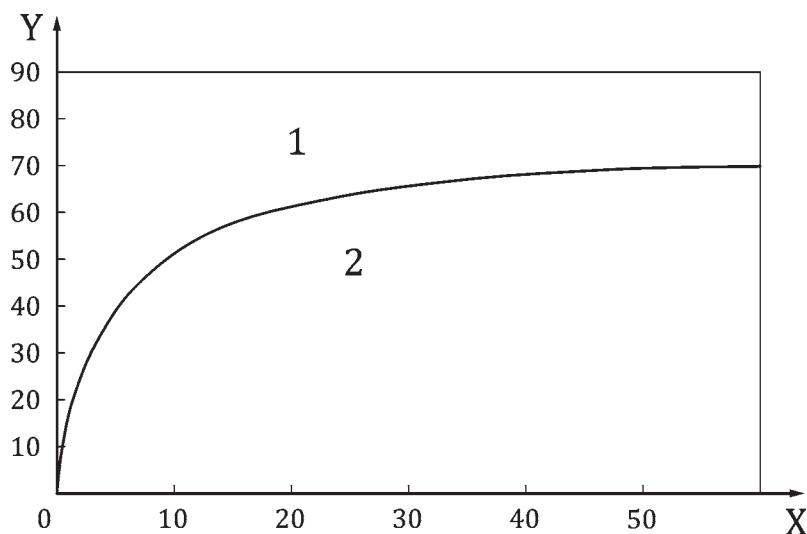
Bild A.2 — Beispiel für das Ergebnis einer Messung des Probenstroms

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

Probenstrom des Bezugswerts %	Maximal zulässige Zeitdauer des Auftretens	
	Stunde mit höchster Beeinflussung %	in Sekunden
> 70	unbegrenzt	unbegrenzt
< 70	40	1 440
< 60	20	720
< 50	10	360
< 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, möglicherweise 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, die durch Streuströme verursacht wird

B.1 Einleitung

Der aus der Schiene austretende Streustrom verursacht einen ohmschen Spannungsfall ΔE im Boden, der durch die beiden in Bild B.1 dargestellten Umhüllungsbeschädigungen aufgenommen wird. Da die beiden Umhüllungsbeschädigungen eine identische Größe und folglich einen ähnlichen Ausbreitungswiderstand haben, können die Verschiebung des anodischen Potentials ΔE_a und des kathodischen Potentials ΔE_c in einer ersten Näherung als identisch angenommen werden.

Die Messung der Streustrombeeinflussung in der Konfiguration in Bild B.1 führt zur korrekten Bestimmung der durch den Streustrom verursachten anodischen Beeinflussung ΔE_a . Die im unteren Bild in Bild B.1 dargestellte Feldverteilung stellt die von der Bezugselektrode an der Bodenoberfläche aufgenommene Feldverteilung hinsichtlich der Bezugserde dar. Die in Bild B.1 dargestellte Potentialverteilung stellt die von der Bezugselektrode an der Bodenoberfläche aufgenommene Feldverteilung dar.

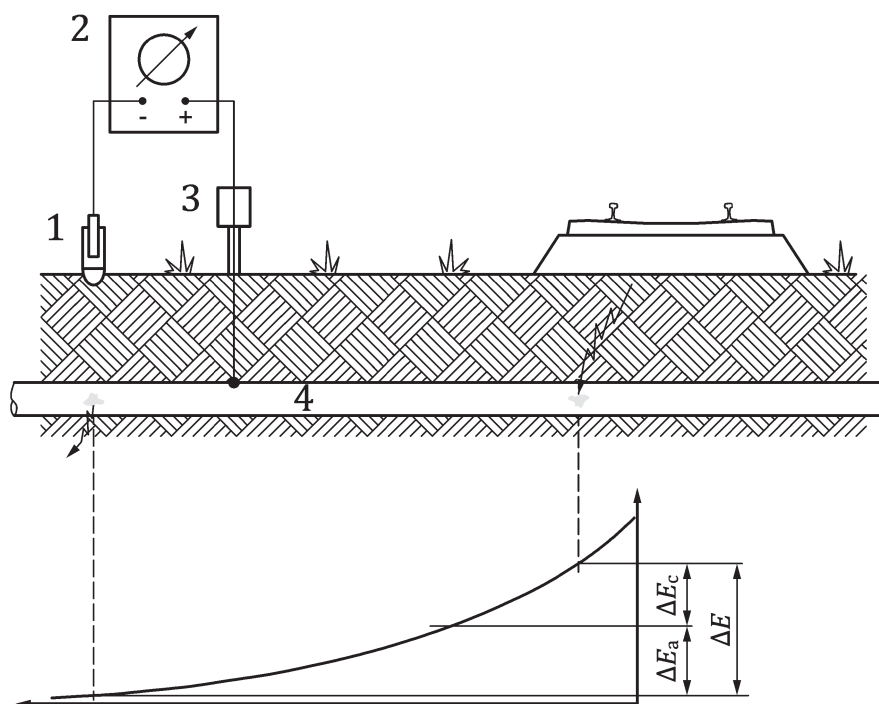
Die Anwendung der Beeinflussungsgrade in Abschnitt 8 ermöglicht die Schätzung des tatsächlichen Korrosionsrisikos. Ohne Frage stellt die Konfiguration mit nur zwei Umhüllungsbeschädigungen keinen typischen Beeinflussungsfall dar. Vielmehr kann von einer großen Anzahl von vom Schnittpunkt entfernten Umhüllungsbeschädigungen 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 ΔE ist in dieser Konfiguration nicht mehr gleichmäßig auf die beiden Umhüllungsbeschädigungen aufgeteilt. Stattdessen werden eine starke kathodische Beeinflussung ΔE_c an der kleinen Umhüllungsbeschädigung und eine schwache anodische Beeinflussung ΔE_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 ΔE_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 ΔE_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 kompliziert, 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.

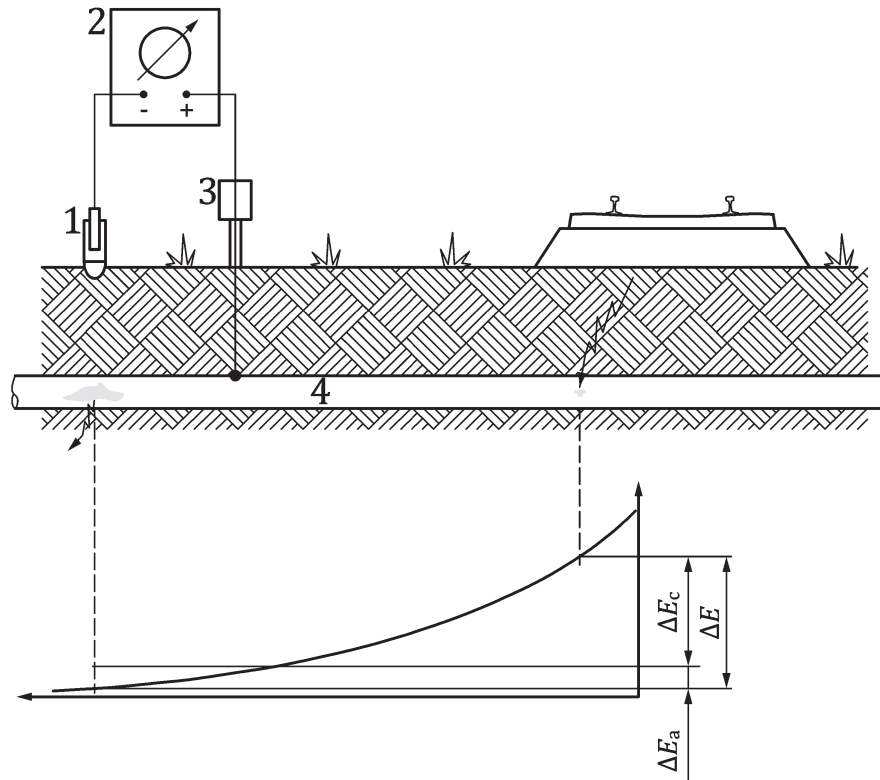


Legende

- 1 Elektrode
- 2 Spannungsmessgerät
- 3 Messstelle
- 4 Objekt

- ΔE Spannungsverschiebung
- ΔE_a anodische Verschiebung
- ΔE_c kathodische Verschiebung

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

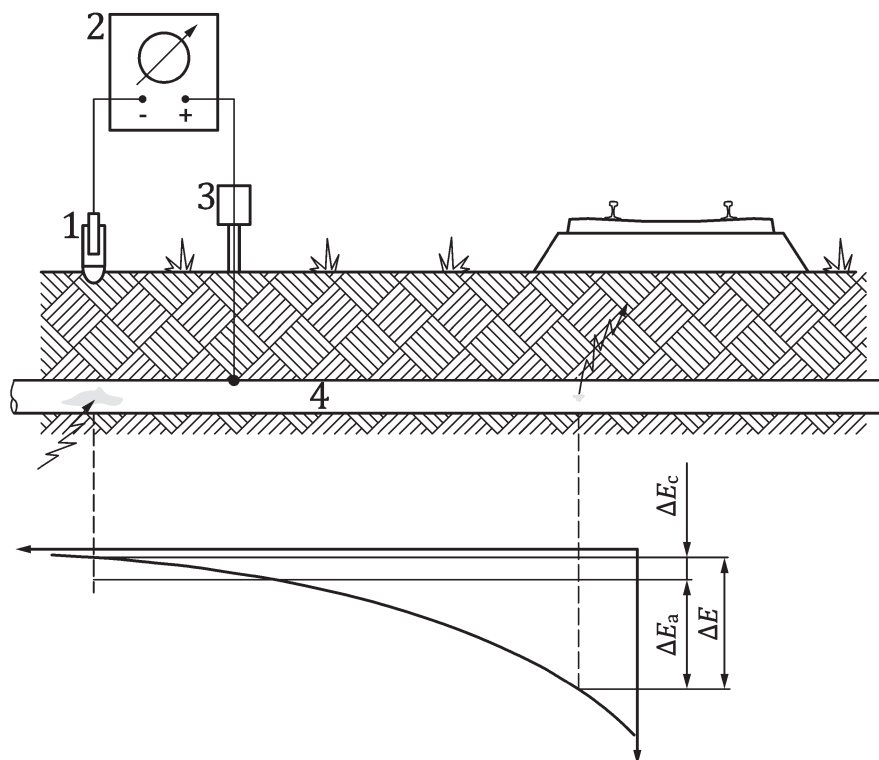


Legende

- 1 Elektrode
- 2 Spannungsmessgerät
- 3 Prüfstelle
- 4 Objekt

- ΔE Spannungsverschiebung
- ΔE_a anodische Verschiebung
- ΔE_c kathodische Verschiebung

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

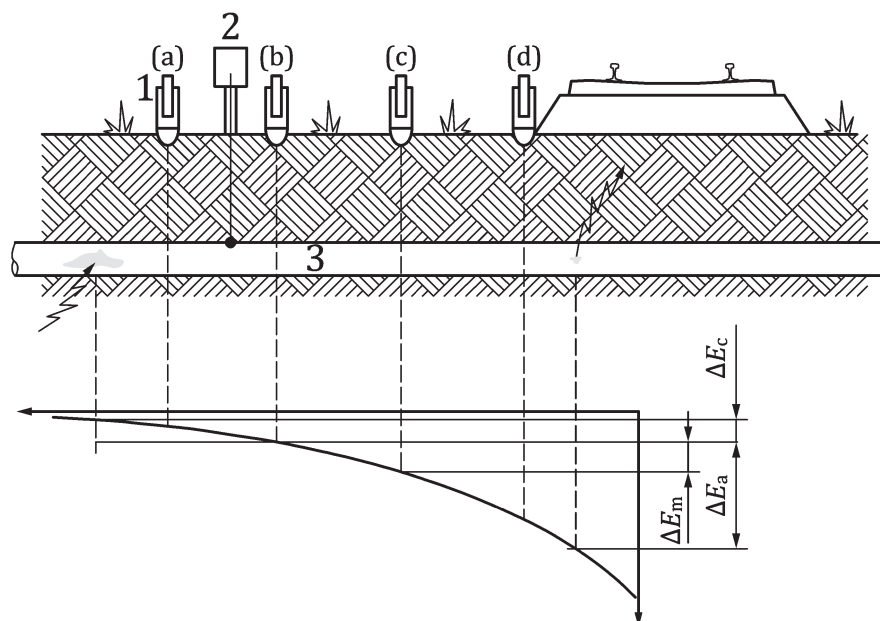


Legende

- 1 Elektrode
- 2 Spannungsmessgerät
- 3 Prüfstelle
- 4 Objekt

- ΔE Spannungsverschiebung
- ΔE_a anodische Verschiebung
- ΔE_c kathodische Verschiebung

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

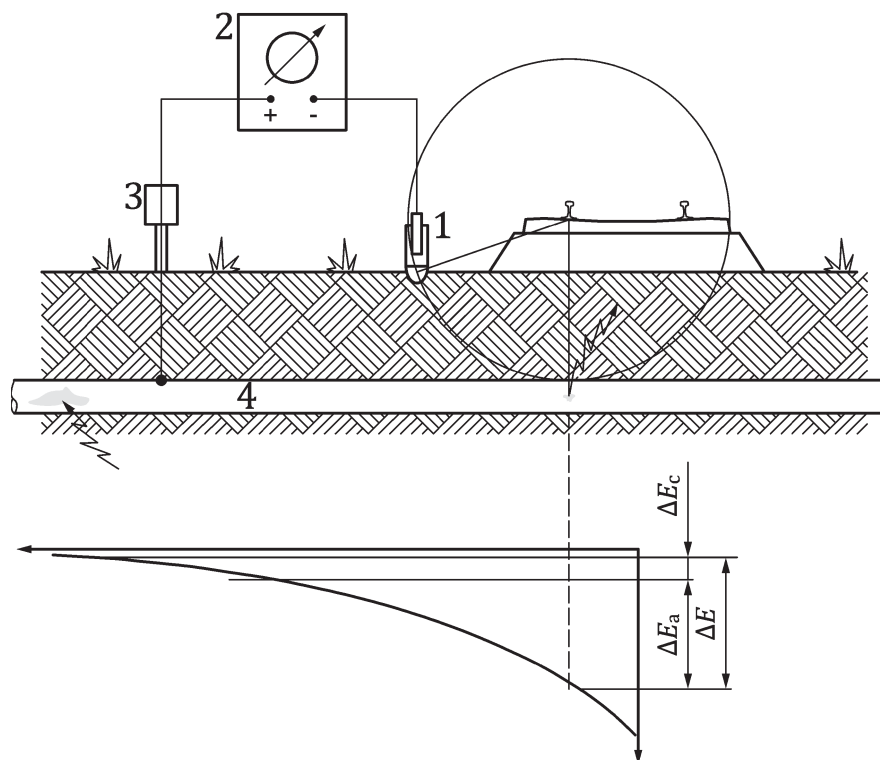


Legende

- 1 (a), (b), (c), (d) Elektroden
- 2 Spannungsmessgerät
- 3 Objekt

- ΔE_m gemessene Beeinflussung
- ΔE_a anodische Verschiebung
- ΔE_c kathodische Verschiebung

Bild B.4 — Anodische Streustrombeeinflussung einer Rohrleitung mit asymmetrischer Verteilung der Umhüllungsbeschädigungen entsprechend einer typischen Konfiguration



Legende

- 1 Elektrode
- 2 Spannungsmessgerät
- 3 Prüfstelle
- 4 Objekt

- ΔE Spannungsverschiebung
- ΔE_a anodische Verschiebung
- ΔE_c kathodische Verschiebung

Bild B.5 — Korrekte Anordnung der Bezugselektrode (oder des Probeblechs) 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 Probeblechmessung 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 Probeblech in dem gleichen Abstand zur Schiene angeordnet wird. Diese Konfiguration ist in Bild B.5 für anodische Streustrombeeinflussung einer Rohrleitung mit asymmetrischer Verteilung der Umhüllungsbeschädigungen entsprechend einer typischen Konfiguration dargestellt. Die gemessene Beeinflussung wird durch ΔE_m dargestellt.

Dieses Konzept 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)

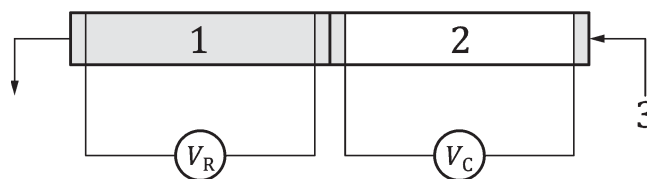
Funktionsprinzipien von ER-Proben

Die Bestimmung des elektrischen Widerstands mit einer ER-Probe (ER-Verfahren) kann zur Beurteilung der Korrosionsgeschwindigkeit angewendet werden. Andere Größen des Probedeichs, 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 (Probedeichelement) 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 Stromtausch 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 | 3 | Erregerstrom |
| 2 | Probedeichelement R_c | | |

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 einer Gleichung 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 ist

$(t = 0)$ der Bezug auf den Ausgangszustand der Messprobe;

R_r der Bezugselementwiderstand (Ω);

R_c der Probedeich-Element-Widerstand (Ω).

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