

DIN EN 16222

ICS 77.060; 47.020.01

**Kathodischer Korrosionsschutz von Schiffen;
Deutsche Fassung EN 16222:2012**

Cathodic protection of ship hulls;
German version EN 16222:2012

Protection cathodique des coques de bateaux;
Version allemande EN 16222:2012

Gesamtumfang 50 Seiten

Normenstelle Schiffs- und Meerestechnik (NSMT) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 16222:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 219/WG 3 „Cathodic protection of steel structures in seawater“ (Sekretariat: BSI, Vereinigtes Königreich) erarbeitet.

Für die deutsche Mitarbeit ist die Arbeitsausschuss NA 132-04-04 AA „Korrosion“ der Normenstelle Schiffs- und Meerestechnik (NSMT) zuständig.

Deutsche Fassung

Kathodischer Korrosionsschutz von Schiffen

Cathodic protection of ship hulls

Protection cathodique des coques de bateaux

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 25. August 2012 angenommen.

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

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

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



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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
1.1 Allgemeines	6
1.2 Konstruktionen	6
1.3 Werkstoffe	6
1.4 Umgebung	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Kompetenz des Personals	7
5 Entwurfsgrundlage	8
5.1 Allgemeines	8
5.2 Kriterien des kathodischen Korrosionsschutzes	9
5.3 Entwurfsverfahren	9
5.4 Entwurfsparameter	10
5.5 Elektrischer Strombedarf	11
5.6 Kathodische Korrosionsschutzsysteme	13
5.7 Stromdurchgang	14
5.8 Während der Ausrüstungsarbeiten.....	14
6 Fremdstromgespeiste Systeme	14
6.1 Ziele	14
6.2 Zu berücksichtigende Faktoren bei dem Entwurf	15
6.3 Zu berücksichtigende Faktoren bei der Ausrüstung	16
7 Systeme mit galvanischen Anoden	19
7.1 Ziele	19
7.2 Überlegungen zum Entwurf	19
7.3 Anodenwerkstoffe.....	20
7.4 Faktoren, die die Stromabgabe und Nutzungsdauer der Anode bestimmen	20
7.5 Positionierung der Anoden.....	21
8 Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung	21
8.1 Ziele	21
8.2 Messungsverfahren	21
8.3 Inbetriebnahme: Galvanische Systeme.....	22
8.4 Inbetriebnahme: Fremdstromgespeiste Systeme	22
8.5 Betrieb und Wartung	23
8.6 Trockendock-Intervalle	25
9 Schutz des Schiffsrumpfes während der Ausrüstungsphase und wenn das Schiff aufgelegt ist.....	25
9.1 Ausrüstungszeitraum.....	25
9.2 Zeiträume im aufgelegten Zustand	26
10 Dokumentation.....	26
10.1 Ziele	26
10.2 Fremdstromgespeiste Systeme	27
10.3 Systeme mit galvanischen Anoden	28
Anhang A (informativ) Fremdstromgespeistes System für Schiffsrumpfe, basierend auf zwei kathodischen Korrosionsschutzbereichen	29

Anhang B (informativ) Richtlinien zu Entwurfsstromwerten für kathodischen Korrosionsschutz von Schiffsrümpfen	30
B.1 Typische Entwurfsstromdichten für den kathodischen Korrosionsschutz von unbeschichtetem Stahl (J_b)	30
B.2 Beschichtungsreduktion von konventionellen Anstrichen (f_c)	30
B.3 Typische Stromdichten für den globalen Ansatz von kathodischem Korrosionsschutz von beschichteten Schiffen (J_g)	31
Anhang C (informativ) Gleichungen für anodischen Widerstand, Strom und Lebensdauer	32
C.1 Gleichungen für den anodischen Widerstand	32
C.1.1 Allgemeines	32
C.1.2 Für schlanke Anoden, die mindestens 0,3 m abgesetzt von der Stahloberfläche der Konstruktion montiert sind	32
C.1.3 Lange, bündig montierte Anoden auf der Stahloberfläche der Konstruktion, wo die Länge $\geq 4 \times$ Breite beträgt	32
C.1.4 Kurze Flachplattenanoden, bündig montiert auf der Stahloberfläche der Konstruktion	32
C.2 Berechnung des anodischen Widerstands am Lebensende	33
C.3 Elektrolyt-Widerstand	34
C.4 Stromabgabe der Anoden	36
C.5 Lebensdauer der Anoden	36
C.6 Anforderung an die Mindestnettomasse	37
Anhang D (informativ) Elektrische Verbindungssysteme	38
Anhang E (informativ) Überwachung der elektrischen Verbindung eines Schiffspropellers	40
Anhang F (informativ) Fremdstromgespeistes System für Schiffe, basierend auf nur einem achtern angebrachten (Heck-)System	41
Anhang G (informativ) Anbringung von galvanischen Anoden im Heckbereich	42
Anhang H (informativ) Elektrochemische Merkmale von fremdstromgespeisten Anoden	43
Anhang I (informativ) Kofferdamm-Anordnungen	44
Anhang J (informativ) Kathodischer Korrosionsschutz eines festgemachten Schiffs unter Anwendung aufgehängter galvanischer Anoden	46
Literaturhinweise	48

Vorwort

Dieses Dokument (EN 16222:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 219 „Cathodic protection“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2013, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2013 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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

Einleitung

Kathodischer Korrosionsschutz wird üblicherweise zusammen mit Schutzbeschichtungen zum Schutz der äußeren Oberflächen von unter Wasser befindlichen Schiffsrümpfen und Zubehör vor Korrosion durch Meerwasser verwendet.

Kathodischer Korrosionsschutz funktioniert durch Zuführung eines ausreichenden Gleichstroms zu den unter Wasser befindlichen äußeren Oberflächen der Konstruktion, der das Stahl-zu-Elektrolyt-Potenzial auf Werte verschiebt, die für die Korrosion unbedeutend sind.

Die allgemeinen Grundsätze des kathodischen Korrosionsschutzes werden in der Europäischen Norm EN 12473 dargelegt.

1 Anwendungsbereich

1.1 Allgemeines

Die vorliegende Europäische Norm legt die allgemeinen Kriterien und Empfehlungen für kathodischen Korrosionsschutz von unter Wasser befindlichen Schiffsrümpfen und Zubehör fest.

Diese europäische Norm deckt nicht mit dem kathodischem Schutz zusammenhängende Sicherheits- und Umweltschutz-Aspekte ab. Es gelten die relevanten nationale oder internationale Regelungen und die Vorschriften der Klassifikationsgesellschaften.

1.2 Konstruktionen

Diese Europäische Norm gilt für den kathodischen Korrosionsschutz von unter Wasser befindlichen Rümpfen von Schiffen, Booten und anderen Schwimmkörpern mit Selbstantrieb, die üblicherweise zusammen mit ihrem Zubehör wie beispielsweise Ruder, Propeller, Wellen und Stabilisatoren in Meerwasser eingesetzt werden.

Sie gilt auch für den kathodischen Korrosionsschutz von Strahlruder, Seekisten und Wassereinlässen (bis zum ersten Ventil).

Sie gilt nicht für den Schutz von innenliegenden Oberflächen wie beispielsweise Ballasttanks.

Sie gilt nicht für schwimmende Offshore-Anlagen aus Stahl. Diese werden in EN 13173 behandelt.

1.3 Werkstoffe

Diese Europäische Norm gilt für den kathodischen Korrosionsschutz von Schiffsrümpfen vorwiegend aus Manganstählen einschließlich Zubehör aus anderen Eisen- oder Nichteisenlegierungen wie beispielsweise nichtrostender Stahl und Kupferlegierungen usw.

Diese Europäische Norm gilt für sowohl beschichtete wie auch unbeschichtete Rümpfe; die meisten Rümpfe sind beschichtet.

Beim kathodischen Schutzsystem muss gewährleistet sein, dass jede galvanische Verbindung vollständig unter Kontrolle ist.

Diese Europäische Norm gilt nicht für den kathodischen Korrosionsschutz von Rümpfen, die überwiegend aus anderen Werkstoffen bestehen wie beispielsweise Aluminiumlegierungen, nichtrostende Stähle oder Beton.

1.4 Umgebung

Diese Europäische Norm gilt für den Rumpf und Zubehör in Meerwasser und allen Wässern weltweit, in denen das Schiff während seiner Lebensdauer eingesetzt werden könnte.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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).

EN 12473, *Allgemeine Grundsätze des kathodischen Korrosionsschutzes in Meerwasser*

EN 12496, *Galvanische Anoden für den kathodischen Schutz in Seewasser und salzigem Schlick*

EN 13509, *Messverfahren für den kathodischen Korrosionsschutz*

EN 50162, *Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 8044, EN 12473 und die folgenden Begriffe.

3.1

Unterwasserzone

Bereich unterhalb der Wasserlinie bei einem den üblichen Arbeitsbedingungen entsprechenden Tiefgang

3.2

Unterwasserrumpf

Teil des Rumpfes, der für die Stabilität und Schwimmfähigkeit des Schiffs entscheidend ist.

Anmerkung 1 zum Begriff: Teil des Rumpfes unterhalb der Wasserlinie in entladem Zustand.

3.3

Wasserpass

Teil des Rumpfes zwischen entladem und vollbeladenem Zustand, der zeitweilig unter Wasser sein kann

3.4

kathodischer Korrosionsschutzbereich

Teil des Schiffskörpers, der hinsichtlich der kathodischen Korrosionsschutzanordnung einzeln betrachtet werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein einzelner Bereich kann aus diversen Bauteilen mit unterschiedlichen Konstruktionsparametern bestehen.

3.5

Eintauchzone

Bereich einschließlich Unterwasserzone und Wasserpass

3.6

Steuerspannung

Unterschied zwischen dem Konstruktions/Elektrolyt-Potenzial und dem Anoden/Elektrolyt-Potenzial, wenn der kathodische Korrosionsschutz in Betrieb ist

3.7

Arbeitspotenzial

Potenzial, gemessen an einer galvanischen Anode, wenn Strom zwischen der Anode und der zu schützenden Oberfläche fließt

4 Kompetenz des Personals

Personal, das den Entwurf, die Installationsaufsicht, Inbetriebnahme, Betriebsaufsicht, Messungen, Überwachung und Aufsicht von Wartungsarbeiten von kathodischen Schutzsystemen ausführt, muss über ein entsprechendes Maß an Kompetenz für die durchgeführten Aufgaben verfügen. Diese Kompetenz sollte von einem unabhängigen Organ geprüft und dokumentiert werden.

EN 15257 enthält ein geeignetes Verfahren zur Bewertung und Zertifizierung der Kompetenz von für kathodischen Korrosionsschutz geschultem Personal, das eingesetzt werden darf.

Der entsprechende Kompetenzgrad für die durchgeführten Aufgaben von für kathodischen Korrosionsschutz geschultem Personal sollte anhand Zertifizierung nach EN 15257 oder durch eine andere gleichwertige Vorprüfung nachgewiesen werden.

5 Entwurfsgrundlage

5.1 Allgemeines

Das Ziel eines kathodischen Korrosionsschutzsystems ist es, genügend Strom an jedes Teil der Konstruktion und Zubehör zu liefern und diesen Strom so zu verteilen, dass das Konstruktion-an-Elektrolyt-Potenzial von jedem Teil der Konstruktion innerhalb der durch die Schutzkriterien bestimmten Grenzen liegt (siehe 5.2).

Die Potenziale sollten über die gesamten eingetauchten Oberflächen so gleichmäßig wie möglich verteilt sein. Dieses Ziel darf nur durch ausreichende Verteilung des Schutzstroms über die Konstruktion bei üblichen Arbeitsbedingungen erreicht werden. Dies könnte in manchen Bereichen schwierig zu erreichen sein wie beispielsweise bei Wassereinlässen, Strahlruder oder Seekästen, wo bestimmte Voraussetzungen berücksichtigt werden sollten.

Das kathodische Korrosionsschutzsystem für ein Schiff wird üblicherweise mit Beschichtungssystemen kombiniert, obwohl einige Ausrüstungsteile wie beispielsweise Propeller üblicherweise nicht beschichtet sind.

Elektrochemische Anti-Fouling-Systeme werden oft auf der Innenseite von Seekästen verwendet, um den Bewuchs auf Meerwassereinlass-Systemen zu verhindern. Die Möglichkeit einer Wechselwirkung zwischen dem Anti-Fouling-System und dem kathodischen Korrosionsschutzsystem sollte bei dem Entwurf und Einbau des Anti-Fouling-Systems berücksichtigt werden.

Kathodischer Korrosionsschutz innerhalb von Seekästen kann durch wechselseitige Einwirkung von Streustrom die Kühler in Seekästen (typischerweise Rohre aus Kupfer-Nickel-Legierungen) beeinträchtigen, wenn die Kühler von dem Seekasten elektrisch isoliert sind. Die Möglichkeit der wechselseitigen Einwirkung sollte bei dem Entwurf der kathodischen Korrosionsschutzanforderungen an einen Seekasten berücksichtigt werden.

Das kathodische Korrosionsschutzsystem sollte entweder für die Lebensdauer des Schiffes oder basierend auf den Trockendock-Intervallen ausgelegt sein.

Die vorstehend genannten Ziele müssen mit der Ausführung des kathodischen Korrosionsschutzsystems durch Anwendung von galvanischen Anoden, eines fremdstromgespeisten Systems oder eine Kombination derselben erreicht werden.

Der Entwurf, die Installation, das Aktivieren, die Inbetriebnahme, der Langzeitbetrieb und alle Teile der kathodischen Korrosionsschutzsysteme müssen vollständig dokumentiert werden.

EN ISO 9001 stellt eine geeignete Qualitätsmanagementsystem-Norm dar, das verwendet werden darf.

Jeder Arbeitsschritt muss entsprechend eines vollständig dokumentierten Qualitätsplanes durchgeführt werden.

Jede Phase des Entwurfs muss überprüft und die Überprüfung dokumentiert werden.

Jede Phase der Installation, Aktivierung, Inbetriebnahme und Betrieb muss einer Sicht-, mechanischen und/oder elektrischen Prüfung unterzogen und die Prüfungen dokumentiert werden.

Alle Prüfgeräte müssen gültige Kalibrierungszertifikate haben, die auf nationale oder Europäische Normen zurückzuführen sind.

Die Dokumentation muss Teil der dauerhaften Aufzeichnungen für die Arbeiten sein.

5.2 Kriterien des kathodischen Korrosionsschutzes

Die Kriterien für kathodischen Korrosionsschutz sind in EN 12473 detailliert aufgeführt.

Um einen ausreichenden Grad an kathodischem Korrosionsschutz zu erreichen, sollten Stahlkonstruktionen folgende Potenziale aufweisen.

Das akzeptierte Kriterium für den Schutz von Stahl in kohlensaurem Wasser ist ein Schutzpotenzial negativer als $-0,80\text{ V}$, bezogen auf die Ag/AgCl/Meerwasser-Bezugselektrode. Dies entspricht etwa $+0,23\text{ V}$ bei einer Messung, bezogen auf reine Zink-Elektroden (beispielsweise Legierungsart Z 2 nach EN 12496) oder $+0,25\text{ V}$, gemessen mit Bezug auf Zinkelektroden, hergestellt unter Verwendung von galvanischen Anoden-legierungsarten Z 1, Z 3 oder Z 4 nach EN 12496.

Eine Begrenzung des Negativpotenzials auf $-1,10\text{ V}$ hinsichtlich Ag/AgCl/Meerwasser-Bezugselektroden ist allgemein empfohlen, um ein Ablösen der Beschichtung bzw. einen Anstieg in der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ermüdung zu verhindern.

Besteht die Möglichkeit von Wasserstoffversprödung von Stählen oder anderen Metallen, die sich durch den kathodischen Korrosionsschutz nachteilig auswirkt und zu übermäßig negativen Werten führen könnte, muss eine zusätzliche weniger negative Potenzialgrenze hinzugefügt werden. Ist für einen bestimmten Werkstoff unzureichende Dokumentation verfügbar, muss die entsprechende Negativpotenzialgrenze im Verhältnis zu den metallurgischen und mechanischen Bedingungen durch mechanische Prüfung an der Grenze des polarisierten Potenzials ermittelt werden. Für konventionelle Stähle ist diese Grenze $-1,10\text{ V}$ (Ag/AgCl/Meerwasser-Bezugselektrode). Siehe EN 12473 für weitere Einzelheiten.

Die vorstehend aufgeführten Potenzialkriterien und Grenzwerte sind „polarisiert“ und ohne ohmsche Spannungsabfälle (IR-Fehler) angegeben. Ohmsche Spannungsabfälle (IR-Fehler) aufgrund von kathodischem Korrosionsschutzstrom, der durch widerstandsbehaftete Elektrolyt- und Oberflächenschichten auf der geschützten Oberfläche fließt, gelten bei meeresbezogenen Anwendungen allgemein als vernachlässigbar. Potenzialmessungen unter Anwendung von „Instant OFF“-Techniken oder „Coupon Instant OFF“-Techniken könnten bei den in dieser Europäischen Norm beschriebenen Anwendungen erforderlich sein, um die Einhaltung der oben genannten Schutzkriterien (siehe EN 13509) ausreichend zu belegen. Dabei sollte in Brackwasser und in der Nähe von fremdstromgespeisten Anoden besonders aufmerksam darauf geachtet werden.

5.3 Entwurfsverfahren

Der Entwurf eines kathodischen Korrosionsschutzsystems muss entsprechend folgenden Schritten durchgeführt werden:

- a) die Konstruktion wird in verschiedene kathodische Korrosionsschutzbereiche unterteilt, die einzeln mit Bezug auf den Entwurf des kathodischen Korrosionsschutzes (siehe 5.4.2) in Betracht gezogen werden müssen;
- b) jedes Bauteil innerhalb eines kathodischen Korrosionsschutzbereichs ist vollständig zu beschreiben (siehe 5.4.3);
- c) die Einsatzbedingungen müssen bekannt sein (siehe 5.4.4);
- d) der Strombedarf ist für jeden kathodischen Korrosionsschutzbereich anhand (siehe 5.5)
 - 1) der Bauteilflächen;
 - 2) der Stromdichten bezüglich des Zustands der Bauteile und der Einsatzbedingungen zu bestimmen.

Zwei unterschiedliche Ansätze dürfen bei der Wahl der Stromdichten in Erwägung gezogen werden:

- 3) mit Hinblick auf die Stromdichten von unbeschichtetem Metall (siehe 5.5.2), indem ein relativer Beschichtungsreduktionsfaktor (siehe 5.5.3) unter Berücksichtigung von physikalischer chemischer Alterung und mechanischen Beschädigungen im Laufe der Zeit eingeführt wird;
- 4) ein auf Erfahrungen basierender, globaler Ansatz (siehe 5.5.3).

Wird der erste Ansatz gewählt, werden zwei Arten von Strombedarf ermittelt (siehe 5.5.4):

- 5) der maximale Strombedarf ($I_{\max}$);
- 6) der mittlere Strombedarf (I_{mean}).
- e) das kathodische Korrosionsschutzsystem wird für jeden kathodischen Korrosionsschutzbereich ermittelt (siehe 5.6);
- f) ein Stromdurchgang zwischen allen Bauteilen eines kathodischen Korrosionsschutzbereichs (siehe 5.7) ist vorgesehen;
- g) das entsprechende einem bestimmten kathodischen Korrosionsschutzbereich fest zugeordnete kathodische Korrosionsschutzsystem wird entworfen (siehe Abschnitt 6 und 7).

ANMERKUNG Der Entwurf von fremdstromgespeisten Systemen basiert auf maximalem Strombedarf. Der Entwurf von Systemen mit galvanischen Anoden basiert auf maximalem Strombedarf und mittlerem Strombedarf.

5.4 Entwurfsparameter

5.4.1 Allgemeines

Der Entwurf eines kathodischen Korrosionsschutzsystems berücksichtigt folgende Parameter: die Konstruktionsunterteilung, Bauteilmerkmale und Einsatzbedingungen.

5.4.2 Konstruktionsunterteilung

Die eingetauchten Oberflächen eines Schiffs können in verschiedene kathodische Korrosionsschutzbereiche unterteilt werden, die dann mit Bezug auf den Entwurf des kathodischen Korrosionsschutzes einzeln betrachtet werden, obwohl sie möglicherweise nicht elektrisch getrennt sein brauchen.

Beispielsweise kann der Unterwasserrumpf in zwei Hauptbereiche des kathodischen Korrosionsschutzes geteilt werden: der vordere (oder Bug-)Bereich und achtern befindliche (oder Heck-)Bereich, wie in der Zeichnung in Anhang A dargestellt. Diese Unterteilung beruht auf den höheren Strombedarf des achtern befindlichen Bereichs aufgrund von hohen Wasserflussraten, Turbulenz und das Vorhandensein von ungleichen Metallen wegen des Propellers/der Propeller. Der achtern befindliche kathodische Korrosionsschutzbereich schließt folgendes Zubehör ein: der achtern befindliche Teil des Rumpfes, Propeller, Welle(n), Ruder, usw.

Bestimmte Bauteile weisen teilweise in sich selbst einen kathodischen Korrosionsschutzbereich auf (beispielsweise Öffnungen von Seekästen, Strahlruder, Ruder usw.).

5.4.3 Bauteilmerkmale

Jedes Bauteil eines kathodischen Korrosionsschutzbereichs, wie vorstehend aufgeführt, muss vollständig und detailliert in dem Entwurf eingetragen sein einschließlich: Werkstoff, spezifische Potenzialgrenze (wo zutreffend), Fläche und Beschichtungsmerkmale (Art, Lebensdauer und Reduktionsfaktor der Beschichtung).

5.4.4 Einsatzbedingungen

Der Entwurf von kathodischen Korrosionsschutzsystemen muss sich auf die Einsatzbedingungen wie beispielsweise Lebensdauer, Umgebungs- und Betriebsbedingungen beziehen.

a) Lebensdauer

Hierbei sind entweder die gesamte Lebensdauer oder die Trockendockaufenthalt-Intervalle zu berücksichtigen.

b) Umgebung

Die Eigenschaften von Meerwasser sollten bekannt sein. Siehe EN 12473 Allgemeine Grundsätze des kathodischen Korrosionsschutzes in Meerwasser. Besondere Aufmerksamkeit ist bei Wasserfahrzeugen geboten, die dafür vorgesehen sind, unter Eisbedingungen oder Brack-/Frischwasser-Bedingungen zu fahren.

c) Betriebsbedingungen

Die Durchschnitts- und Höchstgeschwindigkeiten sollten zusammen mit den Prozentsätzen der Lebensdauer unter statischen (am Liegeplatz) und dynamischen (fahrend) Bedingungen berücksichtigt werden.

5.5 Elektrischer Strombedarf

5.5.1 Allgemeines

Um die Schutzkriterien für die in 5.2 aufgezählten Bedingungen zu erreichen, ist es notwendig, die passende Entwurfsstromdichte für jedes Bauteil je nach Umgebungs- und Einsatzbedingungen zu wählen.

Der Strombedarf von jedem metallischen Bauteil in der Konstruktion ist das Ergebnis von dem Produkt aus der Fläche der Oberfläche multipliziert mit der Schutzstromdichte für unbeschichteten Stahl und mit dem Beschichtungsreduktionsfaktor.

Siehe Anhänge B und C für Berechnungsrichtlinien für Entwurfsstromdichten und anodischen Widerstand.

5.5.2 Entwurfsstromdichte für unbeschichteten Stahl

Die Wahl der Entwurfsstromdichte darf entweder auf Erfahrung mit ähnlichen Schiffen unter ähnlichen Einsatzbedingungen oder auf entsprechende Prüfungen und Messungen basieren.

Die Schutzstromdichte von unbeschichteten Stählen und anderen unbeschichteten Metallen hängt von der Kinetik von elektrochemischen Reaktionen ab. Dies variiert mit Parametern wie beispielsweise Werkstoff, Potenzial, Oberflächenzustand, Gehalt an im Meerwasser aufgelöstem Sauerstoff, Flussrate oder Geschwindigkeit und Temperatur.

Die Schutzstromdichte muss für alle in 5.4.4 c) aufgeführten Umgebungs- und Einsatzbedingungen berechnet werden.

Typische Werte für Entwurfsstromdichten, die für unbeschichteten Stahl verwendet werden, sind in Anhang B angegeben.

5.5.3 Entwurfsstromdichte für beschichteten Stahl

Das kathodische Korrosionsschutzsystem wird üblicherweise mit geeigneten Beschichtungssystemen kombiniert. Die Beschichtung senkt die Schutzstromdichte und verteilt den Strom besser über die Oberfläche.

Die Abschwächung der Schutzstromdichte von unbeschichtetem Stahl zu beschichtetem Stahl kann in einem Verhältnis 100 zu 1 oder noch höher liegen. Die Schutzstromdichte von beschichtetem Stahl wird sich jedoch im Laufe der Zeit erhöhen, wenn sich der Zustand der Beschichtung verschlechtert.

Ein anfänglicher Beschichtungsreduktionsfaktor, der sich hauptsächlich auf mechanische Beschädigung bezieht, die während der Herstellung des Schiffs entsteht, sollte berücksichtigt werden. Eine Verschlechterungsrate für die Beschichtung (d. h. eine Zunahme des Beschichtungsreduktionsfaktors im Laufe der Zeit) sollte gewählt werden, um die Alterung der Beschichtung und mechanische Schäden zu berücksichtigen, die an der Beschichtung während der Entwurfslebensdauer des kathodischen Korrosionsschutzsystems des Schiffs oder einer Zeitspanne entsprechend der Trockendock-Intervalle entstehen können.

Die Werte hängen enorm von der tatsächlichen Konstruktion und den Betriebsbedingungen ab.

Richtlinien für die Werte der Beschichtungsreduktionsfaktoren sind in Anhang B angegeben.

Die für den Schutz von beschichtetem Stahl erforderliche Entwurfsstromdichte ist gleich dem Produkt aus der Stromdichte für unbeschichtetes Stahl (siehe 5.5.2) und dem Beschichtungsreduktionsfaktor:

$$J_c = J_b \times f_c$$

Dabei ist

- J_c die Schutzstromdichte für beschichtetes Metall, in A/m²;
- J_b die Schutzstromdichte für unbeschichtetes Metall, in A/m²;
- f_c der Beschichtungsreduktionsfaktor, der sich aufgrund von Alterung und mechanischer Beschädigung mit der Zeit verändert:
 - $f_c = 0$ für eine perfekt isolierende Beschichtung
 - $f_c = 1$ für eine Beschichtung ohne Isolierungseigenschaften (gleich unbeschichtetes Metall).

Diese Gleichung sollte für jedes einzelne Bauteil oder jeden wie in 5.3 definierten kathodischen Korrosionsschutzbereich angewendet werden, wo die Beschichtung oder Stromdichte für unbeschichtetes Metall unterschiedlich sein könnte.

Ein globaler Ansatz zur Schätzung der Schutzstromdichte für beschichtete Oberflächen darf in Erwägung gezogen werden, wenn aus zahlreichen vorherigen Erfahrungen die Werte für die Entwurfsparameter bekannt sind. Wird ein globaler Ansatz herangezogen, wird ein Durchschnittswert von dieser Schutzstromdichte (J_g) berücksichtigt. Richtlinien für Werte von Stromdichten für einen globalen Ansatz sind in Anhang B angegeben. Wird ein „globaler Ansatz“ für den Entwurf gewählt, muss dies hinsichtlich der Schiffsklasse und des Einsatzes, für die die globalen Langzeit-Leistungsmerkmale gesammelt wurden und auf deren Basis die zufriedenstellende Leistung des kathodischen Korrosionsschutzes ausgewertet wurde, detailliert dokumentiert werden.

5.5.4 Strombedarf

Wird nicht ein globaler Ansatz gewählt, sind bei dem Entwurf zwei unterschiedliche Werte zu berücksichtigen:

- $I_{\max}$: maximaler Strombedarf
- I_{mean} : mittlerer Strombedarf

I_{mean} wird verwendet, um die Mindestmasse von galvanischem Anodenwerkstoff oder die Lebensdauer von fremdstromgespeisten Anoden zu berechnen, die für die Erhaltung des kathodischen Korrosionsschutzes während der gesamten vorgesehenen Entwurfszeitspanne erforderlich ist.

$I_{\max}$ entspricht den extremsten Betriebsbedingungen (beispielsweise dynamische Bedingungen, Beschichtungsreduktionsfaktor am Lebensende und ungünstigste Umgebungsbedingungen) und wird verwendet, um die maximale Stromkapazität des kathodischen Korrosionsschutzsystems zu entwerfen.

Somit können diese zwei Schutzstrombedarfe für jedes Bauteil nach folgenden Gleichungen ermittelt werden:

$$I_{e \max} = S_e \times f_{c \max} \times J_{bd}$$

$$I_{e \text{ mean}} = S_e \times f_{c \text{ mean}} \times [t J_{bd} + (1-t) J_{bs}]$$

Dabei ist

- $I_{e \max}$ der maximale Schutzstrombedarf für ein Bauteil (A);
- $I_{e \text{ mean}}$ der mittlere Schutzstrombedarf für ein Bauteil (A);
- S_e die Fläche der Eintauchzone Bauteil im vollbeladenen Zustand einschließlich Unterwasserrumpf und Wasserpass (m²);

$f_{c \max}$	der maximale Beschichtungsreduktionsfaktor für die jeweilige Zeitspanne;
$f_{c \text{ mean}}$	der mittlere Beschichtungsreduktionsfaktor für die jeweilige Zeitspanne;
J_{bd}	die Stromdichte für unbeschichtetes Metall unter dynamischen Bedingungen (A/m^2);
J_{bs}	die Stromdichte für unbeschichtetes Metall unter statischen Bedingungen (A/m^2);
t	der Zeitanteil, der mit dynamischen Bedingungen verbunden ist.

Demzufolge ergeben sich für jeden kathodischen Korrosionsschutzbereich beide Werte des Schutzstrombedarfs aus der Summe der jeweiligen Elemente, d. h.

$$I_{\max} = \Sigma I_{e \max}$$

$$I_{\text{mean}} = \Sigma I_{e \text{ mean}}$$

Wird ein globaler Ansatz gewählt, wird für jeden kathodischen Korrosionsschutzbereich ein eigener Strombedarf berücksichtigt.

$$I = J_g \Sigma (S_e)$$

5.6 Kathodische Korrosionsschutzsysteme

Zwei Arten von kathodischen Korrosionsschutzsystemen werden verwendet:

- fremdstromgespeist;
- mit galvanischen Anoden.

Eine Kombination beider Systeme darf verwendet werden (hybrid).

Die Wahl des bestgeeigneten Systems hängt von mehreren Faktoren ab (siehe EN 12473).

Für kathodische Korrosionsschutzsysteme die galvanische Anoden nutzen, werden die optimalen Anodenmaße durch Anwendung des ohmschen Gesetzes ermittelt:

$$I = \Delta U / R$$

Dabei ist

I	die Stromabgabe, in Ampere;
ΔU	die Steuerspannung, in Volt;
R	der Kreiswiderstand, in Ohm.

Für den Kreiswiderstand wird angenommen, dass er in etwa gleich dem Elektrolytwiderstand, der auch „anodischer Widerstand“ genannt wird ist, da der kathodische (Konstruktions-) Widerstand gegenüber dem Elektrolyt allgemein sehr klein ist.

Der anodische Widerstand ist eine Funktion der Widerstandsfähigkeit des Elektrolyts (Anodenumgebung) und von der Geometrie (Form und Maße) der Anode. Empirische Gleichungen, wie die in C.1 angegeben, dürfen verwendet werden, um den anodischen Widerstand zu berechnen.

Für eine Fremdstromanlage muss die Ausgangsgleichspannung der Stromquelle höher sein als die Summe der Spannungsfälle in allen Bestandteilen des Stromkreises: Kabel, Elektrolyt (allgemein betrachtet als der Anode-Widerstand) und die Anode/Kathode gegen-EMK (d. h. der Potenzialunterschied zwischen Anode und Kathode im stromlosen Elektrolyt).

Die Spannung zwischen Anode und Elektrolyt sollte, abhängig vom Material der Anode, einen maximalen geeigneten Wert nicht überschreiten.