

DIN EN ISO 9351



ICS 77.060

Entwurf

Einsprüche bis 2023-12-13
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 12496:2014-02

**Galvanische Anoden für den kathodischen Schutz in Seewasser und
salzhaltigen Sedimenten (ISO/DIS 9351:2023);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 9351:2023**

Galvanic anodes for cathodic protection in seawater and saline sediments
(ISO/DIS 9351:2023);
German and English version prEN ISO 9351:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-10-13 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 oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 107 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 9351:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 156 „Corrosion of metals and alloys“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

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

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.

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

ISO 1461	siehe	DIN EN ISO 1461
ISO 2081:2018	siehe	DIN EN ISO 2081
ISO 8501-1	siehe	DIN EN ISO 8501-1
ISO 15607	siehe	DIN EN ISO 15607
ISO 15609-1	siehe	DIN EN ISO 15609-1

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12496:2014-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) technische Änderung;
- b) Abschnitt 4 „Symbole und Abkürzungen“ und Abschnitt 5 „Qualifikation des Personals“ ergänzt;
- c) Literaturhinweise aktualisiert;
- d) Norm redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 1461, *Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrachte Zinküberzüge (Stückverzinken) — Anforderungen und Prüfungen*

DIN EN ISO 2081:2018-07, *Metallische und andere anorganische Überzüge — Galvanische Zinküberzüge auf Eisenwerkstoffen mit zusätzlicher Behandlung (ISO 2081:2018); Deutsche Fassung EN ISO 2081:2018*

DIN EN ISO 8501-1, *Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen — Visuelle Beurteilung der Oberflächenreinheit — Teil 1: Rostgrade und Oberflächenvorbereitungsgrade von unbeschichteten Stahloberflächen und Stahloberflächen nach ganzflächigem Entfernen vorhandener Beschichtungen*

DIN EN ISO 15607, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Allgemeine Regeln*

DIN EN ISO 15609-1, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 1: Lichtbogenschweißen*

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO 9351:2023-11

– Leerseite –

**Galvanische Anoden für den kathodischen Schutz in Seewasser und salzhaltigen
Sedimenten (ISO/DIS 9351:2023)**

Galvanic anodes for cathodic protection in seawater and saline sediments (ISO/DIS 9351:2023)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	11
4.1 Symbole	11
4.2 Abkürzungen	12
5 Qualifikation des Personals	12
6 Werkstoffe von galvanischen Anoden und deren Eigenschaften	12
6.1 Allgemeines	12
6.2 Zusammensetzung der Anodenlegierung	13
6.3 Elektrochemische Eigenschaften	13
6.3.1 Allgemeines	13
6.4 Elektrochemische Prüfungen	14
6.4.1 Allgemeines	14
6.4.2 Leistungsprüfung	14
6.4.3 Kurzzeitprüfungen zur Qualitätskontrolle	15
6.5 Verbrauchsrate der Anode	15
7 Auslegungs- und Annahmekriterien für Anoden	15
7.1 Allgemeines	15
7.2 Chemische Zusammensetzung	16
7.3 Elektrochemische Eigenschaften	16
7.4 Anodenform	17
7.5 Physikalische Eigenschaften	17
7.6 Anodenkernwerkstoffe	18
7.7 Kabelverbindungen zu Anoden	19
8 Umweltauswirkung	19
Anhang A (informativ) Meerwasser	21
Anhang B (normativ) Physikalische Toleranzen für galvanische Anoden	22
B.1 Allgemeines	22
B.2 Anodenmasse	22
B.3 Maße und Geradheit der Anoden	23
B.3.1 Schlanke und bündig montierte Abstandsanoden	23
B.3.2 Manschettenanoden	23
B.4 Stahlkern	24
B.5 Unregelmäßigkeiten in der Anodenoberfläche	25
B.6 Risse in Gussanodenwerkstoffen	25
B.6.1 Allgemeines	25
B.6.2 Schlanke und bündig montierte Abstandsanoden	26
B.6.3 Manschettenanoden	26
B.7 Innere Fehler und zerstörende Prüfungen	26
B.8 Berichterstattung	27
Anhang C (informativ) Zusammensetzung und Leistungsmerkmale für galvanische Anoden	28
C.1 Aluminiumlegierungen	28
C.1.1 Anodenwerkstoff	28
C.1.2 Elektrochemische Eigenschaften	30
C.2 Zinklegierung	31
C.2.1 Anodenwerkstoff	31
C.2.2 Elektrochemische Eigenschaften	32

C.3	Magnesiumlegierung	33
C.3.1	Anodenwerkstoff	33
C.3.2	Elektrochemische Eigenschaften	35
Anhang D (informativ)	Beschreibung der unterschiedlichen elektrochemischen Prüfungen	36
D.1	Allgemeines	36
D.2	Galvanostatische Halteversuche	36
D.3	Freilaufende Prüfungen	37
D.4	Potentiostatische Halteversuche	38
D.5	Wirkung anderer Prüfparameter	38
Anhang E (informativ)	Überlegungen zu Umweltauswirkungen	40
E.1	Einleitung	40
E.2	Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG, en: sustainable development goals) der UN	40
E.3	Minimierung nachteiliger Auswirkungen von galvanischen Anoden auf die Umwelt und Nachhaltigkeit	40
E.3.1	Bezahlbare und saubere Energie	40
E.3.2	Nachhaltige/r Konsum und Produktion	41
E.3.3	Maßnahmen zum Klimaschutz	42
E.3.4	Ökobilanz (LCA)	43
E.3.5	Leben unter Wasser	43
Anhang F (informativ)	Inspektions- und Prüfplan (ITP)	44
Literaturhinweise		52

Bilder

Bild B.3.1 — Skizze mit der Angabe der mittleren Länge der Anode, der mittleren Breite der Anode und der Anodentiefe	23
--	----

Tabellen

Tabelle C.1.1 — Chemische Zusammensetzung für Aluminiumanoden, angegeben als Massenanteil in %	28
Tabelle C.1.2 — Typische Eigenschaften von Aluminiumanoden unter gewöhnlichen Betriebsbedingungen	30
Tabelle C.2.1 — Chemische Zusammensetzung für Zinkanoden, angegeben als Massenanteil in %	31
Tabelle C.2.2 — Typische elektrochemische Eigenschaften von Zinkanoden bei Umgebungstemperaturen (5 °C bis 25 °C)	32
Tabelle C.3.1 — Chemische Zusammensetzungen für Magnesiumanoden, angegeben als Massenanteil in %	33
Tabelle C.3.2 — Typische elektrochemische Eigenschaften von Magnesiumanoden bei Umgebungstemperaturen (5 °C bis 25 °C)	35

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 9351:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 156 „Corrosion of metals and alloys“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 12496:2013 ersetzen.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 9351:2023 wurde von CEN als prEN ISO 9351:2023 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

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

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

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

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

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

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 156, *Corrosion of metals and alloys*, 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 www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Die zu erwartende Leistung der galvanischen Gussanoden für die Anwendung im Meerwasser und salzhaltigen Schlamm oder Sediment wird durch ihre Zusammensetzung und die Qualität ihrer Herstellung bestimmt.

Dieses Dokument legt galvanische Anoden für die Anwendung in Meerwasser und Sedimenten, ihre chemische Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften zusammen mit Inspektions- und Prüfparametern, Inspektionsverfahren und deren Überprüfung fest, die erforderlich sind, um die dokumentierten Leistungswerte zu erreichen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Mindestanforderungen fest und gibt Empfehlungen für die chemische Zusammensetzung, die elektrochemischen Eigenschaften, die physikalischen Toleranzen, die Prüf- und Inspektionsverfahren für galvanische Gussanoden aus auf Aluminium, Magnesium und Zink basierende Legierungen für den kathodischen Korrosionsschutz in Meerwasser, salzhaltigem Sediment und Brackwasser.

Dieses Dokument ist anwendbar auf die meisten galvanischen Anoden, die für Meerwassersediment- und Brackwasseranwendungen verwendet werden, d. h. Gussanoden mit trapez- oder kreisförmigem Querschnitt und Manschettenanoden. Die allgemeinen Anforderungen und Empfehlungen dieses Dokuments dürfen auch auf andere Anodenformen, z. B. halbkugelförmige Anoden, Knopfanoden usw., angewendet werden, die manchmal für Meerwasseranwendungen verwendet werden.

ANMERKUNG Obwohl andere Metalle als Werkstoffe von galvanischen Anoden verwendet werden können, um edlere Metalle als Eisen und Stahl zu schützen, z. B. Weicheisen, werden diese in dieser Norm nicht behandelt.

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).

ISO 630, *Structural steels (all parts)*

ISO 12473, *General principles of cathodic protection in seawater*

ISO 1461, *Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles — Specifications and test methods*

ISO 8501-1, *Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Visual assessment of surface cleanliness — Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings*

EN 10025, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen (alle Teile)*

ISO 10474:2013, *Steel and steel products — Inspection documents*

ISO 15607, *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — General rules*

ISO 15609-1, *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure specification — Part 1: Arc welding*

EN 287-1, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 1: Stähle*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten 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

Säuregehalt

Vorhandensein einer Überzahl an Wasserstoffionen gegenüber Hydroxylionen ($\text{pH} < 7$)

3.2

Kapazität der Legierung

siehe „elektrochemische Kapazität“

3.3

Verbrauchsrate der Anode

Masseverbrauchsrate

Menge an Anodenwerkstoff, der für eine Stromabgabe von einem Ampere während eines Jahres verbraucht wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verbrauchsrate der Anode wird in Kilogramm je Amperejahr angegeben $[(\text{kg}/(\text{A y}))]$.

3.4

Los

eine Gruppe von Anoden, die alle aus einem einzigen Ofenguss hergestellt wurden

Anmerkung 1 zum Begriff: Aus einem einzigen Guss können mehrere Lose verschiedener Anoden hergestellt werden.

3.5

Manschettenanode

Anode in Form von Halbschalen (ringförmigen Gussteilen) für die Montage an röhrenförmigen Gegenständen

Anmerkung 1 zum Begriff: Zwei Gussteile in Form von Halbschalen passen so zusammen, dass sie eine Manschettenanode bilden. Üblicherweise bei unterseeischen Rohrleitungen verwendet; gelegentlich bei röhrenförmigen Gegenständen von Seebauwerken verwendet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Manschettenanoden können als Halb- oder Teilschalengussstücke mit dem strukturellen Kern innerhalb des Gussstücks oder als Gusssegmente hergestellt werden, bei denen sich nur der stützende Kern innerhalb des Gussstücks und die Baustahlelemente außerhalb des Gussstücks befinden. Segmentmanschetten bestehen aus einzelnen Gussteilen, die an externen Stahlbändern befestigt sind, so dass sie um die Rohrleitung oder röhrenförmige Struktur passen.

3.6

kalkhaltige Ablagerung

Schicht, die hauptsächlich aus einer Mischung aus Calciumcarbonat und Magnesiumhydroxiden besteht und sich auf kathodisch geschützten Oberflächen in Meerwasser aufgrund des erhöhten pH-Wertes im angrenzenden Bereich der geschützten Oberfläche ablagert

3.7

Guss

Charge

Satz

eine einzige Ofenbeladung (Ofencharge) mit einzigartiger, analysierter chemischer Zusammensetzung, aus der Anoden hergestellt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn die Gießsequenz unterbrochen wird, bilden die Anoden, die vor, zwischen und nach den Unterbrechungen hergestellt wurden „Lose“.

3.8

Charge

siehe „Guss“

3.9

Potential des geschlossenen Stromkreises

Potential des geschlossenen Stromkreises ist das Potential einer Elektrode, das in Bezug auf eine Bezugsselektrode oder eine andere Elektrode gemessen wird, wenn im Stromkreis Strom fließt

3.10

Kaltschweißstelle

Unstetigkeit in der Oberfläche der gegossenen Anodenlegierung, verursacht durch Erstarren eines Teils des Gussspiegels während der kontinuierlichen Füllung einer Form, die später mit weiteren erstarrenden Metallen bedeckt wird, wenn der Füllstand an Flüssigmetall steigt

Anmerkung 1 zum Begriff: Kaltschweißstellen treten oft weit entfernt von der Gussstelle auf.

3.11

Kern

siehe „Einsatz“

3.12

Riss

Unvollkommenheit, die durch eine örtliche Trennung im festen Zustand erzeugt wird, die durch die Wirkung des Abkühlens oder durch Spannungen entstehen kann

3.13

Steuerspannung

Spannung zwischen dem Potential einer galvanischen Anode und dem Potential der Anlage. Für Planungszwecke bezieht sich die Steuerspannung auf die Differenz zwischen dem Potential des geschlossenen Stromkreises der Anode und dem Auslegungsschutzpotential der Anlage. Dieser Wert wird zur Bestimmung des maximal verfügbaren Anodenstroms bei einem vorgegebenen Stromkreiswiderstand verwendet

3.14

elektrochemische Kapazität

Gesamtmenge der elektrischen Ladung, die erzeugt wird, wenn eine feste Masse der Anodenlegierung elektrochemisch verbraucht wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die elektrochemische Kapazität wird in Amperestunden je kg (A·h/kg) angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dies entspricht der praktisch verfügbaren Ladungsmenge je Masseneinheit, die geringer ist als der theoretische faradaysche Wert.

3.15

elektrochemischer Wirkungsgrad

elektrochemische Effizienz

Verhältnis der praktischen elektrochemischen Kapazität zur theoretischen faradayschen Kapazität, wird üblicherweise numerisch angegeben, z. B. 0,90

3.16

elektrochemische Eigenschaften

Eigenschaften bezüglich Potential und elektrochemischer Kapazität, die eine galvanische Legierung charakterisieren und durch quantitative Prüfungen bewertet werden können

3.17

bündig montierte Anode

Anode, die an einer Anlage montiert ist; dabei ist eine Seite in Kontakt mit oder sehr nahe an der Anlage

3.18

freilaufende Prüfung

elektrochemische Prüfung, bei der Potential und Strom nicht gesteuert werden

3.19

Gaseinschluss

Blasen, Kanäle oder Porosität, die durch Gasentwicklung während der Erstarrung oder durch Lufteinschlüsse entstehen

Anmerkung 1 zum Begriff: Gaseinschlüsse können hinweisen auf

- Kontamination der Gussform oder des Kerns vor dem Gießen oder
- mangelhafte Ausführung der Gussform oder des Einsatzes
- Gießprozess, der Lufteinschlüsse während des Gießvorgangs zulässt.

3.20

Bruttomasse

Masse (oder Gewicht) einer Gussanode, einschließlich der Masse des Stahlkerns und aller integrierten Befestigungen bei Fertigstellung des Gussteils

3.21

Einsatz

Strukturelement, über das die Anode gegossen wird und das die Legierung stützt und verwendet werden kann, um die Anode mit der zu schützenden Anlage zu verbinden

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Kern besteht im Allgemeinen aus Stahl. Dessen Ausführung ist entscheidend bei der Bestimmung des Ausnutzungsfaktors der Anoden.

3.22

Schöpfprobe

Probe, die von einem Flüssigmetallstrom entnommen wird

3.23

Nettomasse

Masse (oder Gewicht) einer Gussanode, ausgenommen die Masse des Stahlkerns und aller integrierten Befestigungen bei Fertigstellung des Gussteils

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Nettomasse stellt das Gewicht des galvanischen Legierungswerkstoffs dar und wird bei der Planung des kathodischen Schutzes verwendet.

3.24

nichtmetallische Einschlüsse

Partikel aus Oxiden und anderen feuerfesten Werkstoffen, die während der Schmelz- oder Gussvorgänge in Flüssigmetall eingeschlossen werden

3.25

passive Oberfläche

Zustand von niedriger Oberflächenaktivität oder Korrosionsbeständigkeit eines Metalls aufgrund von Schutzfilmbildung

3.26

Loch

örtliche Korrosion, die zu Hohlräumen führt, die sich von der Oberfläche in das Metall ausdehnen

3.27

Polarisation

Änderung in dem Potential einer Elektrode aufgrund eines Stromflusses zu oder von dieser Elektrode

3.28

Schwindungssenkungen

Schwindungshohlräume

natürlich hohlgewölbte (konkave) Oberflächen, die entstehen können, wenn ein Flüssigmetall in einer Gussform ohne die Zugabe von zusätzlichem Flüssigmetall zum Ausgleich der Volumenverringerung, die während der Kontraktion (Schrumpfung) von Flüssigkeit und Flüssigkeit-Feststoff (beim Erstarren) beim Abkühlen im Zusammenhang mit der Flüssig-Fest-Umwandlung auftritt, erstarren gelassen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff bezieht sich auch auf die hohlgewölbten Oberflächen, die entstehen, wenn flüssiges Metall in einer geschlossenen Gussform so erstarrt, dass die Fläche, die sich aus der Gussformausführung ergibt, nicht von dem Flüssigmetall ausgefüllt wird.

3.29

Abstandsanode

Anode, die um einen bestimmten Abstand von dem Objekt, auf dem sie positioniert ist, versetzt ist

3.30

Oberflächenmorphologie

Beschreibung der Merkmale oder Struktur der Anodenoberfläche

Auffüllen der Oberfläche eines Gussstücks in einer offenen Gussform, wo die endgültige Erstarrung stattfindet und wo vor der endgültigen Erstarrung zusätzliche geschmolzene Legierung hinzugefügt werden kann, um die Schwindung auszugleichen, damit die Anforderungen an das endgültige Gewicht und die Abmessungen eingehalten werden

3.31

Unterschneidung

Unterhöhlung

Bildung von Hohlräumen unter der Oberfläche, beispielsweise verursacht durch Lochkorrosion oder interkristalline Korrosion

3.32

Ausnutzungsfaktor

Anteil der Masse der galvanischen Legierung in einer Anode, der für den kathodischen Schutzstrom verwendet werden kann, bevor der galvanische Werkstoff nicht mehr vom Kern gestützt wird oder die Anode nicht mehr den erforderlichen Mindeststrom liefern kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Ausnutzungsfaktor wird im Allgemeinen numerisch ausgedrückt, z.B. 0,80, und ist abhängig von der genauen Ausführung der Anode und der Lage des Einsatzes. Der Ausnutzungsfaktor ist entscheidend bei der Bestimmung der Anforderungen an die Anodenmasse bei einer CP-Planung.

3.33

Hohlraum

Mangel an Verbindung zwischen dem Stahlkern und der Gusslegierung einer Anode, der durch Bewegung des Anodenkerns in der Gussform während des Erstarrens der Legierung entstehen kann

4 Symbole und Abkürzungen

4.1 Symbole

<i>E</i>	Verbrauchsrate der Anode, kg/(A·y)
<i>Q</i>	elektrochemische Kapazität der Legierung, A·h/kg
<i>CE</i>	Kohlenstoffäquivalent (en: Carbon equivalent)

4.2 Abkürzungen

Al	Aluminium
CP	kathodischer Korrosionsschutz (en: Cathodic protection)
Eq. CO ₂	äquivalenter Gehalt an Kohlenstoffdioxid
EPD	Umweltproduktdeklaration (en: Environmental product declaration)
GACP	kathodischer Korrosionsschutz durch galvanische Anoden (en: Galvanic anode cathodic protection)
GWP	Treibhauspotential (en: Global warming potential) (Eq. CO ₂)
ICCP	kathodischer Korrosionsschutz durch Fremdstrom (en: Impressed current cathodic protection)
ISO	Internationale Organisation für Normung (en: International standardization organization)
ITP	Inspektions- und Prüfplan (en: Inspection and test plan)
Mg	Magnesium
QC	Qualitätskontrolle (en: Quality control)
Zn	Zink

5 Qualifikation des Personals

Es liegt in der Verantwortung des Personals, das die Planung der Anode und des Anodenkerns vornimmt, sicherzustellen, dass die Anode einschließlich ihres Kerns geeignet ist, den Ausnutzungsfaktor zu erreichen, siehe Abschnitt 7. Die für die Planung des Kerns verantwortlichen Personen müssen über den für die durchgeführten Aufgaben angemessenen Qualifikationsgrad verfügen. Die für alle anderen Aspekte der Anodenherstellung, -inspektion und -prüfung verantwortlichen Personen müssen ebenfalls über den für die durchgeführten Aufgaben angemessenen Qualifikationsgrad verfügen; diese sollten Gegenstand der erforderlichen Weiterbildung, Beurteilung und Dokumentation durch den Anodenhersteller sein, um sicherzustellen, dass die Anforderungen dieses Dokuments erfüllt werden.

Die Qualifikation von CP-Personal entsprechend dem für die durchgeführten Aufgaben angemessenen Qualifikationsgrad sollte durch eine Zertifizierung nach Literaturhinweis [12] oder durch ein anderes gleichwertiges Präqualifikationsverfahren nachgewiesen werden.

6 Werkstoffe von galvanischen Anoden und deren Eigenschaften

6.1 Allgemeines

In dieser Norm müssen Legierungen, die für galvanische Anoden in Meerwasser oder salzhaltigem Sediment verwendet werden, auf Aluminium (Al), Magnesium (Mg) oder Zink (Zn) basieren. Die Leistung, und somit die Eignung einer bestimmten Legierung für eine konkrete Anwendung, hängt von der Zusammensetzung und den Merkmalen sowohl der Legierung als auch des Elektrolyten sowie von den Betriebsbedingungen der polarisierten Anode ab.

Die Leistungsmerkmale einer Anodenlegierung dürfen aus den Leistungsdaten abgeleitet werden, die unter den vorliegenden Umgebungsbedingungen ermittelt wurden. Die Leistungsdaten müssen die elektrochemische Kapazität in Amperestunden je Kilogramm (A·h/kg) und das Anode-Elektrolyt-Potential des geschlossenen Stromkreises einer in Betrieb befindlichen Anode enthalten, gemessen gegen eine kalibrierte Standard-Bezugselektrode (siehe 6.3 und Anhang D).

Jede Anode muss durch Einprägen der Gussnummer während der Herstellung eindeutig gekennzeichnet werden. Andere Kennzeichnungen dürfen nach Vereinbarung zwischen Käufer und Hersteller hinzugefügt werden und dürfen z. B. eine Herstellerkennung, eine Legierungsbezeichnung, das Anodengewicht und eine fortlaufende Produktionsnummer innerhalb des Gusses umfassen. Die Kennzeichnung sollte durch Einprägung auf der Anodenoberfläche erfolgen, und zwar an einer Stelle, die sichtbar ist, wenn die Anoden zur Lagerung oder Lieferung gestapelt oder palettiert werden.

6.2 Zusammensetzung der Anodenlegierung

Die Leistung einer Legierung hängt von der konkreten Zusammensetzung der Legierung ab. Abweichungen der Zusammensetzung von den festgelegten Spezifikationen können zu Schwankungen bei der Aktivierung, der Beständigkeit gegen Passivierung, der elektrochemischen Kapazität und der korrosionsbedingten Oberflächenmorphologie führen. Insbesondere sind einige Elemente dafür bekannt, dass sie eine nachteilige Wirkung auf die Anodenleistung haben, und ihr Gehalt unterliegt üblicherweise strengen Kontrollen.

Die häufigsten allgemeinen Zusammensetzungen für galvanische Anoden aus auf Aluminium, Magnesium und Zink basierenden Anodenlegierungen sind in Anhang C aufgeführt.

Eine strenge Kontrolle der chemischen Zusammensetzung der Legierung, sowohl der Legierungselemente als auch der Verunreinigungen, ist unerlässlich und muss bei jedem Guss durchgeführt werden.

Mindestens zwei Proben von jedem Guss (Schöpfprobe) müssen für eine chemische Analyse entnommen werden. Die Proben müssen am Anfang und am Ende des Gussvorgangs aus dem Gießstrahl entnommen werden. Die Proben müssen am Anfang des ersten Gusses und am Ende des zweiten Gusses, dann am Anfang des dritten Gusses usw. entnommen werden. Die Proben müssen analysiert werden, um die erforderliche chemische Zusammensetzung zu verifizieren. Alle Proben müssen mit der Gussnummer gekennzeichnet werden. Alle Anoden aus einem bestimmten Guss müssen in ähnlicher Weise mit der Gussnummer gekennzeichnet werden (siehe 6.1).

Die Proben müssen analysiert werden, um die Einhaltung der vereinbarten Grenzwerte für die chemische Zusammensetzung der hergestellten Legierung zu belegen. Zusätzliche Proben dürfen entnommen und für eine zukünftige Bestimmung der chemischen Zusammensetzung gelagert werden.

ANMERKUNG Die Funkenemissionsspektrometrie ist ein geeignetes Analyseverfahren in einer Produktionsumgebung, erfordert jedoch eine regelmäßige Kalibrierung anhand von Proben einer bekannten und zertifizierten Referenzlegierung.

Wird ein Schöpfofen als kleiner Warmhalteofen verwendet, um die abkühlende und erstarrende Anode nach Beendigung des Gießens aus dem Hauptofen weiter aufzufüllen, muss der Schöpfofen aus demselben Guss wie der Hauptofen versorgt werden. Aus dem Schöpfofen sollte eine Probe zur chemischen Analyse entnommen werden, um sicherzustellen, dass die Zusammensetzung nicht durch frühere Verunreinigungen außerhalb der Grenzwerte liegt.

Die chemische Zusammensetzung aller analysierten Proben muss dokumentiert werden. Anoden aus Güssen, deren chemische Zusammensetzung nicht der geforderten chemischen Zusammensetzung entspricht, müssen zurückgewiesen werden.

6.3 Elektrochemische Eigenschaften

6.3.1 Allgemeines

Der kathodische Korrosionsschutz ist seinem Wesen nach elektrochemisch, und die elektrochemischen Eigenschaften des Anodenwerkstoffs sind entscheidende Faktoren bei der Planung des kathodischen Korrosionsschutzes und müssen daher dokumentiert werden. Diese Eigenschaften sind:

- Potential des geschlossenen Stromkreises;
- praktische elektrochemische Kapazität.

Diese Eigenschaften können sich jedoch in Abhängigkeit von den Elektrolytbedingungen und im Zeitverlauf ändern, selbst wenn sie konstanten Bedingungen ausgesetzt sind, da sich auf der Anodenoberfläche Korrosionsprodukte und Schichten aus marinem Bewuchs bilden und der Strombedarf schwankt. Bei der Berücksichtigung dieser Parameter für CP-spezifische Planungszwecke sollte sorgfältig vorgegangen werden (siehe 6.4.2).

ANMERKUNG 1 In [13] und [13] [16] sind weiterführende Informationen über die Auswirkungen von Kapazitätsschwankungen in Abhängigkeit von Temperatur und Umgebung auf die Planung des kathodischen Korrosionsschutzes für Rohrleitungen enthalten.

ANMERKUNG 2 Aufgrund von Selbstkorrosion haben alle Anodenwerkstoffe eine niedrigere praktische elektrochemische Kapazität als die, die unter Berücksichtigung der nach dem faradayschen Gesetz bestimmten theoretischen elektrischen Äquivalenz berechnet wird (d. h. ein Teil der Anodenmasse wird durch Selbstkorrosion und nicht durch Stromversorgung verbraucht und steht nicht für den kathodischen Korrosionsschutz zur Verfügung). Bei der Planung des kathodischen Korrosionsschutzes wird die praktische elektrochemische Kapazität verwendet.

6.4 Elektrochemische Prüfungen

6.4.1 Allgemeines

Es gibt zwei Hauptgründe für die Durchführung elektrochemischer Prüfungen. Dies sind Prüfungen zur Bestimmung der elektrochemischen Leistung von Legierungen und zur Qualitätskontrolle in der Produktion. Prüfungen können auch zu Forschungszwecken durchgeführt werden, aber derartige Prüfungen sind im Allgemeinen kundenspezifisch und werden in dieser Norm nicht berücksichtigt.

Die wichtigsten Verfahren der elektrochemischen Prüfung sind in Anhang D beschrieben.

6.4.2 Leistungsprüfung

Für die Bestimmung der Leistung einer Legierung gibt es keinen Ersatz für längere Feldprüfungen von Legierungen in praktischen Situationen, und auf die langjährige Erfahrung, die inzwischen mit verschiedenen Anodenanwendungen gesammelt wurde, kann nach Möglichkeit zurückgegriffen werden.

Wenn keine zuverlässigen historischen oder Labordaten bezüglich der Leistung eines bestimmten Bereichs der Zusammensetzung der Anodenlegierung in einer bestimmten Umgebung verfügbar sind, müssen elektrochemische Prüfungen durchgeführt werden, um das entsprechende Potential des geschlossenen Stromkreises und die elektrochemische Kapazität zu ermitteln.

Langzeit-Laborprüfverfahren müssen so ausgewählt werden, dass sie die zu erwartenden Betriebsbedingungen (einschließlich Elektrolyt, Temperatur und Anodenstromdichte) am besten wiedergeben, und müssen über einen ausreichend langen Zeitraum durchgeführt werden, um eine realistische Beurteilung der Leistung einer Legierung in einer praktischen Anwendung zu ermöglichen.

ANMERKUNG Es wird empfohlen, dass die Prüfdauer nicht weniger als 1 Jahr betragen sollte, aber es sollte auch anerkannt werden, dass selbst 12 Monate immer noch eine verhältnismäßig kurze Zeitdauer im Vergleich zu den meisten CP-Auslegungslbensdauern sind – siehe auch Anhang D.

Eine Langzeitprüfung nach einem vereinbarten gemeinsamen Verfahren kann angewendet werden, um Legierungen für bestimmte Zwecke zu qualifizieren, und sie kann nützlich sein, um Legierungen auf einer relativen Skala einzustufen. Ein derartiges Verfahren ist in [15] beschrieben.

Während eine derartige Laborprüfung Daten über die Leistung einer Legierung liefert, ist es wichtig zu beachten, dass diese Daten nur die jeweiligen Prüfparameter widerspiegeln, die bei der Prüfung verwendet wurden, z. B. Beanspruchungsdauer, Temperatur und Anodenstromdichte und deren Veränderung im Zeitverlauf. Freilaufende Prüfungen weisen Schwankungen der Stromdichte im Zeitverlauf auf, andererseits sind galvanostatische Halteversuche möglicherweise nicht in der Lage, das Risiko einer Passivierung aufzuzeigen. Selbst Daten aus freilaufenden Langzeitprüfungen sollten mit Vorsicht verwendet werden, da sie möglicherweise nicht die spezielle vorgesehene Anwendung widerspiegeln und es nicht unbedingt sicher ist, die Prüfergebnisse für die CP-Planung in allen Anwendungen zu übernehmen (siehe Anhang D).

Die Proben für die elektrochemischen Prüfungen sollten für den festgelegten Bereich der Zusammensetzung der Legierung, den Prozessweg und die angestrebte chemische Analyse repräsentativ sein.

Wenn die Leistungsprüfungen zur Bestimmung der Leistungsmerkmale der Anodenlegierung für Planungszwecke verwendet werden sollen, sollten sie von einer unabhängigen Prüfstelle durchgeführt oder bestätigt und beurteilt werden.

6.4.3 Kurzzeitprüfungen zur Qualitätskontrolle

Die Ziele von Kurzzeitprüfungen zur Qualitätskontrolle (QC) unterscheiden sich stark von denen der in 6.4.2 beschriebenen Langzeitprüfungen. Kurzzeitprüfungen sind dafür ausgelegt, in einem verhältnismäßig kurzen Zeitraum messbare Ergebnisse zu erzielen, die mit den Anforderungen an die Produktionsfreigabe und die Lieferung vereinbar sind. Dies erfolgt, indem verhältnismäßig hohe Anodenstromdichten angenommen werden, die außerhalb der vernünftigen Erwartungen der tatsächlichen Anodenanwendungen liegen dürfen. Diese Prüfungen sind in erster Linie dafür vorgesehen, die Konsistenz der Produktion innerhalb eines bestimmten Bereichs der chemischen Zusammensetzung der Legierung nachzuweisen.

Daten aus derartigen Kurzzeitprüfungen zur Qualitätskontrolle dürfen nicht für die Systemplanung herangezogen oder als Indikator für die langfristige Leistung der Legierung interpretiert werden.

Kurzzeitprüfungen zur Qualitätskontrolle sollten nach einem vereinbarten genormten Verfahren durchgeführt werden; geeignete, allgemein gebräuchliche Prüfungen sind die in [15] und [21] beschriebenen (siehe auch Anhang D). Für die Qualitätskontrolle in der Anodenproduktion sollten Kurzzeitprüfungen mit hoher Stromdichte an jeder Charge der Produktion oder anderweitig mit einer zu vereinbarenden Häufigkeit durchgeführt werden, die mit den vertraglichen Lieferanforderungen übereinstimmt. Die Annahmekriterien für die Prüfungen zur Qualitätskontrolle müssen vereinbart werden und die Prüfergebnisse sollten Teil der Vertragsunterlagen sein.

Andere Kurzzeitprüfungen zu Qualitätskontrollzwecken, wie z. B. Prüfungen des Potentials des geschlossenen Stromkreises, dürfen nach Vereinbarung durchgeführt werden.

6.5 Verbrauchsrate der Anode

Die Verbrauchsrate der Anode bei einer Anode aus einer galvanischen Legierung wird in Kilogramm je Ampere-jahr angegeben (kg/A·y) und ist die Gesamtmenge an Anodenwerkstoff, der in der Praxis für eine Stromabgabe von einem Ampere während eines Jahres verbraucht wird. Wie im Fall der elektrochemischen Kapazität (siehe 6.4.2), haben alle Anodenwerkstoffe eine praktische Verbrauchsrate, die sich von der theoretischen Verbrauchsrate unterscheidet. In diesem Fall ist die Verbrauchsrate der Anode höher als die nach dem faraday-schen Gesetz errechnete.

Die Verbrauchsrate der Anode und die Strombelastbarkeit sind wie folgt miteinander verbunden:

$$E \cdot Q = 8\,760$$

Dabei ist

E die Verbrauchsrate der Anode, kg/(A·y);

Q die elektrochemische Kapazität (A·h/kg);

8 760 die Anzahl von Stunden in einem Jahr.

7 Auslegungs- und Annahmekriterien für Anoden

7.1 Allgemeines

Die chemische Zusammensetzung einer beliebigen Legierung, die für galvanische Anoden verwendet wird, muss entweder vom CP-Planer oder vom Käufer festgelegt werden und die entsprechenden elektrochemischen Eigenschaften müssen anhand festgelegter Prüfverfahren bestimmt und dokumentiert werden (siehe 6.3).

Die Anoden einschließlich der Kerne und zugehörigen Halterungen müssen so geplant sein, dass die festgelegte Leistung während der Herstellung, des Transports, des Einbaus und des Betriebs sichergestellt ist. Die Maße und Form der Anoden, ihres Stahlkerns und aller integrierten Erweiterungen müssen so ausgelegt sein, dass sie den mechanischen Kräften widerstehen, die auf die Anoden einwirken können, beispielsweise Wellen, Strömungen, Rammarbeiten oder Vibrationen. Bei allen Anoden müssen die Maße der Anode und des Anodenkerns so ausgelegt werden, dass sie mit dem vorgeschlagenen Einbauverfahren und den Anforderungen an Konstruktionswerkstoffe vereinbar sind. Der Stahlkern muss jedoch so ausgelegt sein, dass er die Anodenlegierung während ihrer gesamten Auslegungsdauer in Übereinstimmung mit dem der Ausführung der Anode entsprechenden Ausnutzungsfaktor stützt.

Anoden dürfen nicht ohne Kerne oder Einsätze hergestellt werden.

In Unterwasserbereichen, in denen möglicherweise Taucher oder ferngesteuerte Fahrzeuge im Einsatz sind, sollten die Abstandsanoden so angeordnet sein, dass die Stützkerne durch die Stirnflächen der Anode hindurchragen, um die Gefahr eines Verfangens von Drähten, Seilen, Versorgungskabeln usw. zu verringern.

Bei offenen Gussformen muss das Übergießen zum Auffüllen von Schwindungssenkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Die Oberflächen aller Güsse der flüssigen Anodenlegierung müssen glatt sein, bevor die Oberfläche der Gussanoden erstarrt. Die Oberfläche der Anode darf eine Zeit lang in einem flüssigen Zustand gehalten werden, indem Hitze angewendet wird, z. B. durch Gasbrenner, aber sobald sie erstarrt ist, darf kein erneutes Schmelzen zugelassen werden, auch nicht zum Auffüllen von Schwindungssenkungen.

Die freiliegenden (äußeren) Oberflächen der Anode dürfen nicht beschichtet werden, außer bei bündig montierten und Manschettenanoden, bei denen die der zu schützenden Oberfläche der Anlage zugewandte und unmittelbar angrenzende Anodenoberfläche beschichtet sein sollte.

Die Hersteller sollten fehlerfreie Anodengussteile herstellen. Das Vorhandensein von Fehlern, wie z. B. Schwindungssenkungen und Rissen, sollte den in Anhang B festgelegten Anforderungen entsprechen.

Die physikalischen Toleranzen von Anoden müssen entsprechend den Anforderungen von Anhang B bestätigt werden. Zwischen dem Anodenhersteller und dem Käufer muss vor Beginn des Gießens der Anoden ein Inspektions- und Prüfplan (ITP) vereinbart werden. Der ITP legt alle Anforderungen an die Produktion fest, einschließlich der Zusammensetzung der Legierung, der Prüfungen, der Maße usw., und auch, welchen Grad an Inspektionen der Käufer während der Produktion verlangt. Ein Beispiel für einen ITP ist in Anhang E enthalten.

7.2 Chemische Zusammensetzung

Legierungen für galvanische Anoden können entweder aufgrund ihrer inhärenten mechanischen Eigenschaften und/oder der Beschaffenheit des Werkstoffs im Gusszustand eine verminderte Duktilität aufweisen. Dieser Umstand sollte bei der Auslegung von Anodenform und -größe berücksichtigt werden. Legierungszusätze, die üblicherweise zur Verstärkung von Maschinengussteilen aus Aluminium-, Zink- und Magnesium verwendet werden, können wegen ihrer nachteiligen Auswirkung auf die elektrochemischen Eigenschaften nicht für galvanische Anoden verwendet werden. Anhang C enthält Höchstwerte für einige dieser nachteilig wirkenden Elemente in verschiedenen galvanischen Legierungen.

7.3 Elektrochemische Eigenschaften

Die Ausführung einer Anode ist ein Kompromiss zwischen dem von einer Anode benötigten Strom und der Nettomasse der Anode im Gusszustand.

Die Kapazität der Anodenlegierung ist ein entscheidender Faktor bei der Bestimmung der Anforderungen an das Anoden-Nettogewicht einer CP-Konstruktion, und der richtige Wert der Kapazität der Anodenlegierung, der für eine bestimmte Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes geeignet ist, ist von entscheidender Bedeutung (siehe 6.3, 6.4.2 und Anhang D).

Das Potential des geschlossenen Stromkreises bestimmt die Steuerspannung zwischen der Anode und der geschützten Anlage. Die Steuerspannung und der Anode/Elektrolyt-Widerstand (ohmscher Widerstand) der Anode werden verwendet, um den verfügbaren Strom in verschiedenen Phasen der Lebensdauer der Anode zu bestimmen.

ANMERKUNG Standardgleichungen für den Anodenwiderstand für verschiedene Anodenformen sind in vielen anderen CP-Konstruktionsnormen enthalten, wie z. B. [4] [11] [13] [14] und [15].

7.4 Anodenform

Die Anodenform wird von vielen Faktoren bestimmt, einschließlich der Form oder Art des zu schützenden Objekts, z. B. Rohrleitungen, Unterwasseranlagen mit engen Räumen und Unterwasseranlagen in offenem Meerwasser, und andere CP-Spezifikationen informieren über die bevorzugten oder möglichen Konfigurationen von Anoden, die unter diesen Umständen erforderlich sind.

Weitere wichtige Faktoren, die bei der Entscheidung über die Größe und Form der Anode zu berücksichtigen sind, sind:

- die Anodenverteilung, die das Ausmaß des Schutzes der Anlage und damit die Anzahl und Größe der Anoden bestimmt;
- Legierungsüberzug über dem Kern, der die anfängliche Masse der Anode und eine etwaige Neigung zur Rissbildung der Anode im Gusszustand bestimmt, zusätzlich zur Stromabgabe am Ende der Lebensdauer;
- Anodenstromabgabe, die mit Hilfe des ohmschen Gesetzes aus der Kenntnis der Steuerspannung und des Anode/Elektrolyt-Widerstands berechnet wird.

Es gibt bewährte Gleichungen für die Berechnung des Widerstands zwischen Anode und Elektrolyt (Meerwasser) (7.2), aber alle erfordern die Kenntnis des spezifischen Elektrolytwiderstands, der durch den Salzgehalt des Meerwassers bestimmt wird.

Während die meisten marinen CP-Anwendungen in Gewässern mit einem Salzgehalt von 30 ‰ bis 35 ‰ oder deren Sedimenten erfolgen, ist in Gebieten, in denen der Salzgehalt bekanntermaßen stark schwankt, wie z. B. in der Ostsee, dem Kaspischen und dem Schwarzen Meer, besondere Vorsicht geboten. Anhang A enthält Informationen über den Salzgehalt der Meere.

Bei allen Anwendungen in Meerwasser außerhalb dieses Salzgehaltsbereichs oder in entsprechenden Sedimenten sollten die elektrochemischen Eigenschaften, die elektrochemische Kapazität und das elektrochemische Potential, bestimmt werden. Einige Hinweise finden sich in der Literatur [35], doch sollten vor der Auswahl der Anodenform und der Grenzwerte für die Zusammensetzung ausführliche Beurteilungen und Prüfungen durchgeführt werden.

7.5 Physikalische Eigenschaften

Die physikalischen und Maßtoleranzen müssen den Anforderungen an die Ausführung der Anode entsprechen. Alle spezifischen Toleranzen, die für eine bestimmte CP-Konstruktion erforderlich sind, müssen zwischen Käufer und Hersteller vereinbart und auf einer genehmigten Zeichnung eindeutig gekennzeichnet werden.

Physikalische und Maßtoleranzen, die als Standardparameter verwendet werden können, sind in Anhang B aufgeführt.

Eine Anode oder ihr Stahlkern darf weder an der Oberfläche noch im Inneren des Körpers einen Fehler aufweisen, der den Transport, den Einbau und die zukünftige Leistung der Anode beeinflusst. Alle hervorstehenden Teile entweder am Anodenkörper oder an Oberflächen des Einsatzes müssen untersucht und entfernt werden, wenn sie eine potentielle Sicherheitsgefährdung darstellen.

7.6 Anodenkernwerkstoffe

Anodenkerne müssen aus schweißbaren Baustahlrohren/-platten/-profilen nach einer anerkannten Norm, wie z. B. ISO 630 (alle Teile), EN 10025 (alle Teile) oder einer ähnlichen Norm hergestellt werden. Anodenkernwerkstoffe, die an die Konstruktion zu schweißen sind, müssen mit dem Stahl der Konstruktion oder den Bauelementen, an die sie befestigt werden, kompatibel sein, und das Kohlenstoffäquivalent (CE) darf nicht höher sein als der CE-Wert von dem Stahl, an den sie geschweißt werden. Der CE-Wert muss unter Anwendung von Gleichung (1) berechnet werden.

$$CE = \%C + \frac{\%MN}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (1)$$

Wenn die vollständige chemische Zusammensetzung nicht angegeben ist, darf die alternative CE-Gleichung (2) verwendet werden.

$$CE = \%C + \frac{\%MN}{6} + 0,04 \quad (2)$$

In allen Fällen darf CE nicht höher sein als 0,45.

Die Werkstoffbescheinigung für die Anodenkerne muss mindestens die Anforderungen nach ISO 10474:2013, 2.1) erfüllen.

Bei allen Schweißarbeiten für die Herstellung der Anoden-Stahlkerne müssen die Schweißverfahren den relevanten Anforderungen von ISO 15607 und EN ISO 15609-1 oder einer gleichwertigen Norm entsprechen.

ANMERKUNG 1 Literaturhinweis [22] stellt ein annehmbares Äquivalent dar.

Die Schweißnähte müssen von Schweißern ausgeführt werden, die nach EN 287-1 qualifiziert sind.

ANMERKUNG 2 Literaturhinweis [22] stellt ein annehmbares Äquivalent dar.

Eine 100 %-Sichtprüfung der Kerne muss vor dem Gießvorgang durchgeführt werden.

Bei Zink- oder Magnesiumanoden dürfen die Stahlkerne aus blankem oder feuerverzinktem Stahl bestehen. In diesem Fall muss die Feuerverzinkung ISO 1461 [1] entsprechen.

Galvanisch aufgebraute Zinkbeschichtungen nach [2] ermöglichen keine echte intermetallische Stahl-Zink-Bindung und sollten nicht verwendet werden.

Eine sichtbare Oberflächenkontamination der strahlgereinigten oder zinkbeschichteten Oberfläche ist nicht zulässig. Wenn blanke Stahlkerne verwendet werden, müssen sie auf Grad Sa 2 $\frac{1}{2}$ nach ISO 8501-1 gestrahlt werden.

Bei Aluminiumanoden muss der Stahlkern vor dem Gießen mit körnigem Strahlmittel mindestens auf Grad Sa 2 $\frac{1}{2}$ nach ISO 8501-1 gestrahlt werden. Das Oberflächenprofil muss mindestens 75 Mikrometer betragen. Verzinkte oder galvanisch verzinkte Kerne dürfen nicht verwendet werden.

ANMERKUNG 3 Eine Zinkbeschichtung auf einem Einsatz in einer Aluminiumanode führt zu einer exothermen Reaktion zwischen dem Aluminium und der Zink/Eisen-Grenzfläche und dann dem Stahl, was möglicherweise ein erhebliches Sicherheitsrisiko für das Gießpersonal darstellt. Sowohl Zink als auch Stahl würden sich während des Gießens mit möglicher Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Legierung und Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften des Stahlkerns auflösen.

Rostverfärbung und/oder sichtbare Oberflächenkontamination der Kerne vor dem Gießen der Anode dürfen nicht zugelassen werden.

7.7 Kabelverbindungen zu Anoden

Wenn Anoden über Kabel mit der Konstruktion zu verbinden sind, anstatt den Kern direkt an die Konstruktion zu schweißen, muss das Kabel so ausgewählt werden, dass eine robuste mechanische Verbindung mit geringem Kontaktwiderstand und niedrigem Gesamtspannungsfall gegeben ist. Das Kabel sollte einen Kupferkern haben, mehrdrähtig und isoliert sein oder isoliert und mit einem Werkstoff ummantelt sein, der für eine langfristige Beanspruchung durch Meerwasser geeignet ist. Die Kabelgröße hängt von der jeweiligen Anwendung ab, es wird jedoch eine Mindestgröße des Kupferkerns von 16 mm² empfohlen. Bei Anoden und Verbindungen in dynamischeren Umgebungen oder in Fällen, in denen Spannungsfälle dies erfordern, sind möglicherweise größere Querschnittsflächen des Kupferkerns und ein zusätzlicher mechanischer Schutz erforderlich. Die Eigenschaften der Kabelisolierung und -ummantelung werden möglicherweise auch durch die Anforderungen an die Flexibilität beim Einbau der Anode beeinflusst.

Ein detailliertes Verfahren für den Anschluss des Kabels an die Konstruktion ist nicht Teil der Ausführung der Anode und sollte im Rahmen der CP-Planung ausführlich beschrieben werden.

Die Kabelverbindung zur Anode muss mechanisch einwandfrei sein, wobei ein bewährtes Verbindungsverfahren, wie z. B. Hartlöten, angewendet wird. Wenn Kabelschuhe verwendet werden, müssen sie die richtige Größe für sowohl Kabel als auch Bolzen haben sowie sechseckig gecrimpt und hartgelötet oder mit Silberlot gelötet sein. Wenn möglich, sollte die Verbindung mit einer geeigneten Dickbeschichtung, einem abbindenden Mastix (härtendem Dichtungskitt) oder einer für die Umgebung der Anwendung geeigneten Verkapselung abgedichtet werden.

ANMERKUNG Wenn die Verbindung durch ein Kabel erfolgt, wird die Verwendung mehrerer Kabel empfohlen, um im Falle einer Beschädigung des Kabels ein gewisses Maß an Redundanz zu ermöglichen.

8 Umweltauswirkung

Alle Systeme für den kathodischen Korrosionsschutz (CP), ob es sich nun um einen kathodischen Korrosionsschutz durch galvanische Anoden oder um einen kathodischen Korrosionsschutz durch Fremdstrom handelt, haben Auswirkungen auf die Umwelt und die Nachhaltigkeit. Zu den Verfahren zur Ermittlung dieser Auswirkungen gehören Umweltproduktdeklarationen (EPD, en: Environmental Product Declarations) und Ökobilanzen (LCA, en: Life Cycle Assessment). Informationen dazu und weitere Informationen, die für galvanische Anoden relevant sind, sind in Anhang E enthalten.

Es wird empfohlen, dass vom Käufer eine EPD für die galvanischen Anoden angefordert wird, mit vorher festgelegten Wirkungskategorien und einer Analyse, die Rohstoffbeschaffung, Produktion, Verwendung, Recycling/Wiederverwendung, Abfallbehandlung, Transport und Energieversorgung umfasst (siehe Anhang E).

Die Produktdeklaration von Anoden kann dann in die Umweltauswirkung des kathodischen Korrosionsschutzsystems (LCA) als Ganzes einbezogen werden, das die Planung, die Fertigungsanwendung, den Betrieb und die Wartung sowie alle Komponenten des Systems umfasst. Es handelt sich um das gesamte kathodische Korrosionsschutzsystem sowie die gesamte zu schützende Anlage, die optimiert werden sollten, um die nachteiligen Umweltauswirkungen zu minimieren.

Zu den Faktoren, die ausschließlich galvanische Anoden betreffen und die bei der Betrachtung der Auswirkungen auf die Umwelt und die Nachhaltigkeit von Bedeutung sein können, gehören die Anodengeometrie und die chemische Zusammensetzung.

Die Anodengeometrie bestimmt den Strom, der von einer Anode abgegeben werden kann. Die richtige Dimensionierung und Verteilung der Anoden kann in vielen Fällen dazu führen, dass für eine spezielle Systemplanung weniger Anoden benötigt werden. Eine Verringerung der für das System insgesamt erforderlichen Anodenmasse verringert die Umweltauswirkung.

Die chemische Zusammensetzung der Anoden kann so angepasst werden, dass die Auswirkungen von Bestandteilen, die möglicherweise nachteilig für die Umwelt sind, verringert werden (Anhang C). Eine verantwortungs-

volle Beschaffung wird empfohlen. Dies erfordert Informationen über die Herkunft des Erzes (Vermeidung der Abholzung von Wäldern, einschließlich Regenwäldern) und Umweltdaten über die in Legierungen verwendeten Metalle.

Die direkte Auswirkung von Metallemissionen in das umgebende Meerwasser oder Sediment durch sich auflösende galvanische Anoden wurde untersucht [42] [43] [44] [45] [46] [48] [52], jedoch wurden bisher keine schlüssigen Beweise veröffentlicht, die messbare oder signifikante nachteilige Auswirkungen auf Metallsalze in der Meeresumgebung oder auf Meeresorganismen belegen.

Anhang E enthält weiterführende Informationen.

Anhang A (informativ)

Meerwasser

Diese Norm ist anwendbar auf Anoden in Meerwasser, aber auch auf Anoden in Brackwasser und salzhaltigen Sedimenten.

Meerwasser ist das Wasser der Ozeane oder Meere. Der Salzgehalt von vollsalzigen Meeren liegt im Allgemeinen zwischen 30 ‰ und 35 ‰, einige Quellen geben jedoch 34 ‰ bis 36 ‰ an.

Brackige Meere oder Gewässer, die üblicherweise durch fluviale Zuflüsse aus Flüssen verdünnt werden, haben einen Salzgehalt im Bereich zwischen 0,5 ‰ und 29 ‰.

Metahaline Meere haben einen Salzgehalt von 36 ‰ bis 40 ‰. Ihr Salzgehalt leitet sich aus dem Ozean ab, und der Salzgehalt schwankt im Laufe der Zeit nicht sehr stark. Beispiele sind die Shark Bay vor Westaustralien und die Exuma Cays auf den Bahamas.

Es gibt einige Gewässer (Wasserkörper), deren Salzgehalt im Zeitverlauf stark schwankt, was im Allgemeinen mit der Flora und Fauna im Wasser zusammenhängt.

Die meisten CP-Anwendungen sind in Ozeanen oder Meeren mit einem Salzgehalt von 30 ‰ bis 35 ‰ anzutreffen.

Eine Ausnahme bildet die Ostsee, deren Salzgehalt zwischen etwa 3 ‰ im Norden, etwa 4 ‰ im Finnischen Meerbusen und etwa 7 ‰ in der Nähe des Rigaer Meerbusens liegt. Diese Werte können im Zeitverlauf erheblichen Schwankungen unterliegen und sind von der Schichtung abhängig. Im Kattegat zwischen Dänemark und Schweden handelt es sich um „normales“ Meerwasser, aber der Übergang ist an der Brücke über den Großen Belt (Storebaelt-Brücke) und an der Küste von Lübeck und Rostock deutlich ausgeprägt, wobei der Salzgehalt um Bornholm mit etwa 8 ‰ an der Oberfläche und 16 ‰ in der Tiefe angegeben wird. In der Ostsee gibt es noch andere Probleme, ein großer Teil des Meeresbodens ist anoxisch und enthält signifikante Mengen H₂S.

Der Salzgehalt des Kaspischen Meeres schwankt von einem extrem niedrigen Wert von etwa 1 ‰ im Norden, wo die Wolga einmündet, bis zu Werten im Süden im Bereich zwischen 12,5 ‰ und 13,5 ‰. Es gibt ein begrenztes Gebiet, das Garabogazköl-Becken, wo der Salzgehalt mit 300 ‰ angegeben wird.

Im Schwarzen Meer schwankt der Salzgehalt zwischen etwa 17 ‰ im Osten und etwa 38 ‰ am Bosphorus, wobei es in der Tiefe erhebliche Schwankungen gibt und anoxische Bedingungen und H₂S in der Tiefe berichtet werden.

Anhang B (normativ)

Physikalische Toleranzen für galvanische Anoden

B.1 Allgemeines

Galvanische Anoden im Rahmen dieser Norm werden für bestimmte Zwecke hergestellt, d. h. um die Anforderungen der Planung des kathodischen Korrosionsschutzes zu erfüllen. Daher ist die Ausführung der Anode entscheidend, um die Erfüllung der beabsichtigten CP-Planung zu ermöglichen, und die physikalischen und Maßtoleranzen müssen den Anforderungen an die Ausführung der Anode entsprechen. Alle spezifischen Toleranzen, die für eine bestimmte CP-Konstruktion erforderlich sind, müssen zwischen Käufer und Hersteller vereinbart werden. Um Verwirrung zwischen dem Anodenhersteller und dem Käufer (und einem beliebigen zwischengeschalteten Prüfer) zu vermeiden, ist eine klare Angabe der Einzelheiten der Anodenausführung unerlässlich, und das bewährte praktische Verfahren hierfür ist die Erstellung einer technischen Zeichnung der Anode, die Maße und Gewichte mit Toleranzen und Werkstoffspezifikationen enthält, die von allen Parteien vor der Herstellung vereinbart werden können.

Sobald die Anforderungen an die Anode vereinbart sind, können Verfahren angewendet werden, die sicherstellen, dass die Zeichnungsanforderungen in vollem Umfang erfüllt werden. Ein praktisches Verfahren hierfür ist, dass der Hersteller einen Inspektions- und Prüfplan (Qualitätskontrollplan) erarbeitet, der sowohl vom Hersteller als auch vom Käufer eingehalten werden kann (siehe 6.1). Anhang B beschreibt die minimalen physikalischen und Maßtoleranzen für die Herstellung, die bei Fehlen anderer vereinbarter Werte für die Verifizierung der vereinbarten physikalischen Eigenschaften der hergestellten Anode verwendet werden können.

Ein projektspezifischer ITP muss zwischen Hersteller und Käufer für jedes einzelne Projekt vereinbart werden. Ein Beispiel für einen ITP ist in Anhang F enthalten.

ANMERKUNG In B.3 wird auf Abstands-, schlanke, bündig montierte und Manschettenanoden Bezug genommen. Abstandsanoden verfügen über Einsätze, die es ermöglichen, sie in einem bestimmten Abstand von der Oberfläche, an der sie befestigt werden, einzubauen. Dabei darf es sich um relativ kurze Anoden oder lange, schlanke Anoden handeln, die als $L \geq 4r$ definiert werden können, wobei L die Anodenlänge und $r = c/2\pi$ ist (c ist der Umfang der Anode). Alle diese Anodenkonfigurationen können unterschiedliche Maß- und physikalische Toleranzen aufweisen.

B.2 Anodenmasse

Einzelne Anodengussteile mit einer Nettomasse von mehr als 50 kg müssen eine Nettomasse aufweisen, die innerhalb von $\pm 3\%$ des Nennwerts der Nettomasse liegt. Bei Gussteilen mit einem Nennwert der Nettomasse von weniger als 50 kg muss die Toleranz $\pm 5\%$ betragen.

Eine Probe von mindestens 10 % der Gesamtzahl der Einsätze für den herzustellenden Anodentyp muss gewogen und die durchschnittliche Masse berechnet werden. Die Nettomasse der Anode wird als das gewogene Gussteilgewicht (Bruttomasse oder -gewicht) abzüglich des durchschnittlichen Gewichts des Einsatzes bestimmt.

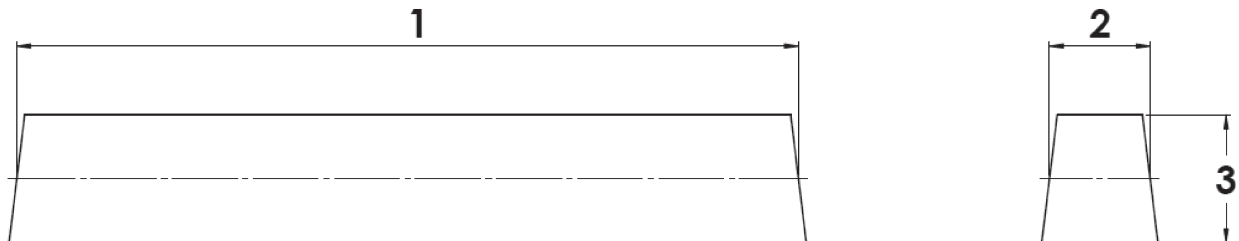
Gussteile dürfen entweder einzeln oder in Losen gewogen werden. Das Wägen von Losen kann im Einvernehmen zwischen Hersteller und Käufer erfolgen; in diesem Fall müssen jedoch repräsentative Anoden gewogen werden, wobei mindestens 10 % der Gesamtzahl der Gussteile jedes Typs gewogen werden.

ANMERKUNG Die Nettogesamtmasse der Anodengussteile für einen bestimmten Lieferauftrag kann als Mindestgesamtgewicht vereinbart werden, das erforderlich ist, um die vollständige CP-Auslegungslebensdauer und -leistung zu erreichen. In derartigen Fällen sollten der Käufer und der Lieferant die Grenzwerte für das erforderliche Mindestgewicht vereinbaren, z. B. 51 kg $+3\%$ oder $+6\%/-0$. Die minus 0 % können angemessen sein, wenn die Anzahl der Anoden zum Schutz einer einzelnen Anlage gering ist.

Die Nettogesamtmasse der Anodengussteile darf nicht kleiner sein als der Nennwert und sollte bei einer vertraglich vereinbarten Lieferbedingung nicht mehr als 2 % darüber liegen.

B.3 Maße und Geradheit der Anoden

Bild B.3.1 zeigt die Anodenmaße, die kontrollierten Toleranzen unterliegen.



Legende

- 1 Mittlere Länge der Anode
- 2 Mittlere Breite der Anode
- 3 Anodentiefe

Bild B.3.1 — Skizze mit der Angabe der mittleren Länge der Anode, der mittleren Breite der Anode und der Anodentiefe

B.3.1 Schlanke und bündig montierte Abstandsanoden

Die Maße müssen den folgenden Werten entsprechen:

- die mittlere Länge der Anoden muss $\pm 3\%$ der Nennlänge oder ± 25 mm betragen, je nachdem, welcher Wert kleiner ist;

ANMERKUNG Da die mittlere Länge der Anode ein wesentlicher bestimmender Faktor für den Anode/Elektrolyt-Widerstand und damit für die Anodenstromabgabe ist, kann der Käufer die Anodenlänge, die als notwendig zum Erreichen der vollständigen Auslegungslbensdauer und -leistung bestimmt wurde, als Minimum festlegen. In derartigen Fällen sollten der Käufer und der Lieferant die Grenzwerte für die Mindestlänge vereinbaren, z. B. 2 000 mm + 25 mm oder +50 mm/–0.

- die mittlere Breite der Anode sollte $\pm 5\%$ der mittleren Nennbreite betragen;
- die Anodentiefe sollte $\pm 10\%$ der mittleren Nenntiefe betragen;
- der Durchmesser von zylindrischen Anoden sollte $\pm 2,5\%$ des Nenndurchmessers betragen;
- die Geradheit der Anode darf nicht mehr als 2 % der Nennlänge der Anode oder 25 mm, je nachdem, welcher Wert kleiner ist, von der Längsachse der Anode abweichen. Ein geringer Grad an Verzug ist annehmbar, wenn er den Einbau der Anode nicht beeinträchtigt;
- mindestens 10 % der Gesamtanzahl der Anoden muss überprüft und gemessen werden, um die Einhaltung dieser Anforderungen zu bestätigen.

B.3.2 Manschettenanoden

Die Maße müssen den folgenden Werten entsprechen:

- die mittlere Länge des Anodengussteils muss $\pm 3\%$ der Nennlänge oder ± 25 mm betragen, je nachdem, welcher Wert kleiner ist, es sei denn, es besteht eine Vereinbarung zwischen Käufer und Lieferant.

Der Innendurchmesser der Anode muss die folgenden Maßtoleranzen einhalten:

- $-0/+4$ mm bei Rohrleitungsdurchmessern ≤ 300 mm;
- $-0/+6$ mm bei Rohrleitungsdurchmessern > 300 mm und ≤ 610 mm;
- $-0/+1$ % bei Rohrleitungsdurchmessern > 610 mm.

Die Maßtoleranzen für die Anodendicke müssen ± 3 mm betragen.

ANMERKUNG Für Manschettenanoden, die aus mehreren Gussanodensegmenten hergestellt werden, die auf Manschettenstahlbänder geschweißt sind, können die in B.3.1 beschriebenen Maßtoleranzen der einzelnen Anodengussteile anwendbar sein. Wegen der möglichen Abweichungen bei der Ausführung von segmentierten Manschetten sollten die Toleranzen jedoch zwischen Käufer und Hersteller vereinbart werden.

Mindestens 10 % der Gesamtanzahl von Anoden müssen überprüft werden, um die Einhaltung dieser Anforderungen zu bestätigen.

Die Anoden müssen frei von übermäßiger Durchbiegung oder Verwindung sein. Dies muss an einer vollständig zusammengebauten Manschette durch Befestigung an einen durchgehenden Spant oder durch ein anderes vereinbartes Verfahren überprüft werden. Der Außendurchmesser sollte zu keinem Zeitpunkt die Summe der vorstehend aufgeführten Toleranzen überschreiten.

B.4 Stahlkern

Die Lage des Anodenkerns oder des Einsatzes bestimmt die effektive Nutzung der Anode, was ein wichtiger Faktor bei der CP-Planung ist. Daher müssen die Querschnittsmaße des Anodenkerns und seine Lage im Anodenabschnitt der vereinbarten Fertigungszeichnung für die Anode (B.3) entsprechen.

Die Toleranzen für die Lage des Kerns innerhalb des Anodenabschnitts für ein konkretes Projekt müssen zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden und betragen, sofern nicht anders vereinbart, für

- bündig montierte Anoden ± 5 mm von der Solllage,
- Abstandsanoden ± 10 % der Nenntiefe der Anodenausführung oder ± 5 % der mittleren Nennbreite der Anodenausführung,
- für Manschettenanoden mit Halbschalen müssen die Toleranzen für die Lage des Kerns innerhalb des Gussteils vor der Herstellung vereinbart werden und dürfen eine null negative Toleranz einschließen.

Die Lage des Kerns innerhalb des Anodenabschnitts muss durch Messung an den Schnittflächen bestätigt werden. Das ist in B.7 beschrieben.

ANMERKUNG Bei Manschettenanoden und bündig montierten Anoden sollte der Einsatz so nahe wie möglich an der Oberfläche der Anode angeordnet werden, die an die Anlage angrenzt (üblicher Abstand 8 mm bis 10 mm). Der Anodenwerkstoff unterhalb des Einsatzes darf nicht als nutzbar angesehen werden. In einigen Fällen ist ein Ausnutzungsfaktor von 0,8 nicht erreichbar, was sich in der CP-Planung widerspiegeln sollte.

Hervorstehende Teile des Anodenkerns sind entscheidend für den Einbau der Anode und Toleranzen von Befestigungsmittelpunkten und alle weiteren festgelegten kritischen Maße müssen vereinbart und anhand von Proben von allen Anoden von jedem Typ gemessen werden und den festgelegten Anforderungen entsprechen. Bei Manschettenanoden kann dies auch für eine vollständig zusammengebaute Manschette durch Befestigung einer vereinbarten Anzahl von Baugruppen an einen durchgehenden Spant oder durch ein anderes vereinbartes Verfahren überprüft werden.

B.5 Unregelmäßigkeiten in der Anodenoberfläche

Alle Anoden müssen einer Sichtprüfung unterzogen werden, um die Einhaltung folgender Anforderungen zu bestätigen.

Schwindungssenkungen dürfen nicht größer sein als 10 % der Nenndicke oder Nenntiefe der Anode, gemessen mit einem Messgerät von einer geraden Kante über der Senkung an allen Positionen.

Schwindungssenkungen, die den Anodenkern freilegen, sind nicht zulässig.

Im Auffüllbereich darf die maximale Schwindung nicht tiefer sein als 10 mm, gemessen von einer geraden Kante über die Auffüllfläche, und nicht größer sein als 0,5 % des Bruttovolumens der Anode. Alle zusätzlichen Auffüllwerkstoffe oder Unregelmäßigkeiten in der Gussteiloberfläche müssen vollständig mit dem Vollwerkstoff der Anode verbunden sein.

Kaltschweißstellen dürfen eine Tiefe von 10 mm nicht überschreiten und/oder sich nicht über eine Gesamtlänge von mehr als die dreifache Breite der Anode (bei Abstands- und bündig montierte Anoden) oder mehr als 150 mm (bei Manschettenanoden) erstrecken.

Alle hervorstehenden Teile, die während der Handhabung eine Gefahr für das Personal darstellen, und alle scharfen Kanten müssen entfernt werden.

B.6 Risse in Gussanodenwerkstoffen

B.6.1 Allgemeines

Alle Anoden müssen einer Sichtprüfung unterzogen werden, um die Einhaltung der Anforderungen in B.5 zu bestätigen. Vor der Inspektion und Überprüfungen darf keine Behandlung angewendet werden, um die Risse wegzuschleifen, auszuhämmern oder anderweitig zu bearbeiten. Magnesium-Anoden müssen frei von Rissbildung sein, die mit dem bloßen Auge sichtbar ist.

Selbst bei guter Gießereitechnik kann eine bestimmte Zusammensetzung der Aluminiumlegierung für Anoden ein gewisses Maß an Rissbildung erleiden.

Risse können während der Abkühlung beim Gießvorgang von Aluminium- oder Zinkanoden aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der Anode und des Kerns auftreten. Diese Risse sind im Allgemeinen fein (< 0,5 mm breit) und verhältnismäßig kurz und nicht nachteilig, unter der Voraussetzung, dass sie nicht so konvergieren, dass es zu einem Verlust an Anodenlegierungswerkstoff kommt.

Kleine Risse im letzten Auffüllbereich offener Gussteile, wie z.B. Abstandsanoden und bündig montierte Anoden mit trapezförmigem Querschnitt, beeinträchtigen die strukturelle Integrität der Anode nicht und müssen nicht berücksichtigt werden.

Kleine Risse in Aluminium- und Zinkanoden können unter der Voraussetzung zulässig sein, dass die Risse nicht zu mechanischem Versagen während des Einbaus, Transports oder Betriebs der Anode führen. Die Kombination der Risse und der Mangel an Verbindung mit dem Kern sind nachteilig. Sichtbare Risse in Bereichen, in denen der Anodenwerkstoff nicht vollständig durch den Kern gestützt ist, sind nicht zulässig.

Risse, die in den Stahlkern eindringen oder die Anode durchdringen, sind nicht zulässig.

Der Stichprobenumfang der zu prüfenden Anoden muss zwischen Käufer und Hersteller vereinbart werden; Anoden mit Rissen, die die Grenzwerte in B.6 überschreiten, müssen zurückgewiesen werden. Werden mehr als 5 % des vereinbarten Stichprobenumfangs zurückgewiesen, müssen Käufer und Hersteller den Stichprobenumfang überprüfen und gegebenenfalls erhöhen.

B.6.2 Schlanke und bündig montierte Abstandsanoden

Risse, die in Längsrichtung von langen schlanken Anoden verlaufen, sind nicht zulässig.

- Bei Querrissen innerhalb des Bereichs einer Anodenlegierung, der vollständig durch den Kern gestützt wird, müssen die folgenden Annahmekriterien angewendet werden. Längsrisse sind nicht zulässig, ausgenommen feine Risse ($< 0,5$ mm breit) im abschließenden „Auffüll“-Metall.
- Querrisse mit einer Länge von höchstens 200 mm sind in jeder einzelnen Gussteiloberfläche zulässig, wenn ihre Breite 2 mm nicht überschreitet und nicht mehr als 10 Risse je Anode vorhanden sind. Kleine dichte Risse müssen als ein Riss betrachtet werden. Risse mit einer Breite von 0,5 mm oder weniger dürfen bei der Risszählung nicht berücksichtigt werden. Vollständig umlaufende Risse sind nicht zulässig.
- In Bereichen des gegossenen galvanischen Anodenwerkstoffs, die nicht vollständig durch den Anodeneinsatz gestützt werden, sind keine Risse zulässig, die ohne Vergrößerung sichtbar sind.

Die Anzahl der zulässigen Risse nach B.6.2 muss auf 10 je Gussteil begrenzt werden.

B.6.3 Manschettenanoden

In beliebigen Bereichen der gegossenen Anodenlegierung, die nicht vollständig durch den Kern gestützt werden, sind keine Risse zulässig, die ohne Vergrößerung sichtbar sind.

ANMERKUNG Halbschalen-Anodenkerne, die zwei umlaufende Bänder enthalten, sollten zwischen diesen Längstraversen haben, die zum Abstützen der Legierung zwischen den Bändern dienen.

Für Risse innerhalb des Bereichs einer Anode, der vollständig durch den Kern gestützt wird, müssen die folgenden Annahmekriterien angewendet werden:

Anoden mit Rissen, die ohne Vergrößerung sichtbar sind und die die folgenden Grenzwerte überschreiten, müssen zurückgewiesen werden:

- Längsrisse von mehr als 100 mm oder 20 % der Manschettenlänge, je nachdem, welcher Wert größer ist, und mit einer maximalen Breite von 1 mm;
- Umlaufende Risse (Umfangsrisse) mit einer Länge von mehr als 200 mm oder 50 % des Außendurchmessers der Manschette, je nachdem, welcher Wert größer ist, vorausgesetzt, die Rissbreite ist < 1 mm;
- Umlaufende Risse mit einer Länge von mehr als 100 mm oder 50 % des Außendurchmessers der Manschette, je nachdem, welcher Wert größer ist, vorausgesetzt, die Rissbreite ist < 3 mm;
- Risse mit einer Breite von mehr als 3 mm;
- Risse, die in den Stahlkern eindringen oder die Gussanode durchdringen.

Die Anzahl der zulässigen Risse nach B.6.3 muss auf 2 je Halbschale begrenzt werden.

Die Annahmekriterien für andere Rissgrößen sollten von der Ausführung des Kerns und der Anode abhängen und zwischen Käufer und Lieferant vereinbart werden.

B.7 Innere Fehler und zerstörende Prüfungen

Bei der Anzahl und dem Verfahren der Auswahl der zerstörend zu prüfenden (zerschnittenen) Anoden von jedem Anodentyp/jeder Anodengröße müssen die Ausführung und Gesamtzahl der Anoden sowie alle Vorfertigungsprüfungen berücksichtigt und zwischen Käufer und Hersteller vereinbart werden.

Wenn eine beliebige Anode die nachstehend angeführten Anforderungen oder die zwischen Käufer und Hersteller vereinbarten und im ITP (siehe Beispiel für einen ITP in Anhang F) dokumentierten Anforderungen nicht erfüllt, muss eine zusätzliche Anode den zerstörenden Prüfungen unterzogen werden. Wenn diese die festgelegten Anforderungen nicht erfüllt, sollte das gesamte Anodenlos zurückgewiesen oder andere Maßnahmen, wie vor der Herstellung vereinbart, sollten ergriffen werden.

Schlanke und bündig montierte Anoden, die zur Prüfung ausgewählt wurden, müssen mit einzelnen Schnitten in Querrichtung bei 25 %, 33 %, und 50 % der Nennlänge oder an anderen für die jeweilige Anodenausführung vereinbarten Stellen geschnitten werden.

Manschettenanoden, die zur Prüfung ausgewählt wurden, müssen mit einzelnen Schnitten in Querrichtung bei 25 % und 50 % der Nennlänge oder an anderen für die jeweilige Anodenausführung vereinbarten Stellen geschnitten werden.

Die Schnittflächen müssen bei der Sichtprüfung ohne Vergrößerung folgende Kriterien erfüllen:

- Gaseinschlüsse und Porosität müssen auf höchstens 2 % der gesamten Schnittfläche und höchstens 5 % jeder einzelnen Schnittfläche begrenzt sein; in einem einzelnen Querschnitt darf kein Hohlraum größer als 1 cm² sein.
- Nichtmetallische Einschlüsse müssen auf höchstens 1 % der gesamten Schnittfläche und höchstens 2 % jeder einzelnen Schnittfläche begrenzt sein; kein nichtmetallischer Einschluss darf größer sein als 1 cm².
- Der Mangel an Verbindung (am Kern angrenzende Hohlräume) muss auf höchstens 10 % des gesamten Anodenkernumfangs in allen Schnittbereichen und höchstens 20 % des Umfangs bei jedem Einzelschnitt begrenzt sein.

Bei nicht röhrenförmigen Kernen und Halbschalen-Manschettengussteilen dürfen die Grenzwerte zwischen dem Hersteller und dem Auftraggeber abweichend vereinbart werden.

B.8 Berichterstattung

Der Käufer und der Hersteller sollten die Anforderungen an alle vorstehend aufgeführten Inspektionen und Prüfungen sowie die Einzelheiten der erforderlichen Berichterstattung über die Daten und die Vorlage etwaiger fotografischer Aufzeichnungen vereinbaren. Diese können mit anderen qualitätsbezogenen Daten in ein formelles „Datenbuch“ für die Produktion oder die Produktionslose integriert werden.

Anhang C **(informativ)**

Zusammensetzung und Leistungsmerkmale für galvanische Anoden

C.1 Aluminiumlegierungen

C.1.1 Anodenwerkstoff

Aluminiumlegierungen für die Anwendung in Meerwasser und salzhaltigem Sediment enthalten üblicherweise Zink zusammen mit kleinen Mengen von Indium als Aktivator; es ist jedoch eine große Auswahl an Legierungszusammensetzungen erhältlich. Manche Legierungen sind nicht proprietär; manche sind oder waren proprietär und sind oder waren durch nationale und/oder internationale Patente geschützt. Die unterschiedlichen Zusammensetzungen haben das Ziel, die Eigenschaften der Anoden zu verändern, hauptsächlich um spezifische Leistungsmerkmale der Anoden zu optimieren.

Die Zusammensetzungen für einige der gebräuchlichen Aluminiumanodenlegierungen sind in Tabelle C.1.1 angeführt; Aluminium ist dabei die Basis (Restsumme). Dabei handelt es sich nicht unbedingt um Legierungsbereiche, die für eine optimale Leistung optimiert sind.

Tabelle C.1.1 — Chemische Zusammensetzung für Aluminiumanoden, angegeben als Massenanteil in %

Elemente	Legierung A 1	Legierung A 2	Legierung A 3	Legierung A 4	Legierung A 5
Zn	2,0 bis 6,0	3,0 bis 5,5	4,75 bis 5,75	max. 0,15	0,3 bis 0,8
In	0,010 bis 0,030	0,016 bis 0,040	0,016 bis 0,020	max. 0,005	0,018 bis 0,040
Ga	—	—	—	0,092 bis 0,110	0,04 bis 0,10
Fe	max. 0,12	max. 0,09	max. 0,06	max. 0,08	max. 0,08
Si	max. 0,12	max. 0,10	0,08 bis 0,12	max. 0,10	max. 0,10
Cu	max. 0,006	max. 0,005	max. 0,003	max. 0,005	max. 0,003
Cd	max. 0,002	max. 0,002	max. 0,002	—	max. 0,002
Weitere Verunreinigungen (jeweils)	max. 0,02	max. 0,02	max. 0,02	max. 0,02	max. 0,02
Weitere Verunreinigungen (gesamt)	max. 0,1	max. 0,1	max. 0,05	max. 0,05	max. 0,05
Al	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest

ANMERKUNG 1 Legierung A 1 wird allgemein für marine Anwendungen verwendet.

Legierung A 2 wird üblicherweise für Offshore-Anwendungen verwendet.

Legierung A 3 wird üblicherweise für Tiefwasser- und Kaltwasseranwendungen verwendet.

Legierung A 4 ist eine Legierung, die für Anwendungen mit niedriger Steuerspannung verwendet wird.

Legierung A 5 ist eine Legierung, die verwendet wird, wenn geringere Gehalte an Zink bevorzugt werden oder erforderlich sind.

ANMERKUNG 2 Die Aluminium-Zink-Indium-Anodenlegierungen der allgemeinen Zusammensetzungen A 1, A 2 und A 3 haben die längste Erfolgsgeschichte. Es gibt viele einzelne Spezifikationen für die Zusammensetzung dieser allgemei-

nen Legierungen; der Zinkgehalt liegt jedoch üblicherweise zwischen 2,5 % und 5,0 % und der Indiumgehalt bei etwa 0,02 %. Restverunreinigungen, wie z. B. Eisen und Kupfer, sollten auf ein Minimum beschränkt werden, aber aufgrund der Rohstoffe und Herstellungsverfahren ist der Eisengehalt möglicherweise am schwierigsten zu steuern. Für Langzeitanwendungen muss der Eisengehalt niedriger als 0,09 % sein, einige Käufer verlangen jedoch niedrigere Grenzwerte. Die Grenzwerte für alle Elemente in diesen Legierungen sind wichtig und können mit den vorstehend angeführten Bereichen optimiert werden, um die beste Leistung in bestimmten Umgebungen zu erzielen.

ANMERKUNG 3 Legierung A 4 ist eine Legierung, die für Anwendungen mit niedriger Steuerspannung (z. B. für die Verwendung mit hochfesten Stählen) ausgelegt ist und noch nicht weit verbreitet ist. Diese Legierung ist proprietär und unterliegt internationalen Patenten. Für weitere Informationen zu dieser Legierung siehe [32] [33] [34].

ANMERKUNG 4 Die Bereiche von Indium in Tabelle C.1.1 spielen eine wesentliche Rolle für die Leistung und elektrochemische Kapazität von Aluminiumanoden. Indium ist der „Aktivator“ innerhalb der Legierung. Ein niedriger Indiumgehalt führt zu einer passivierungsanfälligen Anode, und höhere Indiumkonzentrationen führen zu starker Selbstkorrosion und einer geringeren elektrochemischen Kapazität.

ANMERKUNG 5 Die Legierung A 5 ist eine proprietäre Legierung, die Gegenstand internationaler Patente [EP Nr. 20204306.3] ist und als Reaktion auf Umweltbelange entwickelt wurde.

ANMERKUNG 6 Legierungen auf der Basis von Aluminium-Zink-Magnesium-Indium wurden ebenfalls für Schiffs-CP-Anwendungen verwendet. Mg-haltige Al-Zn-In-Legierungen können jedoch bei Umgebungstemperaturen unter Nachhärtung und Rissbildung leiden, insbesondere wenn hohe Eigenspannungen in der Anode eine Folge des Gießverfahrens sind. Dies kann durch Anoden mit großen Querschnitten des Stahlkerns im Vergleich zum Querschnitt der Gusslegierung herbeigeführt werden. Al-Zn-In-Mg-Anodenzusammensetzungen werden nicht empfohlen für große Offshore-Anoden, für Anoden mit Kernen mit großen Querschnitten oder wenn die Anode im Betrieb möglicherweise hohen Spannungen ausgesetzt ist, zum Beispiel durch Gezeitenströmungen oder Stürme.

ANMERKUNG 7 Alternative Legierungen basierend auf Aluminium-Zink-Zinn (Al-Zn-Sn) erfordern eine Gussbehandlung, um eine wirksame Aktivierung zu erreichen, und können unter interkristalliner Korrosion sowie langsamer Aktivierung bei niedrigen Temperaturen (d. h. 5 °C) leiden. Al-Zn-Sn-Legierungen werden im Allgemeinen nicht mehr verwendet und wurden nicht in Tabelle C.1.1 aufgenommen.

ANMERKUNG 8 Alternativen Legierungen basierend auf Aluminium-Zink-Quecksilber (Al-Zn-Hg) werden aufgrund von Umweltauflagen nicht mehr verwendet.

ANMERKUNG 9 Alle Verunreinigungen sollten so gering wie möglich gehalten werden, einschließlich störender Verunreinigungen, die in der Routineanalyse nicht geprüft werden, da sonst das Potential und die Kapazität beeinträchtigt werden können. Daher wird empfohlen, eine kurzzeitige elektrochemische Prüfung nach 6.4.3 durchzuführen. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass Anodenlegierungen, die über die in Tabelle C.1.1 genannten Zusammensetzungsbereiche hinausgehen, passivieren (d. h. einen stabilen Schutzfilm auf der Anodenoberfläche bilden), der eine weitere Auflösung der Anode und damit die Bereitstellung von Strom für den kathodischen Korrosionsschutz verhindert. Anodenlegierungen, die nicht innerhalb der allgemeinen Grenzwerte in Tabelle C.1.1 liegen, sollten nicht verwendet werden, es sei denn, sie werden durch freilaufende Langzeitprüfungen (> 1 Jahr, siehe Anhang D) unter Umgebungs- und Stromdichtebedingungen gestützt, die den geplanten Einsatz der Anoden genau nachbilden.

Die indiumaktivierte Aluminiumlegierung für Anoden (A 2 und A 3) hat sich als geeignet für Anwendungen in marinen Sedimenten, d. h. mit Sediment bedeckt, erwiesen.

Aluminiumlegierungen sind nur für Umgebungen mit einem Salzgehalt von mehr als 5 g/kg (Massenanteil 0,5 % oder Salzgehalt 5 ‰) anwendbar, d. h. üblicherweise in Meerwasser/Brackwasser-Umgebungen mit einem spezifischen Widerstand von weniger als 2 Ω m.

In teilweise geschlossenen und überfluteten Räumen, in denen der Meerwasseraustausch unzureichend oder ungewiss ist, besteht bei der Verwendung von Anoden auf Al-Basis das Risiko einer erheblichen Versauerung (verringertes pH-Wert) mit nachteiligen Auswirkungen auf die Anodenleistung und den CP-Wirkungsgrad. In derartigen Situationen wird die Verwendung von Anoden auf Zinkbasis empfohlen, siehe ISO 24656.