

DIN EN ISO 12696



ICS 77.060; 77.140.15

Ersatz für
DIN EN ISO 12696:2017-05**Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton (ISO 12696:2022);
Deutsche Fassung EN ISO 12696:2022**Cathodic protection of steel in concrete (ISO 12696:2022);
German version EN ISO 12696:2022Protection cathodique de l'acier dans le béton (ISO 12696:2022);
Version allemande EN ISO 12696:2022

Gesamtumfang 79 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)
DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)
DIN-Normenstelle Schiffs- und Meerestechnik (NSMT)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12696:2022) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 156 „Corrosion of metals and alloys“ (Sekretariat: SAC, Volksrepublik China) in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 219 „Kathodischer Korrosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

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

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

IEC 60529	siehe	DIN EN 60529
IEC 61140	siehe	DIN EN 61140
IEC 61558-1	siehe	DIN EN 61558-1
IEC 61558-2-1	siehe	DIN EN 61558-2-1
IEC 61558-2-2	siehe	DIN EN 61558-2-2
IEC 61558-2-4	siehe	DIN EN 61558-2-4
IEC 61558-2-13	siehe	DIN EN 61558-2-13
IEC 61558-2-16	siehe	DIN EN 61558-2-16
IEC 62262	siehe	DIN EN 62262
ISO 8044	siehe	DIN EN ISO 8044
ISO 9000	siehe	DIN EN ISO 9000
ISO 13174	siehe	DIN EN ISO 13174
ISO 15257	siehe	DIN EN ISO 15257
ISO 15589-2	siehe	DIN EN ISO 15589-2

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 ISO 12696:2017-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Anwendungsbereich wurde überarbeitet, um klarzustellen, dass es zur Einhaltung dieses Dokuments erforderlich ist, dass das kathodische Korrosionsschutzsystem über ausreichende Überwachungsvorkehrungen verfügt, um nachzuweisen, dass das System die in 8.6 festgelegten Schutzkriterien erfüllt;
- b) 8.6 wurde überarbeitet;
- c) Anhang A wurde überarbeitet und die Bilder wurden aktualisiert;
- d) A.7 wurde in den neuen Anhang D verschoben und ein neuer Abschnitt A.7 „Vorteile des kathodischen Schutzstromes bei nicht vollständiger Einhaltung der Kriterien nach 8.6“ wurde hinzugefügt;
- e) Anhang B wurde vollständig überarbeitet;
- f) C.5 „Hybridanoden“ wurde hinzugefügt;
- g) ein neuer Anhang D „Anmerkungen zu den Bezugselektroden“ wurde hinzugefügt;

- h) die Verweisungen wurden im gesamten Dokument überarbeitet;
- i) das Dokument wurde redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN 12696: 2000-06

DIN EN ISO 12696: 2012-05, 2017-05

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60529, *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)*

DIN EN 61140, *Schutz gegen elektrischen Schlag — Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel*

DIN EN 61558-1, *Sicherheit von Transformatoren, Netzgeräten, Drosseln und entsprechenden Kombinationen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen*

DIN EN 61558-2-1, *Sicherheit von Transformatoren, Netzgeräten, Drosseln und dergleichen — Teil 2-1: Besondere Anforderungen und Prüfungen an Netztransformatoren und Netzgeräten, die Netztransformatoren enthalten, für allgemeine Anwendungen*

DIN EN 61558-2-2, *Sicherheit von Transformatoren, Netzgeräten, Drosseln und dergleichen — Teil 2-2: Besondere Anforderungen und Prüfungen an Steuertransformatoren und Netzgeräten, die Steuertransformatoren enthalten*

DIN EN 61558-2-4, *Sicherheit von Transformatoren, Drosseln, Netzgeräten und dergleichen für Versorgungsspannungen bis 1 100 V — Teil 2-4: Besondere Anforderungen und Prüfungen an Trenntransformatoren und Netzgeräte, die Trenntransformatoren enthalten*

DIN EN 61558-2-13, *Sicherheit von Transformatoren, Drosseln, Netzgeräten und dergleichen für Versorgungsspannungen bis 1 100 V — Teil 2-13: Besondere Anforderungen und Prüfungen an Spartransformatoren und Netzgeräte, die Spartransformatoren enthalten*

DIN EN 61558-2-16, *Sicherheit von Transformatoren, Drosseln, Netzgeräten und dergleichen für Versorgungsspannungen bis 1 100 V — Teil 2-16: Besondere Anforderungen und Prüfungen an Schaltnetzteilen (SMPS) und Transformatoren für Schaltnetzteile*

DIN EN 62262, *Schutzarten durch Gehäuse für elektrische Betriebsmittel (Ausrüstung) gegen äußere mechanische Beanspruchungen (IK-Code) (IEC 62262:2002 + AMD1:2021)*

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

DIN EN ISO 9000, *Qualitätsmanagementsysteme — Grundlagen und Begriffe*

DIN EN ISO 13174, *Kathodischer Korrosionsschutz für Hafenbauten*

DIN EN ISO 15257, *Kathodischer Korrosionsschutz — Qualifikationsgrade von mit kathodischem Korrosionsschutz befassten Personen — Grundlage für ein Zertifizierungsverfahren*

DIN EN ISO 15589-2, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Kathodischer Schutz für Transportleitungssysteme — Teil 2: Offshore-Pipelines*

Deutsche Fassung

Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton (ISO 12696:2022)

Cathodic protection of steel in concrete
(ISO 12696:2022)

Protection cathodique de l'acier dans le béton
(ISO 12696:2022)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 5. Mai 2022 angenommen.

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

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

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



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

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Vorwort	6
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Allgemeines	11
4.1 Qualitätsmanagement	11
4.2 Personen	11
4.3 Konstruktion	12
5 Beurteilung des Bauwerks und Instandsetzung	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Aufzeichnungen	13
5.3 Sichtprüfung und Begutachtung von Abplatzungen	13
5.4 Chloridanalyse	13
5.5 Bestimmung der Karbonatisierungstiefe	13
5.6 Betonüberdeckung und Lage der Bewehrung	13
5.7 Elektrischer Stromdurchgang der Bewehrung	13
5.8 Stahl/Beton-Potential	14
5.9 Spezifischer elektrischer Widerstand des Betons	14
5.10 Instandsetzung	15
5.10.1 Allgemeines	15
5.10.2 Entfernen des Betons	15
5.10.3 Vorbereitung der Bewehrung	15
5.10.4 Wiederherstellung der Betonoberfläche	16
5.11 Zementartige Überdeckung	16
5.12 Neue Bauwerke	17
6 Komponenten des kathodischen Korrosionsschutzsystems	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 Anodensysteme	18
6.2.1 Allgemeines	18
6.2.2 Anodensysteme mit leitfähiger Beschichtung	19
6.2.3 Aktivierte Titananodensysteme	20
6.2.4 Anoden aus Titandioxid-Keramik	21
6.2.5 Leitfähige zementartige Anoden	22
6.2.6 Eingebettete galvanische Anoden	22
6.2.7 Auf der Oberfläche montierte galvanische Anoden	22
6.2.8 Erdverlegte und unter Wasser befindliche Anoden	23
6.3 Überwachungssensoren	25
6.3.1 Allgemeines	25
6.3.2 Ortsveränderliche Bezugselektroden	26
6.3.3 Andere Sensoren	26
6.4 Kontrollmessgeräte	27
6.4.1 Allgemeines	27

6.4.2	Digitale Messgeräte	27
6.4.3	Datenerfassungsgeräte	27
6.5	Datenverwaltungssystem.....	28
6.6	Gleichspannungskabel/-leitungen.....	29
6.7	Anschlusskästen	30
6.8	Stromversorgungen.....	30
6.9	Transformator-Gleichrichter	31
7	Installationsverfahren.....	33
7.1	Elektrischer Stromdurchgang.....	33
7.2	System zur Leistungsüberwachung	33
7.3	Anschlüsse zum Stahl im Beton.....	34
7.4	Instandsetzungsarbeiten am Beton im Zusammenhang mit Komponenten des kathodischen Schutzsystems	34
7.5	Oberflächenvorbereitung zur Anodeninstallation	35
7.6	Anodeneinbau.....	35
7.7	Anschlüsse zum Anodensystem	35
7.8	Anwendung von Anodenüberdeckung, oberflächenabdichtende oder dekorative Beschichtung.....	36
7.9	Elektroinstallation	36
7.10	Prüfungen während der Installation.....	37
8	Inbetriebnahme	38
8.1	Sichtprüfung.....	38
8.2	Messungen vor der Stromeinspeisung	38
8.3	Anfängliche Stromeinspeisung von Fremdstromsystemen	39
8.4	Anfängliche Einregelung von Fremdstromsystemen	39
8.5	Anfängliche Leistungsbeurteilung	40
8.6	Schutzkriterien: Auswertung der Daten der Leistungsbeurteilung	41
9	Systemaufzeichnungen und Dokumentation	43
9.1	Aufzeichnungen zu Qualität und Prüfungen.....	43
9.2	Bericht über Einbau und Inbetriebnahme	43
9.3	Bedienungs- und Wartungshandbuch	43
10	Betrieb und Wartung	44
10.1	Intervalle und Verfahren.....	44
10.2	Systemprüfung	45
10.3	Systemprüfbericht	45
Anhang A (informativ) Grundsätze des kathodischen Korrosionsschutzes und dessen Anwendung auf Stahl in Beton.....		46
A.1	Allgemeines	46
A.2	Schutzkriterien	47
A.3	Erforderliche Stromdichte für „kathodische Vorbeugung“ und „kathodischen Schutz“	51
A.4	Kathodischer Schutz für Stahl in erdverlegten oder unter Wasser befindlichen Betonbauwerken	52
A.5	Spannstahl und das Risiko der Wasserstoffversprödung	52
A.6	Alkali-Kieselsäure-Reaktion	53
A.7	Vorteile des kathodischen Schutzstromes bei nicht vollständiger Einhaltung der Kriterien nach 8.6.....	53
Anhang B (informativ) Entwurfsprozess.....		55
B.1	Allgemeines	55
B.2	Konzeptioneller Prozess der konstruktiven Gestaltung des Korrosionsschutzes.....	55
B.3	Detaillierter Prozess der konstruktiven Gestaltung des Korrosionsschutzes	57
B.4	Entwurfsdokumentation	58
B.5	Spezielle Leitlinien bezüglich der Kathoden-, Anoden- und Überwachungszonen	60

B.6	Stromversorgung.....	61
B.7	Spezifische entwurfstechnische Probleme bei erdverlegten und unter Wasser befindlichen Betonbauwerken	62
B.8	Bewehrungsanschlüsse	62
B.9	Verkabelung	62
B.10	Transformator-Gleichrichter/Gleichspannungsversorgung für Fremdstromsysteme.....	63
B.11	Überwachung	63
Anhang C (informativ) Anmerkungen zu Anodensystemen		64
C.1	Leitfähige Beschichtungen für der Luft ausgesetzten Beton	64
C.1.1	Beschichtungen auf Kohlenstoffbasis	64
C.1.2	Metallische Beschichtungen	64
C.2	Aktiviertes Titan	65
C.3	Weitere Anodensysteme für der Luft ausgesetzten Beton	66
C.3.1	Leitfähige zementartige Materialien	66
C.3.2	Leitfähige Keramik.....	66
C.4	Galvanische Anoden	66
C.4.1	Anode für das Einbetten in Instandsetzungsbereichen.....	66
C.4.2	Thermisch gespritzte Metalle	66
C.4.3	Zink-Haftfolie	66
C.4.4	Zinknetz in der Ummantelung.....	67
C.4.5	Separate Anoden.....	67
C.5	Hybridanoden	67
C.6	Anoden für unter Wasser befindliche Betonbauwerke.....	67
C.6.1	Galvanische Anoden	67
C.6.2	Fremdstromanoden.....	68
C.7	Anoden für erdverlegte Betonbauwerke.....	68
C.7.1	Galvanische Anoden	68
C.7.2	Fremdstromanoden.....	69
Anhang D (informativ) Anmerkungen zu den Bezugselektroden		70
D.1	Allgemeines	70
D.2	Umrechnungstabelle	70
Literaturhinweise.....		74

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12696:2022) 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.

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

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

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 12696:2016.

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

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 12696:2022 wurde von CEN als EN ISO 12696:2022 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

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

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

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 12696:2016), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- der Anwendungsbereich wurde überarbeitet, um klarzustellen, dass es zur Einhaltung dieses Dokuments erforderlich ist, dass das kathodische Korrosionsschutzsystem über ausreichende Überwachungsvorkehrungen verfügt, um nachzuweisen, dass das System die in 8.6 festgelegten Schutzkriterien erfüllt;
- Unterabschnitt 8.6 wurde überarbeitet;
- Anhang A wurde überarbeitet und die Bilder wurden aktualisiert;
- Abschnitt A.7 wurde in den neuen Anhang D verschoben und ein neuer Abschnitt A.7 „Vorteile des kathodischen Schutzstromes bei nicht vollständiger Einhaltung der Kriterien nach 8.6“ wurde hinzugefügt;
- Anhang B wurde vollständig überarbeitet;
- ein neuer Abschnitt C.5 „Hybridanoden“, wurde hinzugefügt;

- ein neuer Anhang D „Anmerkungen zu den Bezugselektroden“, wurde hinzugefügt;
- im gesamten Dokument wurden die Verweisungen überarbeitet.

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

Dieses Dokument gilt für den kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in Beton, mit Beton, welcher der Luft ausgesetzt, erdverlegt sowie unter Wasser ist.

Da als Schutzkriterien für erdverlegten oder unter Wasser verbauten Stahlbeton diejenigen anwendbar sind, welche auch bei kathodischem Korrosionsschutz von Stahl in der Luft ausgesetztem Beton angewendet werden können, umfasst diese Überarbeitung der ISO 12696:2016 auch den kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in erdverlegtem und unter Wasser verbautem Beton. Die Bereitstellung des kathodischen Schutzstromes für Stahl in erdverlegten oder unter Wasser befindlichem Beton kann oftmals weitaus ökonomischer über erdverlegte oder unter Wasser verbaute Anodensysteme, die ausführlich in Internationalen Normen für den Schutz von erdverlegten und unter Wasser befindlichen Stahltragwerken beschrieben sind, erfolgen als mit Anodensystemen, die für Anwendungen auf Stahl in der Luft ausgesetztem Beton geeignet sind. Deshalb wird in diesem Zusammenhang auf andere Internationale Normen verwiesen, während die Leistungskriterien für den kathodischen Korrosionsschutz für Stahl in Beton in diesem Dokument für alle Anwendungsmöglichkeiten festgelegt sind.

Es gibt weitere elektrochemische Behandlungsverfahren, die für die Bekämpfung der Korrosion von Stahl in Beton vorgesehen sind. Diese Techniken umfassen erneute Alkalisierung und Chloridextraktion und sind nicht in diesem Dokument enthalten. In Bezug auf Informationen zu elektrochemischen Behandlungen siehe EN 14038-1:2016 [10] und EN 14038-2:2020 [11].

Der kathodische Korrosionsschutz von Stahl in Beton ist eine Verfahrensweise, die sich bei zweckentsprechenden Anwendungen als kosteneffektiver Langzeit-Korrosionsschutz für Stahl in Beton erwiesen hat. Es handelt sich dabei um eine Verfahrensweise, die besondere Berechnungsgrundlagen und die Festlegung von Einbauverfahren erfordert, um erfolgreich umgesetzt zu werden. Dieses Dokument ist keine Ausführungsnorm (Designcode) für den kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in Beton, sondern eine Leistungsnorm, für die erwartet wird, dass von Personen mit entsprechender Fachkunde und Erfahrung ein detaillierter Entwurf sowie Spezifikationen für Werkstoffe, Einbau, Inbetriebnahme und Anlagenbetrieb erarbeitet werden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Leistungsanforderungen an den kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in Beton auf Zementbasis sowohl in neuen als auch bestehenden Bauwerken fest. Es umfasst Gebäude und Ingenieurbauwerke, einschließlich in Beton eingebetteter nicht vorgespannter und vorgespannter Bewehrung aus Kohlenstoffstahl. Es ist anwendbar auf unbeschichteten und auf organisch beschichteten Bewehrungsstahl. Es ist nicht anzuwenden für bewehrten Beton, der elektrisch leitfähige Fasern (z. B. Kohlenstoff oder Stahl) enthält.

Dieses Dokument gilt für Stahl, der in Bauteile von Gebäuden oder Bauwerken eingebettet ist, die der Luft ausgesetzt, erdverlegt oder unter Wasser befindlich oder durch Gezeiten beeinflusst sind.

Dieses Dokument ist nur anzuwenden für die Anwendungen des kathodischen Korrosionsschutzes von Stahl in Beton, die mit dem Ziel der Einhaltung der in 8.6 festgelegten Korrosionsschutzkriterien entwickelt wurden und bei denen die Einhaltung dieser Kriterien nachgewiesen werden kann. Hierfür ist die Bereitstellung von ausreichenden Leistungsüberwachungssystemen, wie in 6.3 festgelegt, an allen Teilen des zu schützenden Bauwerks erforderlich, um den Grad, bis zu dem die in 8.6 festgelegten Kriterien erfüllt werden, beurteilen zu können.

Dieses Dokument ist nicht anzuwenden für galvanische Anoden oder Systeme, die zur Minderung des „Anodeneinleitungseffekts“ in Ausbesserungen eingebracht werden. Dieses Dokument ist auch nicht anzuwenden für alle Formen von kathodischen Korrosionsschutzsystemen oder sonstigen elektrochemischen Behandlungen, die entweder die Anforderungen nach 8.6 nicht erfüllen können oder nicht mit den Leistungsüberwachungssystemen ausgestattet sind (siehe 6.3), die zur Beurteilung, ob die in 8.6 festgelegten Schutzkriterien erfüllt werden, notwendig sind.

ANMERKUNG 1 Anhang A enthält Leitlinien zu den Grundsätzen des kathodischen Korrosionsschutzes und dessen Anwendung auf Stahl in Beton.

ANMERKUNG 2 Dieses Dokument, das zwar nicht speziell für den kathodischen Schutz von Stahl in irgendeinem Elektrolyten, ausgenommen Beton, vorgesehen ist, kann für den kathodischen Schutz von Stahl in anderen zementartigen Werkstoffen, wie sie z. B. bei in Stahlrahmen eingesetztem Mauerwerk, Bausteinen und mit Terrakotta verkleideten Bauwerken aus dem frühen 20. Jahrhundert zu finden sind, angewendet werden. Bei derartigen Anwendungen sind zusätzliche Überlegungen für diese Bauwerke hinsichtlich Ausführung, Werkstoffen und Einbau des kathodischen Schutzes erforderlich; die Anforderungen des vorliegenden Dokumentes können jedoch auf diese Systeme angewendet werden.

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 8044, *Corrosion of metals and alloys — Vocabulary*

ISO 15257, *Cathodic protection — Competence levels of cathodic protection persons — Basis for a certification scheme*

IEC 60502-1, *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) to 30 kV ($U_m = 36$ kV) — Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) and 3 kV ($U_m = 3,6$ kV)*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 61558-1, *Safety of power transformers, power supplies, reactors and similar products — Part 1: General requirements and tests*

IEC 61558-2-1, *Safety of power transformers, power supplies, reactors and similar products — Part 2-1: Particular requirements and tests for separating transformers and power supplies incorporating separating transformers for general applications*

IEC 61558-2-2, *Safety of power transformers, power supplies, reactors and similar products — Part 2-2: Particular requirements and tests for control transformers and power supplies incorporating control transformers*

IEC 61558-2-4, *Safety of transformers, reactors, power supply units and similar products for supply voltages up to 1 100 V — Part 2-4: Particular requirements and tests for isolating transformers and power supply units incorporating isolating transformers*

IEC 61558-2-13, *Safety of transformers, reactors, power supply units and similar products for supply voltages up to 1 100 V — Part 2-13: Particular requirements and tests for auto transformers and power supply units incorporating auto transformers*

IEC 61558-2-16, *Safety of transformers, reactors, power supply units and similar products for supply voltages up to 1 100 V — Part 2-16: Particular requirements and tests for switch mode power supply units and transformers for switch mode power supply units*

IEC 62262, *Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)*

EN 1504 (alle Teile), *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken — Definitionen, Anforderungen, Güteüberwachung und Beurteilung der Konformität*

EN 14629, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken — Prüfverfahren — Bestimmung des Chloridgehaltes in Festbeton*

EN 14630, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken — Prüfverfahren — Bestimmung der Karbonatisierungstiefe im Festbeton mit der Phenolphthalein-Prüfung*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 8044 und EN 1504 (alle Teile) sowie 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 <https://www.electropedia.org/>

3.1

Zone

Bereich eines kathodischen Korrosionsschutzsystems

Anmerkung 1 zum Begriff: Anodensysteme können in einzelne Zonen unterteilt werden, um den Strom für ein voll durchgängiges Bewehrungsstahlgitter bereitzustellen. Alternativ kann ein einzelner Anodenbereich den Strom für separate, elektrisch getrennte Zonen innerhalb des Bewehrungssystems liefern. Zonen können eine einzelne Anodenzone für jede Bewehrungszone oder Expositionszone umfassen. Da die Stromversorgung jeder Zone in jeder dieser Alternativen separat gemessen werden kann, werden alle im Allgemeinen als „kathodische Schutzzonen“ und speziell als „Anodenbereiche“ oder „Kathodenbereiche“ bezeichnet.

3.2

Feuchthaltemittel

hygroskopisches Material, das die Speicherung von Feuchtigkeit unterstützt

Anmerkung 1 zum Begriff: Es kann auf die Oberfläche einer galvanischen Anode aufgetragen werden, um die Grenzfläche zwischen Beton und Anode feucht zu halten.

4 Allgemeines

4.1 Qualitätsmanagement

Die Konstruktion, der Einbau, die Stromversorgung, die Inbetriebnahme und der Langzeitbetrieb aller Teile des kathodischen Korrosionsschutzsystems für Stahl in Beton müssen umfassend dokumentiert werden. Hinsichtlich weiterführender Informationen siehe Anhang B.

ANMERKUNG ISO 9001 stellt eine geeignete Norm für Qualitätsmanagementsysteme dar, die genutzt werden kann.

Jeder Teil der Arbeit muss in Übereinstimmung mit einem umfassend dokumentierten Qualitätssicherungsplan ausgeführt werden.

Jedes Stadium der Konstruktion muss überprüft werden, und die Überprüfung muss dokumentiert werden.

Jedes Stadium des Einbaus, der Stromversorgung, der Inbetriebnahme und des Betriebs muss entweder einer geeigneten visuellen, mechanischen oder elektrischen Prüfung oder allen unterzogen werden, und alle Prüfungen müssen dokumentiert werden.

Alle Prüfgeräte müssen über gültige Kalibrierzertifikate verfügen, die auf nationale oder internationale Normen zur Kalibrierung zurückzuführen sind.

Die Dokumentation muss Teil der fortlaufenden Aufzeichnungen der Arbeiten sein.

4.2 Personen

Jeder Aspekt der Konstruktion des kathodischen Korrosionsschutzsystems, des Einbaus, der Prüfung des Einbaus, der Stromversorgung, der Inbetriebnahme und der langzeitigen Betriebsüberwachung muss unter der Aufsicht von Personen mit geeigneter Qualifikation sowie geeigneter Ausbildung, Fachkompetenz und Erfahrung für den Teil der Arbeit, für den sie verantwortlich sind, stehen.

ANMERKUNG Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton ist eine fachthemenübergreifende Aktivität. Fachkenntnisse sind auf den Gebieten von Elektrochemie, Betontechnologie, Tief- oder Hochbau und kathodischem Korrosionsschutz oder allen erforderlich.

Personen, die die Konstruktion, Aufsicht über den Einbau, Inbetriebnahme, Aufsicht über Betrieb, Messungen, Überwachung und Aufsicht über Wartung von kathodischen Korrosionsschutzsystemen ausführen, müssen über den geeigneten Grad an Kompetenz für die übernommenen Aufgaben verfügen. ISO 15257 legt ein

geeignetes Verfahren fest, welches bei der Beurteilung der Kompetenz von Personen, die sich mit kathodischem Korrosionsschutz befassen, angewendet werden darf.

Die Kompetenz der Personen für den kathodischen Korrosionsschutz für den geeigneten Grad der durchzuführenden Aufgaben sollte durch Zertifizierung nach ISO 15257 oder mit anderen äquivalenten Verfahrensweisen der Präqualifikation nachgewiesen werden.

4.3 Konstruktion

Dieses Dokument stellt keine Ausführungsnorm dar, sondern ist eine Leistungsnorm.

Kathodische Korrosionsschutzsysteme für Stahl in Beton müssen Gegenstand detaillierter konstruktiver Gestaltung sein.

Die Konstruktion muss mindestens Folgendes enthalten und dokumentieren:

- a) detaillierte Berechnungen;
- b) detaillierte Einbauzeichnungen;
- c) detaillierte Spezifikationen für Werkstoff und Ausrüstung;
- d) detaillierte Verfahrensangaben oder Spezifikationen für Einbau, Prüfung, Stromversorgung, Inbetriebnahme und Betrieb;
- e) Bauwerke, die Vorspannungen enthalten, müssen auf ihre Anfälligkeit auf Wasserstoffversprödung und das Risiko von Streuströmen untersucht werden.

Die detaillierte konstruktive Gestaltung muss von Personen vorgenommen werden, die die in 4.2 festgelegten Anforderungen erfüllen. Anhang B enthält entsprechende Informationen über die konstruktive Gestaltung. Anhang B enthält Informationen für die detaillierte konstruktive Gestaltung, die von Personen vorgenommen werden sollten, die die in 4.2 festgelegten Anforderungen erfüllen. Falls für den Nachweis der Kompetenz dieser Personen ISO 15257 angewendet wird, müssen sie für den Bereich der „Stahlbetontragwerke“ dem Qualifikationsgrad 4 oder höher entsprechend zertifiziert sein.

5 Beurteilung des Bauwerks und Instandsetzung

5.1 Allgemeines

Zum kathodischen Korrosionsschutz (bzw. zur kathodischen Vorbeugung) von neuen Bauwerken siehe 5.12.

Die Beurteilung eines bestehenden Bauwerks, einschließlich seines Werkstoffzustands, seiner baulichen Integrität, und ob und wie es instandzusetzen ist, muss nach EN 1504 (alle Teile) erfolgen.

Wenn für ein Bauwerk kathodischer Korrosionsschutz als Instandsetzungs-/Schutzverfahren oder als ein Teil davon vorgeschlagen wird, müssen zusätzliche Untersuchungen durchgeführt werden, um

- a) die Eignung des kathodischen Korrosionsschutzes zu bestätigen, und
- b) Eingabedaten für die Systemplanung zu liefern (für weitere Informationen siehe Anhang B).

Diese Untersuchungen müssen alle unter 5.2 bis 5.10 angeführten Untersuchungen enthalten, müssen aber nicht allein auf diese beschränkt sein.

5.2 Aufzeichnungen

Alle verfügbaren Zeichnungen, Spezifikationen, Aufzeichnungen und Berichte müssen überprüft werden, um die Lage, Menge, Art (z. B. normal, verzinkt, mit Epoxid beschichtet, vorgespannt) und die metallleitende Durchverbindung der Bewehrung und jeglichen zusätzlichen Stahls sowie die Bestandteile und Qualität des Betons zu beurteilen.

Die vorhandenen Informationen müssen durch Baustellenbegutachtung und Laborprüfungen, wie in 5.3 bis 5.8 festgelegt, bestätigt und ergänzt werden.

5.3 Sichtprüfung und Begutachtung von Abplatzungen

Ergebnisse visueller Begutachtungen müssen gesammelt werden, um den Typ, die Ursachen und das Ausmaß von Mängeln sowie jegliche Merkmale des Bauwerks oder seiner Umgebung zu ermitteln, die die Anwendung und die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes beeinflussen können. Bereiche, die zuvor instandgesetzt wurden, sowie die Instandsetzungsverfahren und -materialien müssen identifiziert werden.

Alle Bereiche des Bauwerks, die einen kathodischen Korrosionsschutz benötigen, müssen bezüglich Abplatzungen der Betonüberdeckung geprüft werden.

Mängel, wie z. B. Risse, Kiesnester oder schlecht ausgeführte Baufugen, die in erheblichem Maße das Eindringen von Wasser zulassen und die dadurch die Wirksamkeit oder die Beständigkeit des kathodischen Korrosionsschutzsystems behindern können, müssen aufgezeichnet werden.

Falls notwendig, werden die Sichtprüfung und Begutachtung von erdverlegten oder unter Wasser befindlichen Bauteilen durch Ausschachtung und/oder Kofferdämme ermöglicht.

5.4 Chloridanalyse

Falls erforderlich, müssen Werte und die Verteilung des Chloridgehaltes des Betons nach EN 14629 bestimmt werden.

5.5 Messung der Karbonatisierungstiefe

Falls erforderlich, muss die Verteilung von Karbonatisierungstiefen nach EN 14630 gemessen werden.

5.6 Betonüberdeckung und Lage der Bewehrung

Die Verteilung der Betonüberdeckung sowie Messungen der Größe und Lage des eingebetteten Stahls und der Bewehrung müssen durchgeführt werden, um zu beurteilen, ob der Anoden-/Kathodenabstand für das betrachtete Anodensystem ausreichend ist, und um Bereiche erhöhter Stahl- bzw. Bewehrungsdichte festzustellen, die hohe Stromdichten je Quadratmeter Beton erfordern können. Es muss festgestellt werden, ob die zu schützende Bewehrung durch eingebaute Metallgitter, Metallfasern oder -platten, Kunststofffolien oder nichtleitende Instandsetzungsmaterialien, welche die Leistungsfähigkeit des kathodischen Korrosionsschutzes beeinträchtigen können, abgeschirmt wird. Mögliche Kurzschlüsse zwischen Bewehrungsstahl und Fremdstromanoden müssen festgestellt werden.

Für erdverlegte oder unter Wasser befindliche Bauwerke oder Zonen kann die Betonüberdeckung weniger wichtig sein, wenn das Anodensystem aus erdverlegten oder unter Wasser befindlichen Anoden besteht und sich in einem Abstand vom Bauwerk befindet.

5.7 Metallenleitende Durchverbindung der Bewehrung

Zeichnungen der Bewehrung und anderer Stahlelemente müssen hinsichtlich Größe, Verteilung, Lücken und metallleitender Durchverbindung überprüft werden. Letztere muss dann auf der Baustelle durch Messung

entweder des elektrischen Widerstands oder des Potentialunterschieds oder von beidem zwischen Bewehrungsstäben an weit auseinander liegenden Stellen des Bauwerks geprüft werden. Die Prüfung muss nach 7.1 erfolgen, um die Durchführbarkeit des kathodischen Korrosionsschutzes nachzuweisen und um Informationen zur konstruktiven Ausführung zu erlangen. Dies muss mindestens eine Beurteilung der folgenden, auf repräsentativer Basis zu ermittelnden Punkte enthalten:

- a) die metallenleitende Durchverbindung zwischen Teilen des Bauwerks innerhalb jeder Zone des kathodischen Korrosionsschutzsystems;
- b) die metallenleitende Durchverbindung der Bewehrung innerhalb von Teilen des Bauwerks;
- c) die metallenleitende Durchverbindung zwischen anderen metallischen Einbauteilen als der Bewehrung und der Bewehrung selbst.

Bei der nachfolgenden Instandsetzung und während des Einbaus müssen Größe, Verteilung, Lücken und metallenleitender Durchverbindung der Bewehrung und des weiteren Stahls weiter nach den in 7.1 festgelegten Verfahren und in dem dort angegebenen Umfang überprüft werden.

5.8 Stahl/Beton-Potential

Repräsentative Bereiche, sowohl beschädigte als auch anscheinend unbeschädigte, müssen unter Verwendung von tragbaren, in 6.3.2 beschriebenen Bezugselektroden auf Bewehrungsstahlkorrosion untersucht werden. Die Messungen müssen, vorzugsweise an Rasterpunkten eines orthogonalen Gitters, mit einem höchstmöglichen Abstand von 500 mm erfolgen.

ANMERKUNG 1 Es ist nicht notwendig, eine Untersuchung des Stahl/Beton-Potentials des gesamten Bauwerks durchzuführen. Es ist zweckmäßig, jene Bereiche genauer zu untersuchen, in denen ein dauerhaftes Anbringen von Bezugselektroden geplant ist, um diese in den am meisten korrosionsaktiven und anderen geeigneten Bereichen anzubringen.

Die metallenleitende Durchverbindung der Bewehrung und des übrigen Stahls innerhalb aller Stahl/Beton-Bereiche, in denen Potentialfeldmessungen durchgeführt werden, ist von wesentlicher Bedeutung und muss unter Anwendung des in 7.1 festgelegten Verfahrens vor Beginn der Messung des Stahl/Beton-Potentialfeldes überprüft werden.

Messungen in allen Bereichen, in denen nach dem in 5.3 festgelegten Verfahren zur Begutachtung Abplatzungen festgestellt wurden, sollten mit gewisser Vorsicht interpretiert werden, da durch Hohllagen Messergebnisse entstehen können, welche nicht mit dem Korrosionszustand der Bewehrung oder sonstigen eingebetteten Stählen übereinstimmen.

ANMERKUNG 2 Die Literaturhinweise [12], [13] und [14] enthalten Leitlinien in Bezug auf Messungen und Interpretation des Stahl/Beton-Potentials.

5.9 Spezifischer elektrischer Widerstand von Beton

Der Einfluss von Abweichungen des spezifischen elektrischen Widerstandes des Betons auf das kathodische Korrosionsschutzsystem muss berücksichtigt werden. Es gibt keine festen Leitlinien bezüglich der Grenzen des spezifischen elektrischen Widerstands in Bezug auf den kathodischen Korrosionsschutz, aber der Planer muss prüfen, ob ein vollständiger Schutz, sofern erforderlich, für die Bereiche des am Bauwerk vorgefundenen spezifischen elektrischen Widerstands des Betons erzielt werden kann.

ANMERKUNG Die Literaturhinweise [14] und [15] enthalten Leitlinien in Bezug auf Messungen und Interpretation des spezifischen elektrischen Widerstandes von Beton.

5.10 Instandsetzung

5.10.1 Allgemeines

Sofern in 5.10 nicht anders angegeben, müssen alle die Instandsetzung umfassenden Tätigkeiten in Übereinstimmung mit EN 1504 (alle Teile) vorgenommen werden.

ANMERKUNG Der Einbau des kathodischen Korrosionsschutzes in ein bestehendes Bauwerk kann im Zusammenhang mit anderen Formen von Instandsetzungsarbeiten ausgeführt werden, wie z. B. Verstärkung, Ausbesserung oder Beschichtung, wie nach EN 1504 (alle Teile) bestimmt. In diesem Unterabschnitt bedeutet der Ausdruck „Instandsetzung“ die Wiederherstellung des vorschriftsmäßigen Zustands eines beschädigten oder zerstörten Betons, damit eine ungehinderte Verbindung für den Fluss des kathodischen Schutzstroms sowohl vor Einbau des kathodischen Korrosionsschutzes als auch nach der Reprofilierung solcher Stellen sichergestellt ist, an denen der Beton entfernt wurde, um Zugang zur Bewehrung oder zu anderem Stahl für die Herstellung von Kabelanschlüssen zu erlangen und Überwachungssensoren zu installieren.

5.10.2 Entfernen des Betons

Alle Instandsetzungsmaterialien, die die Leistung des Korrosionsschutzsystems beeinträchtigen, müssen abgetragen werden.

So weisen z. B. vorwiegend epoxidharzbasierte Instandsetzungsmaterialien sehr hohe Werte des spezifischen elektrischen Widerstands auf und können die Bewehrung innerhalb von oder hinter Bereichen, in denen solche Instandsetzungsmaterialien eingesetzt wurden, vom kathodischen Schutz abschirmen. Mit Metallfasern bewehrter Beton kann sehr geringe Werte des spezifischen elektrischen Widerstands aufweisen, und die Fasern können eine Kurzschlussstrecke zwischen der Anode und dem Stahl bilden.

Bei fremdstrombetriebenen kathodischen Korrosionsschutzsystemen müssen jegliche(r) Bindedraht, Nägel oder anderen Metallteile, die auf dem Beton sichtbar sind und mit dem Anodensystem in Verbindung stehen oder sich für einen optimalen Anoden-/Kathodenabstand zu nahe an der Anode befinden können, entfernt/zurückgeschnitten werden und der Beton muss wieder instandgesetzt werden.

ANMERKUNG Jedes vom Stromkreis des kathodischen Schutzsystems elektrisch getrennte metallische Objekt kann korrodieren, und es kann erforderlich sein, dieses mit der Bewehrung elektrisch leitend zu verbinden oder zu entfernen.

Die Entfernung von physikalisch unversehrtem, chloridkontaminiertem oder karbonatisiertem Beton vor Anbringung des Kathodenschutzes ist nicht notwendig.

5.10.3 Vorbereitung der Bewehrung

Lose Korrosionsprodukte müssen von der freiliegenden Bewehrung oder anderem Stahl entfernt werden, um eine gute Verbundfestigkeit zwischen Stahl und Instandsetzungsmaterial sicherzustellen, wobei es jedoch nicht erforderlich ist, die Bewehrung oder sonstigen Stahl, welche(r) im Beton eingebettet werden soll, bis zum metallisch blanken Zustand zu säubern. Der Planer muss jedoch die Auswirkungen aller wesentlichen auf der Stahloberfläche zurückbleibenden Korrosionsprodukte auf die Haftfestigkeit von Betoninstandsetzungen an der Bewehrung berücksichtigen.

ANMERKUNG Die zurückbleibenden Korrosionsprodukte haben mit einiger Wahrscheinlichkeit einen hohen Chloridgehalt. Falls diese Bereiche mit Hohlräumen in den Betoninstandsetzungen zusammenfallen, korrodieren sie wahrscheinlich weiter.

Der Planer muss die Auswirkungen von Grundiermitteln oder Beschichtungen berücksichtigen, die als Bestandteil des Instandsetzungssystems verwendet werden, und dabei der möglichen Abschirmung des Korrosionsschutzstroms Rechnung tragen, der vom Stahl, an oder hinter dem die Grundiermittel oder Beschichtungen aufgebracht werden, ausgeht.

5.10.4 Wiederherstellung der Betonoberfläche

Sofern in diesem Abschnitt nicht anders angegeben, muss die Wiederherstellung der Betonoberfläche nach EN 1504 (alle Teile) erfolgen.

Der Beton muss unter Verwendung von zementartigen Werkstoffen wiederhergestellt werden. Instandsetzungsmaterialien, die (in Faser- oder Pulverform) Metall enthalten, dürfen nicht verwendet werden. Die Kennwerte des spezifischen elektrischen Widerstandes sowie die mechanischen Eigenschaften der Instandsetzungsmaterialien müssen mit denen des Originalbetons kompatibel sein. Herstellerspezifische Nachbehandlungsmembranen dürfen nicht vor dem nachfolgenden Anodeneinbau an den instandgesetzten Bereichen angewendet werden. Alternative Nachbehandlungsverfahren müssen angewendet werden.

Der spezifische elektrische Widerstand von Instandsetzungsmaterialien für Beton muss ähnlich dem des Originalbetons sein.

ANMERKUNG Bei Messung unter den gleichen Bedingungen wie bei denen des Originalbetons liegen die spezifischen elektrischen Widerstände der Instandsetzungsmaterialien typischerweise innerhalb des Bereichs von etwa der Hälfte bis zum Zweifachen des spezifischen elektrischen Widerstandes des Originalbetons. Allerdings ist der spezifische elektrische Widerstand des Originalbetons der eines gealterten Materials (Alter > 20 Jahre), wohingegen der spezifische elektrische Widerstand des Instandsetzungsmaterials die Eigenschaften in verhältnismäßig geringem Alter widerspiegelt; es ist zu erwarten, dass mit der Zeit ein signifikanter Alterungseffekt auftritt. Außerdem repräsentieren im Labor an Prismen durchgeführte Messungen nicht den Zustand des Bauwerks. Es wurde festgestellt, dass eine qualitativ hochwertige Instandsetzung mit bekanntermaßen mit kathodischen Schutzanlagen kompatiblen Materialien wichtiger ist als willkürliche Widerstandsgrenzen.

5.11 Zementartige Überdeckung

Bei kathodischen Korrosionsschutzsystemen mit wie in 6.2.3.2 festgelegten Anodensystemen muss nach einer Instandsetzung entsprechend 5.10 und einem nach den in 7.5, 7.6 und 7.7 aufgeführten Festlegungen durchgeführten Anodeneinbau eine zementartige Überdeckung über den entsprechenden eingebauten Anodentypen aufgebracht werden.

Sämtliche Werkstoffe und Aufbringungsverfahren müssen EN 1504 (alle Teile) entsprechen. Die Verbundfestigkeit zwischen vorhandenem Beton und Überdeckung muss nach EN 1542 geprüft werden. Eine Prüfreihe muss aus drei Einzelprüfungen bestehen. Die mittlere Verbundfestigkeit muss bei allen Prüfreiheiten größer als 1,5 MPa und bei allen Einzelprüfungen größer als 1,0 MPa sein. Zum Beispiel sollte die Verbundfestigkeit mit einer Prüfreihe je angefangene 100 m² geprüft werden.

Falls die Kohäsionsfestigkeit des Betonuntergrundes bei Werten geringer als 1,5 MPa im Mittel und 1,0 MPa als Minimum versagt, kann das Verwenden zementartiger Überdeckungen unangebracht sein.

Die Aufbringung von Überdeckungen darf mit Betoninstandsetzungen kombiniert werden.

Anodenüberdeckungen können den spezifischen elektrischen Widerstand des Originalbetons in signifikantem Maße überschreiten, sofern die sich in der Überdeckung befindliche Anode in der Lage ist, ihren Bemessungsstrom bei der Bemessungsspannung in einer Überdeckung mit diesem spezifischen Widerstand unter sämtlichen für das Bauwerk geltenden Witterungs- und Beanspruchungsbedingungen fließen zu lassen.

Das ausgewählte Material, die Dicke und das Einbauverfahren müssen miteinander und mit dem Anodenmaterial und den Einwirkungen auf das Bauwerk kompatibel sein. Nachbehandlungsmembranen müssen vom Originalbeton/-untergrund entfernt werden oder müssen genügend abgebaut sein, um schädliche Einflüsse auf die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzsystems zu vermeiden.

Das Potential zwischen Anode und Bewehrung/Stahl (Kathode) muss überwacht werden, um Kurzschlüsse zu erkennen.

5.12 Neue Bauwerke

Im Fall eines neuen Bauwerks, bei dem der kathodische Korrosionsschutz als Vorbeugungssystem (kathodische Vorbeugungsmaßnahme) in das Originalbauwerk mit einzubauen ist, müssen folgende Punkte zusätzlich zu den Anforderungen des übrigen Textes dieses Dokumentes und der Normen, die für die Konstruktion und den Bau des neuen Bauwerks maßgebend sind, in die Konstruktion, die Spezifikation und die Bauverfahren aufgenommen werden:

- a) Bereitstellung und Überprüfung der metallenleitenden Durchverbindung des Bewehrungsstahls nach 7.1;
- b) ausreichendes Sichern und ausreichender Schutz der Überwachungssensoren, von allen Kabeln/Leitungen und deren Anschlüssen, um Schäden oder Störungen beim Betonieren und Verdichten zu vermeiden;
- c) Anschluss, Lage oder Isolierung von anderen metallischen Einbauten, Halterungen oder anderen Gegenständen, um unerwünschte Einflüsse vom kathodischen Vorbeugungssystem zu vermeiden;
- d) im Fall von einbetonierten Anoden ist der Einbau von ausreichend starren, isolierenden Abstandshaltern und Befestigungen vorzusehen, um die Lage der Anoden zu sichern und beim Betonieren und Verdichten das Entstehen von Kurzschlüssen zu vermeiden. Die Überwachung des Potentials zwischen Anode und Bewehrung/Stahl (Kathode) muss durchgeführt werden, um etwaige beim Betonieren auftretende Kurzschlüsse erkennen zu können.

6 Komponenten des kathodischen Korrosionsschutzsystems

6.1 Allgemeines

Das kathodische Korrosionsschutzsystem muss ein Anodensystem enthalten, welches dafür vorgesehen ist, den kathodischen Schutzstrom an die Oberflächen des zu schützenden, eingebetteten Stahls zu verteilen. Kathodische Fremdstrom-Korrosionsschutzsysteme müssen zudem eingebaute positive und negative Gleichstromkabel zwischen der Anode bzw. dem Stahl und der Gleichstromquelle aufweisen, welche die Quelle des kathodischen Schutzstromes ist.

Bei galvanischen Anodensystemen müssen permanente metallische Anschlüsse zwischen der Anode und dem Stahl vorgesehen sein, ausgenommen dort, wo Überwachungseinrichtungen installiert sind, die eine Stromunterbrechung erfordern.

Bezugselektroden, andere Elektroden und sonstige Sensoren sind Schlüsselemente von kathodischen Korrosionsschutzsystemen und stellen das Leistungsüberwachungssystem innerhalb des kathodischen Korrosionsschutzsystems dar. Die Daten von den Elektroden und Sensoren können abgefragt und entweder von einer tragbaren Messgeräteeinrichtung oder einer ständig angeschlossenen automatischen oder handbetriebenen Messgeräteeinrichtung angezeigt werden.

Das komplette kathodische Korrosionsschutzsystem muss so konstruiert, aufgebaut und geprüft sein, dass es für dessen bestimmungsgemäße Lebensdauer in der vorgesehenen Umgebung geeignet ist.

Sowohl kathodische Fremdstrom- als auch galvanische Anoden-Korrosionsschutzsysteme erfordern Vorkehrungen zur Überwachung, um die Leistungsfähigkeit und die Übereinstimmung mit diesem Dokument zu ermitteln.

ANMERKUNG Galvanische Anodensysteme können ohne Überwachungssysteme oder Verfahren für die Messung ihrer Leistungsfähigkeit genutzt werden. Derartige Systeme erfüllen nicht die Anforderungen dieses Dokumentes.

6.2 Anodensysteme

6.2.1 Allgemeines

Siehe Anhang C.

Das Anodensystem muss in der Lage sein, die im Entwurf des kathodischen Korrosionsschutzsystems geforderte Leistung zu erbringen (siehe 4.3). Die berechnete oder geschätzte Lebensdauer des Anodensystems muss für die projektierte Lebensdauer ausreichend sein, gegebenenfalls mit im Entwurf eingeplanter Wartung oder Ersatz des Anodensystems oder von Teilen des Systems nach bestimmten im Entwurf festgelegten Zeitabschnitten.

Bei im Beton eingebetteten oder auf der Betonoberfläche aufgetragenen Anoden muss sich die Anodenstromdichte nach der Bemessung richten und darf keine Werte überschreiten, die zu einer Verringerung der Leistungsfähigkeit entweder

- a) des Betons an der Grenzschicht zwischen Anode und Beton; oder
- b) der Anode während der vorgesehenen Lebensdauer der Anode führen würden.

Bei in die Betonoberfläche eingebetteten oder auf diese aufgetragenen Anoden darf die maximale Kurzzeit-Stromdichte an der Anodenoberfläche höchstens 220 mA/m^2 und die maximale Langzeit-Stromdichte an der Anodenoberfläche höchstens 110 mA/m^2 betragen. Diese Werte dürfen nur dann überschritten werden, wenn der Planer nachweisen und im Entwurfsbericht dokumentieren kann, dass eine höhere Stromdichte bei der betreffenden Anodenwerkstoffkombination, ihrer zementartigen Umgebung und dem dafür angewendeten Einbauverfahren (z. B. eine Netzanode in einer Überdeckung, eine Band- oder Bandnetzanode in Einkerbungen oder Schlitten oder getrennte Anoden in Bohrlöchern) über die gesamte vorgesehene Lebensdauer des kathodischen Korrosionsschutzsystems zuverlässig geführt werden kann. Die vom Anodenhersteller empfohlenen Stromdichten dürfen nicht überschritten werden.

Entweder bei der Bemessung oder der Auswahl des Anodenmaterials oder beidem sind wahrscheinliche Abweichungen bei den Anforderungen an die Kathodenstromdichte, der Verteilung des Stahls, des spezifischen elektrischen Widerstands und jedwede Faktoren zu berücksichtigen, die möglicherweise eine ungleichmäßige Verteilung des Strombedarfs oder Entladung des Stroms an der Anode ergeben und die Möglichkeit einschließen, dass dadurch ein frühes Versagen von einzelnen Teilen des Anodensystems verursacht wird.

ANMERKUNG 1 Es wurde eine Vielzahl von Anodensystemen entwickelt und geprüft und in Langzeit-Feldanwendungen nachgewiesen, dass diese sich für das Einbetonieren oder zum Aufbringen auf Beton hauptsächlich (jedoch nicht ausschließlich) für den kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in der Luft ausgesetztem Beton eignen. Die Anforderungen, die an derartige Anoden gestellt werden, sind spezifisch für die Verwendung beim kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in Beton, weil die Anoden wie gefordert auf der Oberfläche befestigt oder angebracht werden müssen und über die Oberfläche des Betons zu verteilen sind oder im Beton einzubauen sind, um die vorgesehene Verteilung und Stärke des Stroms zu erfüllen. Demzufolge steht die Anode in engem Kontakt mit dem hochgradig alkalischen Porenwasser des Betons. Im Einsatz sind die anodischen, elektrochemischen Reaktionen an der Berührungsfläche von Anode/Beton oxidierend, wobei Säure produziert wird.

ANMERKUNG 2 Anoden sind nicht abschließend in Anhang C aufgeführt.

Es ist wahrscheinlich, dass neue und wirksame Anodenmaterialien zum kathodischen Korrosionsschutz für Stahl in Beton entwickelt werden. Dieses Dokument bezweckt nicht, deren Einsatz auszuschließen. Es wird empfohlen, dass der Einsatz jeder Anode nur dann erfolgen sollte, wenn deren Leistungsfähigkeit entweder durch Laborprüfungen, Versuche oder abgeschlossene Projekte oder all dies bewiesen werden kann.

Es wird vorgeschlagen, dass neue Anodenmaterialien zum kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in Beton vor dem kommerziellen, professionellen Einsatz harten Laborprüfungen und, wo immer es möglich ist, entweder erweiterten oder beschleunigten Feldtests oder beiden unterzogen werden sollten.

ANMERKUNG 3 In ISO 19097-1 [5] ist ein eingeführtes Prüfverfahren für die beschleunigte Lebensdauerprüfung von in Beton eingebetteten, mit Metallmischoxid beschichteten Titananoden festgelegt. Außerdem gibt es eine Verfahrensweise für die Vergleichsprüfung von Anoden mit leitfähiger Beschichtung auf Kohlenstoffbasis [16].

Für den Schutz von Stahl in erdverlegtem oder unter Wasser befindlichem Beton angewendete Anodensysteme sind ausführlich in EN 12954 [9], EN 12495 [7] ISO 15589-2 [4], ISO 12473 [2], ISO 19097-2 [6] und ISO 13174 [3] beschrieben.

6.2.2 Anodensysteme mit leitfähiger Beschichtung

6.2.2.1 Leitfähige Beschichtungen

Diese Beschichtungen werden als Fremdstromanoden eingesetzt.

Das Anodensystem muss eine kohlenstoffhaltige leitfähige Beschichtung und eine Reihe von Zuleitungen (Stromverteilern) enthalten, die an der Betonoberfläche befestigt oder in der Beschichtung eingelagert sind, damit die Zuleitungen den Strom innerhalb der Beschichtung verteilen können. Die Zuleitungen müssen aus einem Werkstoff, der gegen anodische Reaktionen beständig ist, zum Beispiel platinbeschichtetem oder platinisiertem Titan oder Niob, welches einen Kupferkern enthalten darf, oder mit Metallmischoxid beschichtetem Titan, bestehen.

Bei der Kombination von leitfähiger Beschichtung und Stromverteilern muss durch Versuche oder abgeschlossene Projekte der Nachweis erbracht werden, dass es möglich ist, die projektierte Anodenleistung zu erreichen. Der Abstand von Stromverteilern innerhalb der leitfähigen Beschichtung muss so beschaffen sein, dass berechnet oder nachgewiesen werden kann, dass die Schwankungen in der Anodenstromabgabe zwischen den Stromverteilern, die dem Widerstand in der Beschichtung zuzuschreiben sind, $\pm 10\%$ der mittleren Stromabgabe nicht überschreiten, welche als Spannungsabfall von $\pm 10\%$ gemessen wird.

Bei der konkret ausgewählten Anwendungstechnik muss durch Versuche oder abgeschlossene Projekte nachgewiesen werden, dass es möglich ist, die projektierte Anodenleistung zu erreichen.

Die Haftfestigkeit der Beschichtung am Beton, die von entsprechender Oberflächenvorbereitung und dem vorstehend genannten Aufbringungsverfahren abhängt, muss zweckentsprechend sein, damit sich die geplante Lebensdauer des Anodensystems erreichen lässt.

Es müssen Daten bezüglich der Anforderungen an die Schichtdicke entweder des Nass- oder Trockenfilms oder von beiden vorgelegt werden, mit denen sich die geforderte spezifische elektrische Leitfähigkeit des Trockenfilms erreichen lässt.

Weitere Informationen hierzu siehe Anhang C.

6.2.2.2 Thermisch gespritzte Metallbeschichtungen

Das Anodensystem muss aus einer thermisch gespritzten Metallbeschichtung aus Zn, Al-Zn, Al-Zn-In oder Ti bestehen.

Die Zn-Beschichtungen werden als Fremdstromanoden und auch als galvanische Anoden eingesetzt; die Anoden aus Al-Zn- und Al-Zn-In-Legierungen werden als galvanische Anode eingesetzt. Ti wird als Fremdstromanode zusammen mit einem Katalysatorspray verwendet, um den Widerstand an der Grenzfläche Anode und Beton zu verringern.

Wenn thermisch gespritzte Metallbeschichtungen als galvanische Anode genutzt werden, dürfen diese direkt auf die Bewehrung/den Stahl, wo diese(r) freiliegt, und überwiegend auf die unversehrte Betonoberfläche aufgetragen werden, wobei die Anforderung, dass eine Überwachung der Leistung des Korrosionsschutzsystems, wie in diesem Dokument festgelegt, möglich sein muss, weiterhin gilt.

Ein Feuchthaltemittel darf auf thermisch gespritzten, als galvanische Anoden dienenden Metallbeschichtungen angewendet werden, um deren Leistungsfähigkeit zu erhöhen.

Um atmosphärische Korrosion zu vermeiden und die Lebensdauer der Anode zu verlängern, darf auf die thermisch aufgespritzte Metallbeschichtung eine Beschichtung mit geeigneten Eigenschaften aufgetragen werden.

Für die Kombination aus metallischer Beschichtung und Anschlüssen muss durch Versuche oder mit abgeschlossenen Projekten nachgewiesen werden, dass es möglich ist, die projektierte Anodenleistung zu erreichen.

Bei der konkret ausgewählten Anwendungstechnik muss durch Versuche oder mit abgeschlossenen Projekten nachgewiesen werden, dass es möglich ist, die projektierte Anodenleistung zu erreichen.

Die Haftfestigkeit der Beschichtung am Beton, die von entsprechender Oberflächenvorbereitung und dem vorstehend genannten Aufbringungsverfahren abhängt, muss zweckentsprechend sein, damit sich die geplante Lebensdauer des Anodensystems erreichen lässt.

Es müssen Daten bezüglich der Anforderungen an den Beschichtungsvorgang vorgelegt werden, mit dem sich die geforderte Schichtdicke der Beschichtung und die elektrische Leitfähigkeit erreichen lassen.

Metallische Anschlüsse (aus Cu, Cu-Zn-Legierungen, Ti oder Stahl), die mechanisch mit der Betonoberfläche verbunden sind, müssen vor dem metallischen Beschichtungsvorgang eingebaut werden.

Weitere Informationen hierzu siehe Anhang C.

6.2.3 Aktivierter Titananodensysteme

6.2.3.1 Allgemeines

Diese Anoden werden als Fremdstromanoden verwendet.

Das Anodensystem muss aus einem Titansubstrat [17] und einer elektrokatalytischen Beschichtung mit Oxiden aus der Gruppe der Platinmetalle, Platin, Iridium oder Ruthenium neben Oxiden von Titan, Zirkonium und Tantal zusammen mit Anoden-/Kabel-Anschlüssen und einer zementartigen Überdeckung oder Einfassung bestehen.

ANMERKUNG 1 Diese Anoden werden häufig als mit Metallschichtoxid beschichtete Titananoden(MMO/Ti)-Anoden oder inerte Anoden beschrieben.

Es muss entweder durch Versuche oder Laborprüfungen oder beides nachgewiesen werden, dass die Beschichtungszusammensetzung und -dicke, oder Masse je Flächeneinheit, geeignet sind, die projektierte Anodenleistung zu erreichen.

ANMERKUNG 2 Ein geeignetes Prüfverfahren ist in ISO 19097-1 [5] für in Beton eingebettete Anoden und in ISO 19097-2 [6] für erdverlegte und unter Wasser befindliche Anoden angeführt.