

DIN EN ISO 18086

ICS 77.060

Einsprüche bis 2017-05-24
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 15280:2013-12

Entwurf

**Korrosion von Metallen und Legierungen –
Bestimmung der Wechselstromkorrosion –
Schutzkriterien (ISO 18086:2015);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 18086:2017**

Corrosion of metals and alloys –
Determination of AC corrosion –
Protection criteria (ISO 18086:2015);
German and English version prEN ISO 18086:2017

Corrosion des métaux et alliages –
Détermination de la corrosion occasionnée par les courants alternatifs –
Critères de protection (ISO 18086:2015);
Version allemande et anglaise prEN ISO 18086:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-03-24 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 nmp@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 Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

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

Gesamtumfang 92 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)
DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG)
DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 18086:2017) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 156 „Corrosion of metal and alloys“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-01-78 AA „Kathodischer Korrosionsschutz“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN ISO 18086 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechende Deutsche Norm hingewiesen:

ISO 8044 siehe DIN EN ISO 8044

Änderungen

Gegenüber DIN EN 15280:2013-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Übernahme von EN 15280 als ISO-Norm;
- b) Überarbeitung der normativen Verweisungen;
- c) Anhang B überarbeitet, die Herleitung der Korrosionsrate des Elementes;
- d) neuer Anhang H zur gleichzeitigen Messung der Stromdichten an Probenblechen mit einer hohen Abtastrate;
- e) redaktionelle Überarbeitungen.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 8044, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Grundbegriffe (ISO 8044:2015)*

Korrosion von Metallen und Legierungen — Bestimmung der Wechselstromkorrosion — Schutzkriterien (ISO 18086:2015)

Corrosion des métaux et alliages — Détermination de la corrosion occasionnée par les courants alternatifs — Critères de protection (ISO 18086:2015)

Corrosion of metals and alloys — Determination of AC corrosion — Protection criteria (ISO 18086:2015)

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.8f

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Qualifikation von für den kathodischen Korrosionsschutz geschulten Personen	11
5 Beurteilung der Wechselstrombeeinflussung	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Beurteilung des Beeinflussungsgrades	12
6 Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom	13
6.1 Voraussetzung	13
6.1.1 Allgemeines	13
6.1.2 Wechselspannung der Anlage	13
6.2 Wechselstromdichte und Gleichstromdichte	13
6.2.1 Allgemeines	13
6.2.2 Wechselstromdichte	14
6.2.3 Hohe kathodische Gleichstromdichte	14
6.2.4 Geringe kathodische Gleichstromdichte	14
6.2.5 Verhältnis der Ströme „ $I_{a.c.}/I_{d.c.}$ “	15
6.2.6 Bodenwiderstand	15
6.3 Korrosionsrate	15
6.4 Umhüllungen der Rohrleitung	15
6.5 Beurteilung des Metallverlusts	15
7 Zulässige Beeinflussungen	16
8 Messverfahren	16
8.1 Messungen	16
8.1.1 Allgemeines	16
8.1.2 Auswahl der Messstellenstandorte	17
8.1.3 Auswahl der Messparameter	17
8.1.4 Abtastrate für die Aufzeichnung der Beeinflussung	17
8.1.5 Fehlergrenze der Messgeräte	17
8.1.6 Installation der Probestreife oder Messproben zur Berechnung der Stromdichten	17
8.2 Gleichstrompotentialmessungen	18
8.3 Wechselspannungsmessungen	18
8.4 Messungen an Probestreifen und Messproben	18
8.4.1 Installation der Probestreife oder Messproben	18
8.4.2 Strommessungen	19
8.4.3 Messungen der Korrosionsrate	20
8.5 Verfahren zur Bestimmung des Metallverlusts der Rohrleitung	21
9 Maßnahmen zur Reduzierung der Beeinflussung	21
9.1 Allgemeines	21
9.2 Bauliche Maßnahmen	21
9.2.1 Anpassung des Bettungsmaterials	21

9.2.2	Einbau von Isolierstücken.....	21
9.2.3	Einbau von Ableitkabeln.....	22
9.2.4	Optimierung der Rohrleitungs- und/oder Stromleitungsstraße.....	22
9.2.5	Bau der Stromleitung oder Rohrleitung	22
9.3	Betriebliche Maßnahmen.....	22
9.3.1	Erdung	22
9.3.2	Einstellung des kathodischen Korrosionsschutzes	24
9.3.3	Reparatur von Umhüllungsfehlstellen	24
10	Inbetriebnahme	24
10.1	Inbetriebnahme	24
10.2	Vorabkontrollen	25
10.2.1	Allgemeines	25
10.2.2	Erst-Inbetriebnahme des Probedlechs mit Wechselspannung und -strom	26
10.2.3	Nachweis der Wirksamkeit.....	26
10.2.4	Installations- und Inbetriebnahmeunterlagen.....	26
11	Überwachung und Instandhaltung.....	27
Anhang A (informativ) Vereinfachte Beschreibung des Phänomens der Wechselstromkorrosion		28
Anhang B (informativ) Probedleche und Messproben		30
Anhang C (informativ) Coulometrische Oxidation.....		35
Anhang D (informativ) Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf die Wechselstromkorrosion.....		36
Anhang E (informativ) Weitere verwendete Kriterien bei Beeinflussung durch Wechselstrom		37
Anhang F (informativ) Bei der Wahl einer Gleichstrom-Entkopplungseinrichtung zu berücksichtigende Parameter		41
Anhang G (informativ) Verfahren zur Bestimmung der Position der Referenzelektrode gegen ferne Erde.....		43
Anhang H (informativ) Gleichzeitige Messung der Stromdichten an Probedlechen mit einer hohen Abtastrate		45
Literaturhinweise.....		47

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 18086:2015 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 156 „Corrosion and corrosion protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 18086:2017 durch das Technische Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ übernommen, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 18086:2015 wurde vom CEN als prEN ISO 18086:2017 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

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

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

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

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

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

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 156 „*Corrosion of metal and alloys*“.

Einleitung

Diese Internationale Norm umfasst Kriterien und Grenzwerte in Verbindung mit Erfahrungen, die aus den aktuellsten Daten gewonnen wurden. Verschiedene Länder verfolgen in Abhängigkeit von der maßgeblichen Beeinflussungssituation sehr unterschiedliche Ansätze zur Vermeidung von Wechselstromkorrosion. Diese unterschiedlichen Ansätze werden durch zwei verschiedene Möglichkeiten berücksichtigt:

- entweder durch Aufbringung eines „niedrigen“ Einschaltpotentials, welche eine gewisse Höhe an Wechselspannung (bis zu 15 V) erlaubt oder
- bei Anwesenheit eines „hohen“ Einschaltpotentials (beispielsweise Streustrombeeinflussungen an der Rohrleitung durch Gleichstrom), welche eine Reduzierung der Wechselspannung auf ein möglichst niedriges Maß erforderlich macht.

Diese Internationale Norm umfasst sowohl einige bei der Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom zu berücksichtigende Parameter als auch detaillierte Messtechniken, Schutzmaßnahmen und Maßnahmen, die bei der Inbetriebnahme einer Einrichtung zur Reduzierung der Korrosion durch Wechselstrom durchzuführen sind. Zu bemerken ist, dass in Anhang E weitere Parameter und Grenzwerte vorgeschlagen werden, welche eine weitere Bestätigung auf Grundlage von praktischen Erfahrungswerten erforderlich machen.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm gilt für erdverlegte kathodisch geschützte Rohrleitungen, die durch Wechselstrom-Fahrleitungssysteme und/oder Wechselstromleitungen beeinflusst werden.

Bei Anwesenheit einer Wechselstrombeeinflussung sind die in ISO 15589-1 angegebenen Schutzkriterien nicht ausreichend um nachzuweisen, dass der Stahl gegen Korrosion geschützt ist.

Diese Internationale Norm liefert Grenzwerte, Messverfahren, Einrichtungen zur Reduzierung der Beeinflussung und Informationen zum Umgang mit Langzeitwechselstrombeeinflussung für Wechselspannungen bei Frequenzen zwischen 16,7 Hz und 60 Hz und zur Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom.

Diese Internationale Norm behandelt die mögliche Wechselstromkorrosion von metallischen Rohrleitungen aufgrund der Wechselstrombeeinflussung der durch Wechselstromsysteme verursachten Streuströme durch induktive, leitende oder kapazitive Kopplung mit Wechselstromnetzen und die maximal zulässigen Grenzwerte dieser beeinflussenden Effekte. Sie berücksichtigt die Tatsache, dass das ein Langzeiteffekt ist, der nur bei normalen Betriebsbedingungen des Wechselstromsystems auftritt.

Diese Internationale Norm behandelt nicht die mit Wechselspannungen an Rohrleitungen verbundenen Sicherheitsaspekte. Diese werden in nationalen Normen und Rechtsvorschriften behandelt (siehe z. B. EN 50443).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 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 — Basic terms and definitions*

IEC 61010-1, *Safety requirements for electrical equipment for measurements, control, and laboratory use — Part 1: General requirements*

EN 13509, *Messverfahren für den kathodischen Korrosionsschutz*

EN 15257, *Kathodischer Korrosionsschutz — Qualifikationsgrade und Zertifizierung von für den kathodischen Korrosionsschutz geschultem Personal*

EN 50443, *Auswirkungen elektromagnetischer Beeinflussungen von Hochspannungswechselstrombahnen und/oder Hochspannungsanlagen auf Rohrleitungen*

3 Begriffe

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

3.1

Wechselstrom-Fahrleitungssystem

elektrisches Wechselstromsystem der Bahn, das zur Versorgung von Schienenfahrzeugen mit Energie verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Das System kann das Folgende enthalten:

- Fahrleitungssysteme;
- Rückstromführungen von elektrischen Bahnsystemen;
- Laufschiene von nicht-elektrischen Bahnsystemen, die in der Nähe von und leitend verbunden mit Laufschiene eines elektrischen Bahnsystems sind.

3.2

Wechselstromversorgungsnetz

elektrisches Wechselstromsystem zur elektrischen Energieübertragung einschließlich Oberleitungen, Kabel, Umspannwerke sowie alle an sie angeschlossenen Geräte

3.3

Wechselstromnetz

elektrisches Wechselstrom-Fahrleitungssystem oder Wechselstromversorgungsnetz

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn eine Unterscheidung erforderlich ist, wird jedes beeinflussende System mit dessen korrektem Begriff klar bezeichnet.

3.4

Kupfer-/Kupfersulfat-Referenzelektrode

CSE

Referenzelektrode aus Kupfer in einer gesättigten Kupfersulfatlösung

3.5

Wechselspannung

Spannung, die zwischen einer metallischen Anlage und einer Referenzelektrode gegen Erde gemessen wird

3.6

beeinflussendes System

allgemeiner Ausdruck, der ein beeinflussendes Hochspannungswechselstrom-Fahrleitungssystem und/oder ein Hochspannungs-Wechselstromversorgungsnetz umfasst

3.7

beeinflusstes System

System, bei dem die Beeinflussungseffekte auftreten

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Internationalen Norm ist das Rohrleitungssystem das beeinflusste System.

3.8

Rohrleitungssystem

System aus Rohrleitungsnetz mit allen zugehörigen Einrichtungen und Stationen

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Internationalen Norm verweist Rohrleitungssystem nur auf metallische Rohrleitungssysteme.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die zugehörige Einrichtung ist die mit der Rohrleitung elektrisch verbundene Einrichtung.

3.9

Erde

leitfähige Masse der Erde, deren elektrisches Potential an jeder Stelle konventionell als Null angenommen wird

[QUELLE: IEC 60050-826]

3.10

Betriebszustand

fehlerfreier Betrieb eines Systems

Anmerkung 1 zum Begriff: Transienten sind nicht als Betriebszustand anzusehen.

3.11

Störfallzustand

unbeabsichtigter Zustand, der durch einen Kurzschluss zur Erde verursacht wird, wobei die Stördauer die normale Ausschaltzeit der Schutzeinrichtungen und Schalter ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Kurzschluss ist eine unbeabsichtigte Verbindung eines spannungsführenden Leiters zur Erde oder zu einem mit der Erde verbundenen metallischen Teil.

3.12

leitende Kopplung

Kopplung, die entsteht, wenn ein Teil des Stromes des beeinflussenden Systems über das beeinflusste System zum System Erde zurückgelangt oder wenn die Spannung zur Bezugserde des Bodens in der Nähe des beeinflussten Gegenstandes wegen einer Störung im beeinflussenden System ansteigt und leitende Spannungen und Ströme verursacht

3.13

induktive Kopplung

Phänomen, bei dem das von einem spannungsführenden Schaltkreis erzeugte Magnetfeld einen anderen Schaltkreis beeinflusst

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kopplung wird durch die gegenseitige Impedanz beider Schaltkreise quantifiziert und induzierte Spannungen und somit Ströme verursacht, die beispielsweise von den Abständen, der Länge, dem induzierten Strom, der Schaltungsanordnung und der Frequenz abhängen.

3.14

kapazitive Kopplung

Phänomen, bei dem das von einem spannungsführenden Leiter erzeugte elektrische Feld einen anderen Leiter beeinflusst

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kopplung wird durch die Kapazität zwischen den Leitern und den Kapazitäten zwischen jedem Leiter und Erde quantifiziert und Spannungen in leitenden Bauteilen oder in Leitern, die von der Erde isoliert sind, verursacht; diese Spannungen hängen beispielsweise von der Spannung des beeinflussenden Systems, den Abständen und der Schaltungsanordnung ab.

3.15

Beeinflussung

Phänomen, das durch leitende, kapazitive, induktive Kopplung zwischen Systemen entsteht und das Fehlfunktionen, gefährliche Spannungen, Schäden usw. verursachen kann

3.16

Störgröße

Fehlfunktion einer Einrichtung, die ihre Fähigkeit verliert, für die Dauer der Beeinflussung korrekt zu arbeiten

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn die Störung verschwindet, beginnt das beeinflusste System jedoch wieder, ohne Eingriff von außen, korrekt zu funktionieren.

3.17

Schaden

dauerhafte Qualitätsminderung der Leistungsfähigkeit, die das beeinflusste System erleiden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Qualitätsminderung der Leistungsfähigkeit könnte auch das vollständige Aussetzen der Leistung zur Folge haben.

BEISPIEL Löcher in der Umhüllung, Lochfraß im Rohr, Löcher im Rohr, dauerhafte Fehlfunktion der an die Rohre angeschlossenen Einrichtungen usw.

3.18

Gefahr

Zustand des beeinflussten Systems, der eine Bedrohung für Menschenleben darstellen kann

3.19

Beeinflussungssituation

größter Abstand zwischen dem Rohrleitungssystem und dem Wechselstromnetz, bei dem eine Beeinflussung in Betracht zu ziehen ist

3.20

Beeinflussungsspannung

Spannung, die im beeinflussten System durch leitende, induktive oder kapazitive Kopplung mit dem in unmittelbarer Nähe vorhandenen beeinflussenden System zwischen einem gegebenen Punkt und der Erde oder über eine isolierende Verbindung verursacht wird

3.21

Spannungsabfall

IR-Abfall

Spannung, die durch Ströme in einem Elektrolyt, wie z. B. dem Boden, zwischen der Referenzelektrode und dem Metall der Anlage nach dem Ohmschen Gesetz ($U = I \times R$) verursacht wird

3.22

IR-freies Potential

$E_{IR-free}$

Potential zwischen Rohr und Elektrode, das ohne den durch den Schutzstrom oder einen anderen Strom erzeugten Spannungsabfall verursachten Spannungsfehler gemessen wird

3.23

Ausschaltpotential

E_{off}

Potential zwischen Rohr und Elektrode, das nach der Unterbrechung aller Quellen des angelegten kathodischen Schutzstromes mit dem Ziel gemessen wird, ein IR-freies Potential zu erreichen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die vor der Messung auftretende Verzögerung ist von den jeweiligen Gegebenheiten abhängig.^{N1)}

3.24

Einschaltpotential

E_{on}

Potential zwischen Rohr und Elektrode, das gemessen wird, während das kathodische Schutzsystem kontinuierlich arbeitet

^{N1)} Nationale Fußnote: Es ist dabei die Wartezeit zwischen dem Zeitpunkt der Ausschaltflanke und dem Beginn der Messung des Ausschaltpotentials gemeint.

3.25

Ausbreitungswiderstand

Ohmscher Widerstand durch einen Umhüllungsschaden gegen Erde oder von der freigelegten metallischen Oberfläche eines Probebleches gegen Erde

Anmerkung 1 zum Begriff: Das ist der Widerstand, der den Gleichstrom oder Wechselstrom durch einen Umhüllungsschaden oder eine freigelegte metallische Oberfläche eines Probebleches bei einer bestimmten Gleichspannung oder Wechselspannung steuert.

3.26

Probeblech

Probe mit festgelegten Abmessungen aus einem Metall, das dem Metall, aus dem die Rohrleitung besteht, äquivalent ist

3.27

Messprobe

Einrichtung einschließlich Probeblech, die die Messungen von Parametern ermöglicht, um die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes und/oder das Korrosionsrisiko zu beurteilen

4 Qualifikation von für den kathodischen Korrosionsschutz geschulten Personen

Personen, die die Planung, die Aufsicht der Installation, die Inbetriebnahme, die Aufsicht des Betriebs, Messungen, Überwachung und Aufsicht der Wartung von kathodischen Korrosionsschutzsystemen durchführen, müssen für die durchzuführenden Aufgaben einen entsprechenden Qualifikationsgrad erworben haben.

EN 15257 oder NACE *Cathodic Protection Training and Certification Programme* enthält geeignete Verfahren zur Beurteilung und Bescheinigung des Qualifikationsgrades von für den kathodischen Korrosionsschutz geschultem Personal.

Der für die durchzuführenden Aufgaben geeignete Qualifikationsgrad von für den kathodischen Korrosionsschutz geschulten Personen sollte durch eine Bescheinigung in Übereinstimmung mit den Vor-Qualifikationsverfahren wie z.B. EN 15257, NACE *Cathodic Protection Training and Certification Programme* oder mit einem anderen gleichwertigen Verfahren nachgewiesen werden.

5 Beurteilung der Wechselstrombeeinflussung

5.1 Allgemeines

Diese Internationale Norm gilt für alle metallischen Rohrleitungen und alle Hochspannungswechselstrom-Fahrleitungssysteme und Hochspannungsanlagen sowie für sämtliche maßgebenden Modifikationen, die den Beeinflussungseffekt signifikant verändern können.

Die Auswirkungen sind die Folgenden:

- Gefahren für Personen, die mit der metallischen Rohrleitung direkt oder über leitende Teile oder angeschlossene Einrichtungen in Kontakt kommen;
- Schäden an der Rohrleitung oder an den angeschlossenen Einrichtungen;
- Störgrößen der an die Rohrleitung angeschlossenen elektrischen/elektronischen Einrichtungen.

Am Rohrleitungsnetz installierte elektrische/elektronische Systeme müssen so ausgewählt werden, dass sie weder zu einer Gefahr werden können noch aufgrund kurzzeitiger Spannungen und Ströme, die bei Kurzschlüssen an Wechselstromnetzen auftreten, die normalen Betriebsbedingungen beeinträchtigen.

Langzeitwechselstrombeeinflussung kann an erdverlegten Rohrleitungen aufgrund eines Stromflusses zwischen der an der Rohrleitung freigelegten Metalloberfläche und dem umgebenden Elektrolyt Korrosion verursachen.

Dieser Stromfluss hängt von der Wechselspannung ab, deren Amplitude von verschiedenen Parametern abhängig ist, z. B. von den folgenden:

- Konfiguration der Phasenleiter der Wechselstromleitung;
- Vorhandensein und Ausführung des Schutzleiters;
- Abstand zwischen Wechselstromleitung/Fahrleitungssystem und Rohrleitung;
- dem in den Wechselstromleitungs-/Fahrleitungssystem-Phasenleitern fließenden Strom;
- dem mittleren Umhüllungswiderstand der Rohrleitung;
- Umhüllungsdicke;
- Bodenwiderstand;
- Vorhandensein von Erdungssystemen;
- Spannung des Wechselstrom-Fahrleitungssystems oder des Wechselstromleitungssystems.

5.2 Beurteilung des Beeinflussungsgrades

Berechnungen zur Bestimmung der Erdungerfordernisse, die notwendig sind, um Berührungsspannungen auf einem akzeptablen Sicherheitsniveau zu halten, können (z. B. in Übereinstimmung mit EN 50443) durch mathematische Modellierung durchgeführt werden. Die Ergebnisse können auch dazu verwendet werden, die zur Reduzierung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom erforderlichen Spannungen zu bestimmen.

Während der Planungsphase neuer beeinflussender Anlagen (Stromleitung oder Bahnlinie) oder einer neuen beeinflussten Anlage (Rohrleitungen) sollte zur Abschätzung die Höhe der Wechselspannung an der Rohrleitung berechnet werden. Die Berechnungen zur Bestimmung der Höhe der an der Rohrleitung erzeugten Spannung können mithilfe mathematischer Modellierung erfolgen. Bei bereits existierenden Anlagen kann die Berechnung auch in Verbindung mit Feldmessungen angewendet werden.

Entsprechend den berechneten Ergebnissen oder Feldmessungen sollten maßgebende Schutzmaßnahmen an den beeinflussenden Systemen und/oder an dem beeinflussten System installiert werden, um die relevante Wechselspannung zur Reduzierung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom zu erreichen (siehe Abschnitt 7).

Anleitungen zur Berechnung der durch ein Wechselstromnetz in einer Anlage verursachten Wechselspannung sind im Literaturhinweis [6] veröffentlicht. Der Algorithmus bestimmt die Bedingungen für den ungünstigsten Fall für die bei der Berechnung verwendeten Eingangsparameter.

Aufgrund instationärer Lastübertragungen an Wechselstromnetzen sind die Werte von Betriebsstromraten in Stromleitungen variabel. Die Schwankungen hängen von täglichen und saisonalen Veränderungen ab. Die Eingangsdaten für Berechnungszwecke sollten auf realistischen Betriebsbedingungen oder auf der größten Wirklast des beeinflussenden Systems basieren.

ANMERKUNG Die Durchführung von Berechnungen mit Eingangsdaten, die auf beiden Herangehensweisen beruhen, hilft, den Bereich zwischen beiden Ergebnissen abzuschätzen und das richtige Verfahren auszuwählen.

6 Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom

6.1 Voraussetzung

6.1.1 Allgemeines

Die treibende Kraft für die auf der Stahloberfläche an Umhüllungsfehlstellen stattfindende Wechselstromkorrosion ist die Wechselspannung an einer Rohrleitung. Unter anderem hängt der Korrosionsschaden von der Wechselstromdichte, der Gleichstropmpolarisation, der Fehlstellengeometrie, der lokalen Zusammensetzung des Bodens und vom Bodenwiderstand ab (siehe Anhang D).

Grundlegend existieren drei verschiedene Ansätze, um Wechselstromkorrosion zu verhindern: die Begrenzung des durch eine Umhüllungsfehlstelle fließenden Stromes, die Steuerung des kathodischen Schutzes und die Sicherstellung, dass die Umhüllungen fehlerfrei bleiben. Diese Ansätze schließen sich gegenseitig nicht aus.

Die Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom sollte mit einigen oder mit allen folgenden Parametern durchgeführt werden:

- Wechselspannung der Anlage;
- Einschaltpotential;
- *IR*-freies Potential;
- Wechselstromdichte;
- Gleichstromdichte;
- Wechselstromdichte/Gleichstromdichte-Verhältnis;
- Bodenwiderstand;
- Korrosionsrate.

Anhang B, Anhang C und Anhang E liefern weitere Informationen.

6.1.2 Wechselspannung der Anlage

Die zulässigen Grenzwerte für Wechselspannung (siehe Abschnitt 7 und Anhang E) hängen von der gewählten Strategie zum Schutz vor Wechselstromkorrosion ab. Somit kann eine bestimmte Beeinflussungssituation an der Rohrleitung die Entscheidung bezüglich der anwendbaren Strategie beeinflussen.

6.2 Wechselstromdichte und Gleichstromdichte

6.2.1 Allgemeines

Der kathodische Korrosionsschutz und die Wechselstromkorrosion werden beide durch die Wechselstromdichte und die Gleichstromdichte an einer Umhüllungsfehlstelle geregelt. Daher sind sie verlässlichere Parameter zur Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom als das Potential oder die Wechselspannung. Allerdings kann die Stromdichte im Gegensatz zu den an der Rohrleitung vorhandenen Spannungen nicht so leicht bestimmt werden. Prinzipiell kann die Stromdichte aus dem Ausbreitungswiderstand, der Geometrie der Umhüllungsfehlstelle und der Wechselspannung berechnet werden. Diese Berechnung ist im Allgemeinen nicht möglich, weil die Geometrie der Umhüllungsfehlstelle und ihr Oberflächenbereich üblicherweise nicht bekannt sind. Darüber hinaus kann die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes den Ausbreitungswiderstand und somit die Stromdichte bei einer bestimmten Spannung maßgebend verändern.

Die Stromdichte kann nur mithilfe von Probestücken oder Messproben bewertet werden. Bei der Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom mithilfe eines Probestückes oder einer Messprobe müssen die Anwendungsgrenzen dieses Verfahrens berücksichtigt werden. Die Berechnung der Stromdichte mithilfe eines Oberflächenbereichs eines metallischen Probestückes oder einer Messprobe sowie mithilfe des an einem Probestück oder an einer Messprobe gemessenen Stromes wird über die gesamte Oberfläche des Probestückes oder der Messprobe gemittelt. Die Stromverteilung auf dem Probestück oder auf der Messprobe kann jedoch in Abhängigkeit von dessen/deren Geometrie variieren. Typischerweise sind die Stromdichten an den Rändern des Probestückes oder der Messprobe höher als der über die gesamte Oberfläche gemittelte Strom. Darüber hinaus kann die häufig beobachtete Bildung von Kalkschichten die wirksame Oberfläche des Probestückes oder der Messprobe reduzieren. Dieser Effekt führt weiterhin zu einer Unterschätzung der Stromdichte.

6.2.2 Wechselstromdichte

Die Wechselstromdichte verursacht eine anodische und kathodische Ladungsübertragung. Anhang A enthält eine detaillierte Erläuterung der Ladungsübertragung. Dieser Strom kann beim Aufladen der Doppelschichtkapazität an der Stahloberfläche, bei der Oxidation von Wasserstoff (hat einen verringerten pH-Wert zur Folge), bei der Oxidation von Korrosionsprodukten und bei der Oxidation von Metall verbraucht werden. Die Oxidation von Metall verursacht einen Korrosionsprozess. Im Allgemeinen führt eine ansteigende Wechselstromdichte zu einer verstärkten Metalloxidation und zu höheren Korrosionsraten. Allerdings ist der anodische Strom nicht der einzige Strom, der den Korrosionsprozess beeinflussen kann. Der kathodische Strom kann die gebildeten Oxidschichten reduzieren und den pH-Wert auf der Metalloberfläche erhöhen.

Hohe Wechselstromdichten verursachen nicht notwendigerweise eine Wechselstromkorrosion, wenn die durch die Metalloberfläche dringenden Ladungen bei anderen Reaktionen als die Oxidation des Metalls und Reduktion der Oxidschichten verbraucht werden können. Das tritt bei niedrigen kathodischen Gleichstromdichten auf. Demzufolge muss für die Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom aufgrund der Wechselstromdichte zusätzlich die kathodische Gleichstromdichte berücksichtigt werden.

Trotzdem gibt es einen empirisch ermittelten unteren Grenzwert für die Wechselstromdichte, bei dessen Unterschreiten die Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom extrem niedrig ist (siehe Abschnitt 7).

6.2.3 Hohe kathodische Gleichstromdichte

Eine hohe Gleichstromdichte führt zu einem stärker negativen kathodischen Korrosionsschutz und zur Bildung eines hohen pH-Wertes an der Oberfläche der Rohrleitung. Jedoch können die Bildung eines hohen pH-Wertes, die Abnahme des Ausbreitungswiderstands und die zunehmende Reduktion von Oberflächenoxidschichten bei gleichzeitiger Wechselstrombeeinflussung zu einer Beschleunigung der Korrosionsrate führen. Trotzdem kann eine ausreichend hohe Gleichstromdichte jede anodische Metalloxidation verhindern und somit das Auftreten von Wechselstromkorrosion.

Anhang A und Anhang E enthalten detaillierte Erklärungen zu diesem Prozess.

6.2.4 Geringe kathodische Gleichstromdichte

Eine geringe Gleichstromdichte führt zu einem begrenzten Anstieg des pH-Wertes an der Metalloberfläche, reduziert den Ausbreitungswiderstand nicht signifikant und hat eine geringere reduzierende Wirkung auf Metalloxide auf der Oberfläche der Rohrleitung. Daher nimmt die Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom mit sinkender Gleichstromdichte signifikant ab. Trotzdem können geringe Gleichstromdichten zu einer unzureichenden kathodischen Polarisierung der Metalloberfläche nach ISO 15589-1 führen.

Anhang A und Anhang E enthalten detaillierte Erklärungen zu diesem Prozess.

6.2.5 Verhältnis der Ströme „ $I_{a.c.}/I_{d.c.}$ “

In Abhängigkeit von der Wechselstromdichte können hohe Gleichstromdichten sowohl zu hohen als auch zu niedrigen Wechselstromkorrosionsraten führen. Somit darf das Verhältnis der beiden Stromdichten verwendet werden, um die Korrosionswahrscheinlichkeit zu beurteilen. Solange das Verhältnis unter einem bestimmten Grenzwert liegt (siehe Anhang E), kann keine Wechselstromkorrosion auftreten, weil die Oxidation von Metall in der anodischen Halbwelle verhindert wird. Die Verwendung des Verhältnisses als ein Indikator der Korrosionswahrscheinlichkeit bietet den Vorteil, dass die auf dem Probeblech oder der Messprobe auftretenden Unsicherheiten bezüglich des Zustands der Metalloberfläche (z. B. durch die Bildung einer Kalkschicht) beseitigt werden, weil der genaue Metalloberflächenbereich für die Berechnung nicht erforderlich ist.

6.2.6 Bodenwiderstand

Der Korrosionsprozess durch Wechselstrom wird durch die Stromdichte an einer Umhüllungsfehlstelle des Stahls geregelt, die von der Spannung an der Stelle und dem Ausbreitungswiderstand abhängt. Der Ausbreitungswiderstand wird durch den Bodenwiderstand beeinflusst. Die folgenden Parameter des Bodenwiderstands sind aus Erfahrungen im Hinblick auf das Risiko von Wechselstromkorrosion bestimmt worden:

- unter 25 Ωm : sehr hohes Risiko;
- zwischen 25 Ωm und 100 Ωm : hohes Risiko;
- zwischen 100 Ωm und 300 Ωm : mittleres Risiko;
- über 300 Ωm : geringes Risiko.

Anhang D enthält detailliertere Angaben zu weiteren Hinweisen bezüglich des Einflusses der Zusammensetzung des Bodens auf das Risiko von Wechselstromkorrosion.

6.3 Korrosionsrate

Einen direkten Weg zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit von Wechselstromkorrosion bietet die Bestimmung der Korrosionsrate an einer Messprobe (siehe 8.4.3). Das erlaubt die Beurteilung von komplexen Beeinflussungssituationen anhand der tatsächlich gemessenen Korrosionsrate. In Anhang B sind die Grundlagen des elektrischen Widerstandsverfahrens (ER, en: Electrical Resistance) mit einer Messprobe beschrieben.

6.4 Umhüllungen der Rohrleitung

Wechselstromkorrosion kann nur an Metalloberflächen, die mit dem umgebenden Boden in Kontakt sind, auftreten. Der durch die Grenzfläche Metall/Boden fließende Wechselstrom verursacht die Oxidation des Metalls. Durch eine fehlstellenfreie Umhüllung wird das Risiko von Wechselstromkorrosion stark verringert.

ANMERKUNG Dieses Verfahren wird dadurch eingeschränkt, dass es in der Praxis sehr schwer ist, sicherzustellen, dass keine Umhüllungsfehler an der Rohrleitung vorhanden sind.

6.5 Beurteilung des Metallverlusts

Um die Wirkung der eingesetzten Schutzmaßnahmen an neuen Rohrleitungen zu überprüfen und um nachzuweisen, ob an existierenden Rohrleitungen ohne Schutz ein äußerer Metallverlust aufgetreten ist, können Geräte zum Messen des Metallverlusts, z. B. interne Prüfanlagen, verwendet werden.

ANMERKUNG Die breiten- und tiefenbezogene Auflösung bei Inline-Prüfanlagen (ILI, en: In-Line Inspection) ist ein kritischer Parameter, der beim Nachweis von Metallverlust (wie z. B. Wechselstromkorrosion) berücksichtigt werden muss.

7 Zulässige Beeinflussungen

Die Planung, Installation und Wartung des kathodischen Schutzsystems muss sicherstellen, dass die Wechselspannung keine Wechselstromkorrosion verursacht. Da die Bedingungen für jede Situation variieren, kann kein einheitlicher Grenzwert angewendet werden.

Dies wird durch Verringerung der Wechselspannung an der Rohrleitung und der Stromdichten erreicht, wie nachfolgend festgelegt.

- Als Erstes sollte die Wechselspannung an der Rohrleitung auf einen Zielwert verringert werden, der einen Effektivwert (rms, en: root mean square) ≤ 15 V haben sollte. Dieser Wert wird als Mittelwert über einen repräsentativen Zeitraum (z. B. 24 h) gemessen;
- als Zweites kann ein wirksamer Schutz vor Wechselstromkorrosion erreicht werden, indem die in ISO 15589-1:2015, Tabelle 1 festgelegten kathodischen Schutzpotentiale eingehalten werden und
 - die Wechselstromdichte (Effektivwert) an einem Probeblech oder einer Messprobe mit einer Fläche von 1 cm^2 über einen repräsentativen Zeitraum (z. B. 24 h) auf einem Wert unter 30 A/m^2 beibehalten wird oder
 - die mittlere kathodische Stromdichte an einem Probeblech oder einer Messprobe mit einer Fläche von 1 cm^2 über einen repräsentativen Zeitraum (z. B. 24 h) auf einem Wert unter 1 A/m^2 beibehalten wird, wenn der Effektivwert der Wechselstromdichte mehr als 30 A/m^2 beträgt oder
 - das Verhältnis von Wechselstromdichte ($I_{a.c.}$) zu Gleichstromdichte ($I_{d.c.}$) über einen repräsentativen Zeitraum (z. B. 24 h) von weniger als 5 beibehalten wird.

ANMERKUNG Stromdichteverhältnisse zwischen 3 und 5 deuten auf ein geringes Korrosionsrisiko durch Wechselstrom hin. Um jedoch das Korrosionsrisiko auf einen Mindestwert zu verringern, wären kleinere Stromdichteverhältnisse als 3 erstrebenswert (siehe Anhang E).

Im Anhang E sind weitere Informationen enthalten.

Wirksamer Schutz vor Wechselstromkorrosion kann auch durch Messung der Korrosionsrate nachgewiesen werden.

8 Messverfahren

8.1 Messungen

8.1.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt behandelt die mit den Messungen der in Abschnitt 5 identifizierten Parameter zusammenhängenden Verfahren.

ANMERKUNG Das Personal hat die Sicherheitsaspekte zu beachten, die mit den Messungen an durch Wechselstromsysteme beeinflussten Rohrleitungen zusammenhängen (im stabilen Zustand und im Störzustand).

Es dürfen nur Messgeräte und Kabel mit ausreichendem Isolationsschutz, wie in EN 61010-1 festgelegt, verwendet werden.

8.1.2 Auswahl der Messstellenstandorte

Zu einer allgemeinen Beurteilung sowie während einer detaillierten und umfassenden Beurteilung der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes (siehe ISO 15589-1) sollte die Wechselspannung an Messstellen gemessen werden. Über einen repräsentativen Zeitraum (siehe Abschnitt 7) sind zusätzliche Messungen an den Standorten durchzuführen, in denen der Betreiber der Rohrleitung (oder die an seiner Stelle oder in seinem Namen verantwortliche Stelle) ein Risiko von Wechselstromkorrosion vermutet. Solche Bereiche sollten das Folgende einschließen:

- Bereiche, in denen der Bodenwiderstand gering ist (z. B. geringer als 25 Ω m);
- Bereiche, in denen die Mantelrohre mit Materialien geringen Widerstands (z. B. Bentonit) verdämmt sind;
- Bereiche mit höchster Beeinflussung durch Wechselstrom;
- Bereiche, in denen bereits Wechselstromkorrosion stattgefunden hat;
- Bereiche, in denen lokale Gleichstrompolarisationsbedingungen eine Wechselstromkorrosion begünstigen können, z. B. Bereiche mit Beeinflussung durch kathodischen Streustrom oder Bereiche mit hohem kathodischen Korrosionsschutz (siehe 6.2.3);
- Bereiche, in denen mithilfe Inneninspektionseinrichtungen äußerer Metallverlust nachgewiesen wurde.

Zu einem späteren Zeitpunkt können die Messstellenstandorte auf ausgewählte Stellen eingeschränkt werden, an denen die Erstinspektion eine anhaltende Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom nachgewiesen hat.

8.1.3 Auswahl der Messparameter

Bei den durchzuführenden Messungen sollten die in Abschnitt 6 beschriebenen Parameter in Übereinstimmung mit Abschnitt 7 berücksichtigt werden.

8.1.4 Abtastrate für die Aufzeichnung der Beeinflussung

Die Abtastrate der Messungen muss mit der Art der Beeinflussung übereinstimmen. Beeinflussung durch Hochspannungsanlagen kann typischerweise eine Abtastrate in der Größenordnung von Minuten erfordern, während eine Beeinflussung durch Wechselstrom- oder Gleichstrombahnlinien eine Abtastrate in der Größenordnung von Sekunden erfordern kann.

8.1.5 Fehlergrenze der Messgeräte

Die zur Messung von Spannungen (Gleichstrom oder Wechselstrom) verwendeten Messgeräte müssen geeignet sein.

ANMERKUNG Die Bedingungen sind in EN 13509 festgelegt.

Die Fehlergrenze der Messgeräte ist nur einer von vielen Faktoren, die zur Unsicherheit der Messung beitragen.

8.1.6 Installation der Probestreife oder Messproben zur Berechnung der Stromdichten

Um Stromdichten zu berechnen (siehe Abschnitt 7), ist die Verwendung von Probestreifen oder Messproben erforderlich (siehe 8.4).

8.2 Gleichstrompotentialmessungen

Gleichstrompotentialmessungen und zugehörige Messgeräte sind z. B. in EN 13509 angegeben.

Hinweise zur Fehlergrenze der Potentialmessgeräte sind in Anhang H angegeben.

Bei der Messung von Gleichstrompotentialen in Verbindung mit durch Wechselstrom beeinflussten Rohrleitungen kann die Unsicherheit der Messung durch die folgenden Faktoren verursacht werden.

- a) Die Messungen des Ausschaltpotentials E_{off} an einer Rohrleitung sind im Allgemeinen abhängig von den Filtereigenschaften des Spannungsmessgeräts und von der Zeitspanne, die zwischen Ausschalten der Stromquelle und Ablesen vergeht.
- b) Gleichstromabgrenzeinheiten, z. B. Kondensatoren und Dioden, können die Gleichstrompotentiale und Potentialmessungen beeinflussen. Die Zuverlässigkeit der Messungen des Ausschaltpotentials durch Unterbrechungen an der Anlage selbst kann durch die von derartigen Einrichtungen eingeführten Zeitkonstanten und Entladungsmerkmale beeinflusst werden.
- c) IR -freie Potentialmessungen werden durch die induzierte Wechselspannung beeinflusst.
- d) Im Allgemeinen (unabhängig vom Messverfahren) verschiebt sich das IR -freie Potential zu einem positiveren Wert, und die Gleichstromdichte steigt durch die überlagerte Wechselspannung an. Das spiegelt die Wirkung der Wechselspannung auf die Gleichstrompolarisation wider.

Die zuvor genannten Effekte sind hinsichtlich der Unsicherheit der Messung in der Regel maßgebendere Faktoren als die Fehlergrenze des Spannungsmessgeräts.

ANMERKUNG In EN 13509, Tabelle 1, sind zusätzliche Beeinflussungsquellen, die einen IR -Abfall bewirken, sowie mögliche Messverfahren angegeben.

8.3 Wechselspannungsmessungen

Zur Bestimmung der Wechselstrombeeinflussung werden Wechselspannungsmessungen durchgeführt.

Zu diesem Zweck sind Messungen mit einem Datenerfassungsgerät durchzuführen, das die Wechselspannungen in ausreichend kurzen Zeitabständen (siehe 8.1.4) messen kann, um den Dauerzustand der Langzeitbeeinflussung zu erfassen.

Wechselspannungsmessungen werden mit Bezug zur Erde durchgeführt. In Anhang G ist ein Verfahren zur Bestimmung der Position der Referenzelektrode gegen Erde angegeben.

In EN 50443 werden zusätzlich Messverfahren zur Bestimmung der Wechselspannung unter Angabe der entsprechenden Normen und Richtlinien behandelt.

8.4 Messungen an Probeblechen und Messproben

8.4.1 Installation der Probebleche oder Messproben

Probebleche oder Messproben sollten so installiert werden, dass sie für die Bedingungen der Rohrleitung repräsentativ sind. Folgende Punkte sollten berücksichtigt werden.

- Das Probeblech oder die Messprobe sollte im gleichen Boden oder in der gleichen Verfüllung wie die Rohrleitung installiert werden.
- Die Geometrie des Probebleches oder der Messprobe (Größe, Form, Dicke der Umhüllung, Winkel zwischen Umhüllung und simulierter Umhüllungsfehlstelle) beeinflusst den Ausbreitungswiderstand und sollte berücksichtigt werden. Um die in Abschnitt 7 festgelegten Kriterien einzuhalten, sind die Messungen an Probeblechen mit einer Fläche von 1 cm^2 durchzuführen.

- Das Probeblech oder die Messprobe sollte benachbarte Probebleche oder Umhüllungsschäden an der Rohrleitung weder elektrisch beeinflussen noch durch diese beeinflusst werden, außer in den Fällen, in denen diese Beeinflussung ein (Teil-)Ziel der Überwachung ist.
- Das Probeblech oder die Messprobe sollte einen effektiven elektrischen Kontakt mit dem umgebenden Boden haben und beibehalten, außer in den Fällen, in denen der Kontaktverlust (Teil-)Ziel der Überwachung ist. Während der Installation sollte der das Probeblech oder die Messprobe umgebende Boden verdichtet sein, um Setzungen und die Bildung von Hohlräumen in der Nähe des Probebleches oder der Messprobe zu verhindern. Diese Hohlräume könnten zu einem Verlust des vollständigen Kontakts zwischen der Oberfläche des Probebleches oder der Messprobe und dem umgebenden Boden führen.

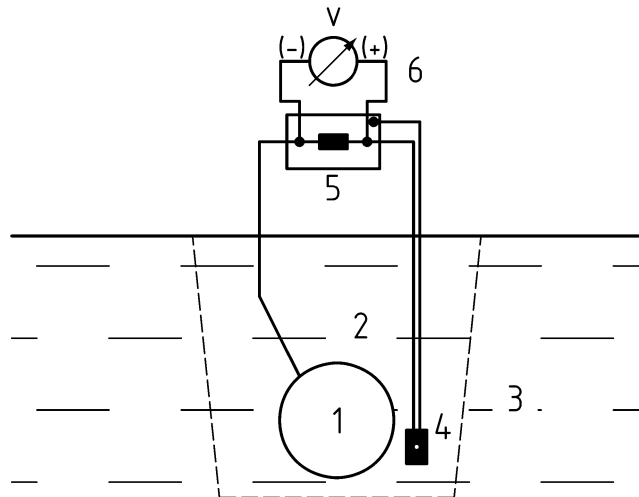
Probebleche oder die Messproben können nach verschiedenen Verfahren installiert werden, z. B.:

- beim Bau der untersuchten Anlagen;
- bei Aushubarbeiten für Untersuchungen der Anlage und
- mittels Bohrungen (siehe Anhang B).

Das gewählte Installationsverfahren hängt von der Zugänglichkeit des Messstellenstandorts, der Art des auszuhebenden Bodens, den erforderlichen Kosten und der Verfügbarkeit eines elektrischen Anschlusses an der Anlage ab.

8.4.2 Strommessungen

Ströme an Probeblechen oder Messproben (Wechselstrom oder Gleichstrom) können mithilfe des Spannungsabfalls über einem Vorwiderstand gemessen werden (siehe Bild 1). Bei beiden Strommessungen (Wechselstrom oder Gleichstrom) sollte der Wert des Vorwiderstands ausreichend niedrig sein, um signifikante Störgrößen des Systems zu vermeiden. Bei Feldmessungen liegt der Wert typischerweise im Bereich von $10\ \Omega$ für ein Probeblech oder eine Messprobe mit einer Fläche von $1\ \text{cm}^2$.



Legende

- 1 Rohr
- 2 Verfüllung
- 3 naturbedingter Boden
- 4 Probeblech oder Messprobe
- 5 Vorwiderstand oder interner Shunt-Widerstand des Strommessgeräts
- 6 Spannungsmessgerät

Bild 1 — Probeblech- oder Messproben-Messstelle mit Vorwiderstand für Strommessungen

Zwischen dem Probeblech oder der Messprobe und dem Rohr ist eine Verbindung erforderlich, um kathodischen Korrosionsschutz sicherzustellen und die Möglichkeit, kathodische Korrosionsschutzmessungen durchzuführen, während eine zweite Verbindung die Messungen erleichtert, deren Zuverlässigkeit erhöht und den Effekt des Spannungsverlusts im stromführenden Leiter beseitigt.

8.4.3 Messungen der Korrosionsrate

In den Anhängen dieser Internationalen Norm sind verschiedene Verfahren zur Messung der Korrosionsrate beschrieben.

Zur Messung der Korrosionsrate können die folgenden drei allgemeinen Arten von Verfahren angewendet werden:

- Masseverlustmessungen;
- Durchbruchmessungen;
- elektrische Widerstandsmessungen (ER, en: electrical resistance).

Bei Masseverlustmessungen ist die Installation von Probeblechen mit bekannter Masse erforderlich. Nach einer gewissen Betriebsdauer (Monate bis Jahre) wird das Probeblech ausgegraben. Es wird im Laboratorium gereinigt, untersucht und gewogen; dies sollte in Übereinstimmung mit dem in ISO 8407 beschriebenen Verfahren erfolgen. Der größte Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die Sichtprüfung detaillierte Informationen zur Korrosionstopographie sowie zur maximalen und zur mittleren Korrosionsrate liefert. Der größte Nachteil des Verfahrens besteht darin, dass das Probeblech so lange keine Informationen liefert, bis es ausgegraben ist.

Durchbruchmessungen werden an speziellen Durchbruch-Messproben durchgeführt (siehe Anhang B). Wenn die Korrosion das Probeblech durchbrochen hat, wird ein Signal erzeugt. Der größte Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die maximale (lokalisierte) Korrosionstiefe aufgezeichnet wird, ohne dass das Probeblech ausgegraben werden muss. Der Nachteil des Verfahrens besteht darin, dass diese Information so lange nicht verfügbar ist, bis das Probeblech durchbrochen ist.

Bei elektrischen Widerstandsmessungen ist die Installation von Probeblechen für die elektrische Widerstandsmessung (ER) erforderlich (siehe Anhang B). Korrosion wird durch den Anstieg des elektrischen Widerstands des Probebleches erfasst, wenn sich die Probeblechdicke durch die Korrosion zunehmend verringert. Der größte Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die mittlere Korrosionsrate kontinuierlich verfolgt und verwendet werden kann, um den kathodischen Korrosionsschutz zu optimieren. Der größte Nachteil des Verfahrens besteht darin, dass die lokalisierte Korrosionsrate so lange mit geringer Genauigkeit erfasst wird, bis die Messprobe durchbrochen ist.

Wechselstromkorrosionsprozesse können auch indirekt durch coulometrische Oxidation von Korrosionsprodukten bestimmt werden (siehe Anhang C).

8.5 Verfahren zur Bestimmung des Metallverlusts der Rohrleitung

Um Standorte zu ermitteln, an denen Metallverlust auftritt, können Inneninspektionsverfahren verwendet werden. Wenn die Messgenauigkeit und die Positionsgenauigkeit ausreichend sind, kann die Korrosionsrate eingeschätzt werden (siehe 6.4).

9 Maßnahmen zur Reduzierung der Beeinflussung

9.1 Allgemeines

Wechselstromkorrosion kann durch Anwendung baulicher und betrieblicher Maßnahmen reduziert werden. Die folgenden Unterabschnitte beschreiben Maßnahmen, die einzeln oder kombiniert angewendet werden können.

9.2 Bauliche Maßnahmen

9.2.1 Anpassung des Bettungsmaterials

Da ganz bestimmte Bettungsmaterialien die Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom beeinflussen können, ist die Bodenbeschaffenheit von besonderer Bedeutung.

Solche Maßnahmen können beim Einbau durch Sandbettung der Rohrleitung realisiert werden.

Nichtsdestotrotz kann dieser Zustand der Einbettung der Rohrleitung nicht während der gesamten Betriebsdauer sichergestellt werden, da der Sand ausgeschwemmt, ausgespült oder mit anderen Bodenschichten vermischt werden könnte, was die Wirksamkeit des ursprünglichen Schutzniveaus verringert.

9.2.2 Einbau von Isolierstücken

Die Wechselspannung an einer Rohrleitung kann durch Einbau von Isolierstücken in die Rohrleitung, die den Stromfluss entlang der Rohrleitung elektrisch unterbrechen, an geeigneten Stellen reduziert werden, die den Strompfad entlang der Rohrleitung elektrisch unterbrechen. Die Wirkung dieser Maßnahme beruht auf Verkürzung der beeinflussten Leitungsabschnitte.

ANMERKUNG Die Position von Isolierstücken kann auch von der Anwesenheit von Gleichstrom-Streuströmen abhängig sein.

Die Standorte von Isolierstücken können in der Planungsphase mithilfe von Simulationsmodellen bestimmt werden (siehe Literaturhinweis [6]).

Dieses Verfahren kann bei größtenteils parallelen Streckenverläufen oder großen Bodenwiderständen (z. B. $> 500 \Omega m$) hilfreich sein. Bei großem Bodenwiderstand können die Abmessungen des Erdungssystems zur Reduzierung der Wechselstrombeeinflussung von Bedeutung sein.

Die Standorte von Isolierstücken sollten die Kontinuität/Diskontinuität von Wechselströmen und/oder Gleichströmen entlang der Rohrleitung berücksichtigen.

9.2.3 Einbau von Ableitkabeln

Eine Beeinflussung kann auch durch die Installation eines Ableitkabels in der Nähe der Rohrleitung, aber ohne Verbindung zur Rohrleitung, und zwischen Stromleitung und Rohrleitung verändert werden. Das Ableitkabel ist außerdem an jedem Endpunkt geerdet. Dieses Verfahren sollte nicht angewendet werden, da es eher als wirksamere Maßnahme zur Vermeidung von Kurzzeitbeeinflussung angesehen wird als ein Verfahren zur Reduzierung der Langzeitbeeinflussung.

Auf jeden Fall dürfen keine blanken Drähte verwendet werden, da sie im Falle von Umhüllungsfehlstellen an der Rohrleitung eine Beeinträchtigung der Umhüllungsfehlstellensuche bewirken können.

9.2.4 Optimierung der Rohrleitungs- und/oder Stromleitungsstraße

Die Beeinflussungssituation durch Wechselstrom an einer Rohrleitung hängt hauptsächlich von der Nähe und der parallelen Streckenführung zwischen einer Rohrleitung und Hochspannungsleitungen ab. Eine Reduzierung der Wechselstrombeeinflussung kann durch Vergrößern der Abstände zwischen den Trassen der Rohrleitung und der Stromleitungen erreicht werden.

Diese Anforderung steht häufig im Widerspruch mit der allgemeinen Verpflichtung der Nutzung von weit verbreiteten „Energiekorridoren“ zur Minimierung umweltschädlicher Einflüsse.

9.2.5 Bau der Stromleitung oder Rohrleitung

Die geometrische Anordnung der Phasenleiter oder eines Erdungskabels/einer Erdungsleitung an Stromleitungsmasten wird einen Einfluss auf die Größe der an der Rohrleitung induzierten Spannung haben und muss beim Bau von Stromleitungen oder Rohrleitungen berücksichtigt werden.

9.3 Betriebliche Maßnahmen

9.3.1 Erdung

9.3.1.1 Allgemeines

Ein häufig verwendetes Verfahren zur Reduzierung der Beeinflussung ist die Installation von Erdungssystemen.

Gewöhnlich werden horizontal oder vertikal installierte Erdungssysteme verwendet. In Abhängigkeit von den lokalen Bodenwiderständen und den örtlichen Zugänglichkeiten ist zu entscheiden, welches System installiert werden muss. Das Erdungssystem sollte eine ausreichend niedrige Impedanz haben, um die geforderten Kriterien zum Schutz vor Wechselstromkorrosion für induzierte Spannungen zu erfüllen. Normalerweise muss die Impedanz weniger als 10Ω betragen, obwohl typische Konfigurationen sehr viel niedrigere Impedanzwerte erfordern.

9.3.1.2 Direkte Erdung

Direkte Verbindungen der Erdungssysteme zur Rohrleitung werden nicht empfohlen, insbesondere, wenn das Erdungssystem aus Kupfer besteht, aber auch aus Zink oder Magnesium. Eine direkte Verbindung hat folgende Nachteile:

- Zusätzlich zum Strombedarf der kathodisch geschützten Rohrleitung ist ein erhöhter Strombedarf des kathodischen Korrosionsschutzsystem zu berücksichtigen;
- die Messwerte der Ausschaltpotentialmessung können irreführend sein;
- die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes kann beeinträchtigt sein. In diesem Fall sollten besonders ungünstige galvanische Zellen berücksichtigt werden (z. B. ein Erdungssystem aus Kupfer, das mit dem Rohrleitungssystem verbunden ist);
- bei der Verwendung von Magnesiumelektroden zur Wechselstromentladung könnten diese eine kurze Lebensdauer haben;
- bei der Verwendung von Drähten aus Zink oder galvanisiertem Stahl als Erdungssystem im Boden besteht die Tendenz, dass diese mit der Zeit stärker anodisch werden. Somit kann das Erdungssystem mit der Zeit zu einem höheren kathodischen Schutzstromverbrauch führen, was sich ungünstig auf das Korrosionsschutzsystem der Rohrleitung auswirken wird;
- die Beaufschlagung eines kathodischen Korrosionsschutzstromes könnte eine Überdeckung des direkten Erdungssystems mit einer Kalkschicht verursachen, die mit der Zeit einen nachteiligen Einfluss auf dessen Wirksamkeit zur Reduzierung der Wechselstromkorrosion haben kann.

9.3.1.3 Indirekte Erdung der Rohrleitung über Gleichstrom-Abgrenzeinrichtungen

Um Nachteile durch direktes Verbinden zu vermeiden, werden Erdungssysteme normalerweise nicht direkt an die Rohrleitung angeschlossen, sondern über Abgrenzeinrichtungen verbunden, die einen elektrischen Pfad für den Wechselstrom von der Rohrleitung zur Erde bieten, während sie gleichzeitig Gleichstrom blockieren.

Die Gleichstrom-Abgrenzeinrichtungen sollten weder das übliche kathodische Korrosionsschutzsystem noch die Überwachung der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes und den Schutz gegen Berührungsspannung an der Rohrleitung beeinflussen.

Bei der Bestimmung des Strombedarfs des kathodischen Korrosionsschutzes für die kathodisch zu schützende Rohrleitung sollte der Gleichstrom-Kriechstrom für die ausgewählten Abgrenzeinrichtungen berücksichtigt werden.

Das dafür am häufigsten verwendete Bauteil ist ein elektrolytischer Kondensator. Aus Sicherheitsgründen, zum Schutz vor Stromstößen und für Sonderanwendungen kann dieser mit weiteren elektronischen Bauteilen (parallel oder in Reihe) ausgestattet sein.

Anhang F enthält Informationen zur Unterstützung bei der Auswahl der richtigen einzubauenden Einrichtung.

9.3.1.4 Verfahren zur Kompensation des Wechselstromes

Falls es nicht möglich ist, eine Erdung mit geringem Widerstand zu erreichen, oder wenn die Wechselspannung nicht ausreichend verringert wird, kann die Abgrenzeinrichtung durch eine Einrichtung zur Kompensation des Wechselstromes ersetzt werden.

Diese Einrichtung kompensiert den Wechselstrom durch Aufbringen eines Wechselstromes mit Gegenphase an der Rohrleitung und somit durch Erzeugung einer künstlichen Erde mit Null-Widerstand.

9.3.2 Einstellung des kathodischen Korrosionsschutzes

Die Einstellung des kathodischen Korrosionsschutzes, bei der die in Abschnitt 7 festgelegten Kriterien eingehalten werden, ist ein Verfahren, das an einer Rohrleitung angewendet werden kann. Die Einstellung kann bestehen aus:

- Regelung des kathodischen Korrosionsschutzes in Richtung mehr negativer Werte, um das in Abschnitt 7 festgelegte Kriterium zu erfüllen ($J_{a.c.}/J_{d.c.} < 5$) oder
- Regelung des kathodischen Korrosionsschutzes in Richtung weniger negativer Werte, um das in Abschnitt 7 festgelegte Kriterium zu erfüllen ($J_{d.c.} < 1 \text{ A/m}^2$).

9.3.3 Reparatur von Umhüllungsfehlstellen

Die Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom an beeinflussten Rohrleitungen tritt hauptsächlich bei kleinen Umhüllungsfehlstellen in Böden mit geringem Widerstand (z. B. $< 25 \Omega\text{m}$) auf. Solche Bereiche mit Umhüllungsfehlstellen können mit geeigneten Messverfahren, wie in EN 13509 beschrieben, bestimmt werden.

Um eine ausreichende Genauigkeit zu erhalten, sollte der Messaufbau optimiert werden (erhöhte Spannung zum Erkennen und höhere Auflösung des Strommessgeräts) entsprechend den Bedingungen der Rohrleitung (Tiefe, Ausprägung der Umhüllungsfehlstelle).

Falls an einem Abschnitt der Rohrleitung trotz aller Schutzmaßnahmen ein unzulässiges Korrosionsrisiko durch Wechselstrom besteht, sollten alle Umhüllungsfehlstellen freigelegt und repariert werden. Das ist nur wirtschaftlich bei ordnungsgemäß umhüllten Rohrleitungen realisierbar.

Um das Korrosionsrisiko beurteilen zu können, sollte diese Vorgehensweise mit Messungen an der Rohrleitung kombiniert werden.

Als Nachweis einer fehlerfreien Umhüllung wäre eine regelmäßige Wiederholung dieser Messungen erforderlich.

10 Inbetriebnahme

10.1 Inbetriebnahme

Obwohl Einrichtungen zur Reduzierung der Beeinflussung durch Wechselstrom keine kathodischen Korrosionsschutzsysteme sind, sollten sie generell auf die gleiche Weise wie kathodische Korrosionsschutzsysteme, wie in ISO 15589-1 beschrieben, in Betrieb genommen werden.

An Prüf- und Überwachungseinrichtungen und freigelegten Rohrleitungsabschnitten sind Wechselspannungen möglich, und während diese selbst keine Gefährdung darstellen, könnten sie unbeabsichtigte gefährliche Rückkopplungen hervorrufen. Falls eine Gefährdung durch unzulässige Berührungsspannungen (siehe z. B. EN 50443) besteht, müssen Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden.

10.2 Vorabkontrollen

10.2.1 Allgemeines

Es ist sicherzustellen, dass geeignete Sicherheitsmaßnahmen getroffen wurden.

Bevor eine Einrichtung zur Reduzierung der Beeinflussung durch Wechselstrom an die Rohrleitung angeschlossen wird, sollten an verschiedenen Stellen Messungen durchgeführt werden, um das Auftreten einer Beeinflussung durch Wechselstrom nachzuweisen. Die ausgewählten Stellen müssen die Bereiche einschließen, von denen bekannt ist, dass starke Beeinflussungen auftreten (siehe Abschnitt 7) und sollten Bereiche einschließen, die nicht stark beeinflusst werden. Die Beeinflussung könnte sich ungünstig verändert, wenn Korrosionsschutzmaßnahmen ausgeführt werden. Für die Spannungs-, Strom- und Potentialmessungen wird ein Datenerfassungssystem empfohlen, weil diese Messungen über eine ausreichende Zeitspanne (mindestens 24 h) durchgeführt werden sollten, um tägliche Schwankungen zu erfassen; die Messungen an unterschiedlichen Stellen sollten synchronisiert werden.

Die folgenden Messungen sollten durchgeführt und mit den Planungs- oder Leistungsvorgaben verglichen werden:

- Planungsüberprüfungen:
 - Widerstand gegen Erde des installierten Erdungssystems;
 - Rohr/Boden-Wechselspannung und Einschaltpotentiale an ausgewählten Stellen;
- Installationsüberprüfungen (vor dem Anschließen von Erdungssystemen):
 - Funktionalität der Einrichtungen zur Reduzierung der Beeinflussung;
 - Einstellungen des Transformator-Gleichrichters des kathodischen Korrosionsschutzes (wenn eine Fremdstromanlage verwendet wird);
 - wenn geeignete Messproben und Probebleche installiert wurden, können folgende Parameter zusätzlich gemessen werden:
 - Korrosionsrate;
 - Ausbreitungswiderstand;
 - Ein- und Ausschaltpotential und Ein- und Ausschaltstrom am Probeblech;
 - Wechselspannung und Wechselstrom am Probeblech;
- Inbetriebnahme-Überprüfungen (nach Anschließen von Erdungssystemen):
 - Rohrleitung/Boden-Wechselspannung und Ein- und Ausschaltpotentiale an ausgewählten Stellen;
 - wenn geeignete Messproben und Probebleche installiert wurden, können folgende Parameter zusätzlich gemessen werden:
 - Korrosionsrate;
 - Ein- und Ausschaltpotential und Ein- und Ausschaltstrom am Probeblech.

10.2.2 Erst-Inbetriebnahme des Probeblechs mit Wechselspannung und -strom

Die Erst-Inbetriebnahme sollte in Übereinstimmung mit den nachfolgenden Angaben durchgeführt werden, ausgenommen, die in EN 50443 angegebenen Anforderungen bezüglich der abgetrennten Einrichtungen zur Reduzierung der Beeinflussung durch Wechselstrom werden überschritten:

- Vor der Erst-Inbetriebnahme sind die Datenerfassung und die Messverfahren bei den Installations- und Inbetriebnahme-Überprüfungen durchzuführen.
- Berührungsspannungen sind durch Messungen zu überprüfen. Wenn die Berührungsspannungen unzulässig sind, müssen geeignete Vorkehrungen getroffen werden (siehe EN 50443).

Die Einrichtung zur Reduzierung der Beeinflussung ist über eine vorgefertigte Verbindung an das Erdungssystem anzuschließen; anschließend wird die andere Anschlussklemme der Einrichtung an die Rohrleitung angeschlossen. Diese Vorgehensweise ist für alle Einrichtungen zur Reduzierung der Beeinflussung zu wiederholen.

10.2.3 Nachweis der Wirksamkeit

Die Wirksamkeit der Einrichtung zur Reduzierung der Beeinflussung kann nachgewiesen werden, indem gezeigt wird, dass die in Abschnitt 7 festgelegten Kriterien erfüllt werden. Es können die gleichen Messungen wie bei der Inbetriebnahme durchgeführt werden (siehe 10.2.2).

Messungen sollten an Rohrleitungen oder an Rohrleitungsabschnitten durchgeführt werden, an denen eine unzulässige Beeinflussung durch Wechselstrom vermutet oder aufgrund von Karten, Berechnungen oder Routinemessungen erwartet werden kann. Diese Messungen sollten zuerst an allen Messstellen, kathodischen Korrosionsschutzanlagen, Isolierstücken und Mantelrohren durchgeführt werden sowie an allen Stellen, wo ein zugängliches Messkabel mit der Rohrleitung oder dem Abschnitt verbunden ist.

Ein Probeblech oder eine Messprobe könnte in Bereichen installiert werden, die als gefährdete Bereiche durch Wechselstromkorrosion identifiziert wurden, um die Stromdichte und/oder die Korrosionsrate zu bestimmen (siehe 8.4).

Die Wirksamkeit der Einrichtung zur Reduzierung der Beeinflussung kann zusätzlich durch die Verringerung der Korrosionsrate bestimmt werden, da sie die gesamte Wirksamkeit des angewendeten kathodischen Schutzsystems sowie des Systems zur Verringerung der Beeinflussung durch Wechselstrom präzise darstellt.

10.2.4 Installations- und Inbetriebnahmeunterlagen

Nach Beendigung der Inbetriebnahme-Überprüfungen muss eine Dokumentation erstellt werden. Die folgenden Angaben sollten enthalten sein:

- Bestandszeichnungen der Installation;
- Planungsunterlagen, die alle Einzelheiten der installierten Einrichtungen umfassen sollten;
- Ergebnisse der Datenerfassung und der Potentialmessungen vor Anschließen der Einrichtung zur Reduzierung der Beeinflussung;
- Ergebnisse der Datenerfassung und der Potentialmessungen nach Anschließen der Einrichtung zur Reduzierung der Beeinflussung;
- Empfehlungen zur Langzeitüberwachung der induzierten Wechselströme und deren Einfluss auf die äußere Korrosion der Rohrleitung (das kann eine Fernüberwachung und Ermittlung der Umhüllungsfehlstellen einschließen);
- eine Betriebs- und Instandhaltungsanleitung.

Diese Dokumente sollten vom Betreiber der Rohrleitung oder von der für die Integrität des Rohrleitungssystems zuständigen Stelle aufbewahrt werden.