

DIN EN ISO 12696



ICS 77.060; 91.080.40

Einsprüche bis 2016-08-03
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 12696:2012-05

Entwurf**Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton (ISO/FDIS 12696:2016);
Deutsche und Englische Fassung FprEN ISO 12696:2016**

Cathodic protection of steel in concrete (ISO/FDIS 12696:2016);
German and English version FprEN ISO 12696:2016

Protection cathodique de l'acier dans le béton (ISO/FDIS 12696:2016);
Version allemande et anglaise FprEN ISO 12696:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-06-03 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de 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/stellungnahme 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 (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

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

Gesamtumfang 117 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (FprEN ISO 12696:2016) wurde vom 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 vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

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

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der FprEN ISO 12696 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 8044	siehe DIN EN ISO 8044
ISO 13174	siehe DIN EN ISO 13174
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

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 12696:2012-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) geringfügige Überarbeitung bei der ein Wert in Tabelle A.1 korrigiert wurde.

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 dergleichen — 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, Netzgeräten und dergleichen — Teil 2-4: Besondere Anforderungen an Trenntransformatoren für allgemeine Anwendungen*

DIN EN 61558-2-13, *Sicherheit von Transformatoren, Netzgeräten und dergleichen — Teil 2-13: Besondere Anforderungen an Spartransformatoren für allgemeine Anwendungen*

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

DIN EN ISO 13174, *Kathodischer Korrosionsschutz für Hafenbauten*

— Leerseite —

CEN/TC 219

Datum: 2016-04

FprEN ISO 12696:2016

CEN/TC 219

Sekretariat: BSI

Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton (ISO/FDIS 12696:2016)

Protection cathodique de l'acier dans le béton (ISO/FDIS 12696:2016)

Cathodic protection of steel in concrete (ISO/FDIS 12696:2016)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.2

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Allgemeines	9
4.1 Qualitätsmanagementsysteme	9
4.2 Personal	9
4.3 Konstruktion	9
5 Beurteilung des Bauwerks und Instandsetzung	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Aufzeichnungen	10
5.3 Sichtprüfung und Begutachtung von Abplatzungen	10
5.4 Chloridanalyse	11
5.5 Karbonatisierungstiefe	11
5.6 Betonüberdeckung und Lage der Bewehrung	11
5.7 Elektrischer Stromdurchgang der Bewehrung	11
5.8 Stahl/Beton-Potential	11
5.9 Spezifischer elektrischer Widerstand des Betons	12
5.10 Instandsetzung	12
5.11 Zementartige Überdeckung	13
5.12 Neue Bauwerke	14
6 Komponenten des kathodischen Korrosionsschutzsystems	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Anodensysteme	15
6.3 Überwachungssensoren	21
6.4 Kontrollmessgeräte	23
6.5 Datenverwaltungssystem	24
6.6 Gleichspannungskabel/-leitungen	25
6.7 Anschlusskästen	26
6.8 Stromversorgungen	26
6.9 Transformator-Gleichrichter	27
7 Installationsverfahren	29
7.1 Elektrischer Stromdurchgang	29
7.2 System zur Leistungsüberwachung	29
7.3 Anschlüsse zum Stahl im Beton	30
7.4 Instandsetzungsarbeiten am Beton im Zusammenhang mit Komponenten des kathodischen Schutzsystems	30
7.5 Oberflächenvorbereitung zur Anodeninstallation	31
7.6 Anodeneinbau	31
7.7 Anschlüsse zum Anodensystem	31
7.8 Anodenüberdeckung, oberflächenabdichtende oder dekorative Beschichtung	32
7.9 Elektroinstallation	32
7.10 Prüfungen während der Installation	33
8 Inbetriebnahme	34
8.1 Sichtprüfung	34

	Seite
8.2	Messungen vor der Stromeinspeisung 34
8.3	Anfängliche Stromeinspeisung von Fremdstromsystemen 34
8.4	Anfängliche Einregelung von Fremdstromsystemen 35
8.5	Anfängliche Leistungsbeurteilung 35
8.6	Schutzkriterien: Auswertung der Daten der Leistungsbeurteilung 37
8.7	Anpassung des Schutzstroms für Fremdstromsysteme 38
9	Systemaufzeichnungen und Dokumentation 38
9.1	Aufzeichnungen zu Qualität und Prüfungen 38
9.2	Bericht über Einbau und Inbetriebnahme 38
9.3	Bedienungs- und Wartungshandbuch 39
10	Betrieb und Wartung 40
10.1	Intervalle und Verfahren 40
10.2	Systemprüfung 41
10.3	Systemprüfbericht 41
Anhang A (informativ)	Grundsätze des kathodischen Korrosionsschutzes und dessen Anwendung auf Stahl in Beton 42
Anhang B (informativ)	Entwurfsprozess 49
Anhang C (informativ)	Anmerkungen zu Anodensystemen 53
Literaturhinweise.....	59

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (FprEN ISO 12696:2016) 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 vom BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen formellen Abstimmung vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/FDIS 12696:2016 wurde vom CEN als FprEN ISO 12696:2016 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

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

Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet.

Die Hauptaufgabe der Technischen Komitees besteht in dem Erarbeiten von Internationalen Normen. Die von den Technischen Komitees angenommenen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedsorganisationen zur Umfrage zur Verfügung gestellt. Für eine Veröffentlichung als Internationale Norm wird eine Zustimmung von mindestens 75 % der Mitgliedsländer, die abgestimmt haben, benötigt.

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.

ISO 12696 wurde durch das Europäische Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 219, *Kathodischer Korrosionsschutz*, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 156, *Cathodic protection* erarbeitet, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung über technische Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung).

Diese erste Ausgabe ersetzt EN:12696:2000, welche technisch überarbeitet wurde.

Einleitung

Diese Internationale Norm gilt für den kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in Beton(bauwerken), welche der Luft ausgesetzt sind, für erdverlegte Bauwerke sowie für Bauwerke unter Wasser.

Da als Schutzkriterien für erdverlegte oder unter Wasser verbauten Stahlbeton diejenigen anwendbar sind, welche auch bei kathodischem Korrosionsschutz von Stahl in der Luft ausgesetztem Beton angewendet werden können, beinhaltet diese Überarbeitung der EN 12696:2000 auch den kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in erdverlegte und unter Wasser verbautem Beton. Die Bereitstellung des kathodischen Schutzstromes für Stahl in erdverlegte oder unter Wasser befindlichen Betonbauwerken 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 dieser Internationalen Norm für alle Anwendungsmöglichkeiten festgelegt sind.

Es gibt weitere elektrochemische Behandlungsverfahren, die die Bekämpfung der Korrosion von Stahl in Beton ermöglichen. Diese Techniken umfassen Realkalisierung und Chloridextraktion und sind nicht in dieser Internationalen Norm enthalten. CEN/TS 14038-1:2004 [7] und CEN/TS 14038-2:2011 [27] sind veröffentlicht worden.

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. Der kathodische Korrosionsschutz ist eine Verfahrensweise, die besondere Berechnungsgrundlagen und die Festlegung von Installations- oder Einbauverfahren erfordert, um erfolgreich realisiert zu werden. Die vorliegende Internationale Norm ist keine Ausführungsnorm (Designcode) für den kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in Beton, sondern eine Leistungsnorm, für deren Erfüllung vorausgesetzt wird, dass ein ausführlicher Entwurf sowie Spezifikationen für Werkstoff-/Material, Einbau, Inbetriebnahme und Anlagenbetrieb erarbeitet werden.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt die Leistungsanforderungen an den kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in Beton (auf Zementbasis) sowohl in neuen als auch bestehenden Bauwerken fest. Sie umfasst die der Luft ausgesetzten Teile von Gebäuden und Tiefbauwerken, einschließlich in Beton eingebetteter nicht vorgespannter und vorgespannter Bewehrung. Sie ist anwendbar auf unbeschichteten und auf organisch beschichteten Bewehrungsstahl.

Diese Internationale Norm ist anwendbar auf Stahl, der in Teile von Gebäuden oder in Bauwerke eingebettet ist, die der Luft ausgesetzt, erdverlegt oder unter Wasser befindlich oder durch Gezeiten beeinflusst sind.

ANMERKUNG 1 Anhang A gibt eine Übersicht über die Grundsätze des kathodischen Korrosionsschutzes und dessen Anwendung auf Stahl in Beton.

ANMERKUNG 2 Diese Internationale Norm, die 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 Materialien, wie sie beispielsweise bei in Stahlrahmen eingesetztem Mauerwerk, Bausteinen und mit Terracotta verkleideten Bauwerken aus dem frühen 20. Jahrhundert zu finden sind, angewendet werden. Bei derartigen Anwendungen sind zusätzliche Überlegungen für diese Bauwerke hinsichtlich Ausführung, Materialien und Einbau des kathodischen Schutzes erforderlich; die Anforderungen der vorliegenden Internationalen Norm können jedoch für diese Bauwerke angewendet werden.

2 Normative Verweisungen

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

ISO 8044, *Corrosion of metals and alloys — Basic terms and definitions*

ISO 13174, *Cathodic protection for harbour installations*

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

EN 12954, *Kathodischer Korrosionsschutz von metallischen Anlagen in Böden und Wässern — Grundlagen und Anwendung für Rohrleitungen*

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*

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

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 61140, *Protection against electric shock — Common aspects for installation and equipment*

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 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)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 8044 und EN 1504 und die folgenden Begriffe.

3.1

Zone

Bereich des kathodischen Korrosionsschutzsystems

ANMERKUNG 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. Einzelne Anodenbereiche für Bewehrungsabschnitte oder Abschnitte, welche sich aus unterschiedlichen Expositionen ergeben, können in Zonen zusammengefasst werden. Da die Stromversorgung in jeder dieser Zonen separat gemessen werden kann, werden alle im Allgemeinen als „kathodische Schutzzonen“ und speziell als „Anodenbereiche“ oder „Kathodenbereiche“ bezeichnet.

3.2

Feuchthaltemittel

(en: humectant)

hygroskopisches Material, z. B. ein Stoff, der die Speicherung von Feuchtigkeit unterstützt

ANMERKUNG Es kann auf die Oberfläche einer galvanischen Anode aufgetragen werden, um die Berührungsfläche zwischen Beton und Anode feucht zu halten.

4 Allgemeines

4.1 Qualitätsmanagementsysteme

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

ANMERKUNG ISO 9000 stellt eine passende Norm für Qualitätsmanagementsysteme dar, die genutzt werden kann.

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

Jedes Stadium des Entwurfs muss überprüft werden, und die Überprüfung muss dokumentiert sein.

Jedes Stadium des Einbaus, der Stromversorgung, der Inbetriebnahme und des Betriebs muss einer geeigneten visuellen, mechanischen und/oder elektrischen Prüfung unterzogen werden, und alle Prüfungen sind zu dokumentieren.

Alle Prüfgeräte müssen über gültige Kalibrierzertifikate verfügen, die auf Nationale oder Europäische Normen für Kalibrierung zurückzuführen sind.

Die Dokumentation muss Teil der fortlaufenden Aufzeichnungen der Arbeiten sein.

4.2 Personal

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 Personal mit entsprechenden Qualifikationen, Ausbildung, Fachkompetenz und Erfahrung auf dem Gebiet des Teils 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- und/oder Hochbau und kathodischem Korrosionsschutz erforderlich.

Personal, das Entwurf, Aufsicht über Installation, Inbetriebnahme, Aufsicht über Betrieb, Messungen, Überwachung und Aufsicht über Wartung von kathodischen Korrosionsschutzsystemen ausführt, muss über den entsprechenden Grad an Kompetenz für die übernommenen Aufgaben verfügen. EN 15257 legt ein geeignetes und anwendbares Verfahren für die Beurteilung der Kompetenz von Personal, das sich mit kathodischem Korrosionsschutz befasst, fest.

Die Kompetenz von Personal für kathodischen Korrosionsschutz, mit dem entsprechenden Grad an Erfahrung für die durchzuführenden Aufgaben sollte durch Zertifizierung nach EN 15257 oder mit anderen äquivalenten Verfahrensweisen der Präqualifikation nachgewiesen werden.

4.3 Konstruktion

Diese Internationale Norm stellt keine Ausführungsnorm dar, sondern ist eine Leistungsnorm.

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

Der Entwurf der Konstruktion muss mindestens folgendes beinhalten:

- a) detaillierte Berechnungen;
- b) detaillierte Einbauzeichnungen;

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

ANMERKUNG In Anhang B sind Punkte aufgeführt, die im detailliert ausgearbeiteten Entwurf berücksichtigt werden sollten.

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 Materialzustands, seiner baulichen Vollständigkeit, und ob und wie es instandzusetzen ist, muss nach EN 1504 erfolgen.

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

- a) die Eignung des kathodischen Korrosionsschutzes zu bestätigen und
- b) Eingabedaten für die Systemplanung zu liefern. Siehe Anhang B.

Diese Untersuchungen müssen alle unter 5.2 bis 5.10 beschriebenen Untersuchungen enthalten, dürfen sich aber nicht allein auf diese beschränken.

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 Stromdurchgängigkeit der Bewehrung und jeglichen zusätzlichen Stahls sowie die Bestandteile und Qualität des Betons festzustellen.

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 könnten. Bereiche, die zuvor instandgesetzt wurden, sowie die Instandsetzungsverfahren und -materialien müssen identifiziert werden.

Alle Bereiche des Bauwerks, die einen kathodischen Korrosionsschutz benötigen, müssen bezüglich Hohllagen 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 könnten, müssen aufgezeichnet werden.

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

5.4 Chloridanalyse

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

5.5 Karbonatisierungstiefe

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

5.6 Betonüberdeckung und Lage der Bewehrung

Die Verteilung der Betonüberdeckung sowie Durchmesser und Lage des eingebetteten Stahls und der Bewehrung müssen ermittelt werden um zu beurteilen, ob der Anoden-/Kathodenabstand für das betrachtete Anodensystem ausreichend ist und Bereiche erhöhter Stahl- bzw. Bewehrungsdichte festzustellen, die hohe Stromdichten erfordern können. Es muss festgestellt werden, ob die zu schützende Bewehrung durch eingebaute Metallgitter, Metallfasern oder -platten, Kunststofffolien oder nichtleitende Instandsetzungsmaterialien, welche die Effektivität des kathodischen Schutzes 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 befindliche Anoden besteht und sich in einem Abstand vom Bauwerk befindet.

5.7 Elektrischer Stromdurchgang der Bewehrung

Zeichnungen der Bewehrung und anderer Stahlelemente müssen hinsichtlich des elektrischen Stromdurchgangs überprüft werden, welche auf der Baustelle durch Messung des elektrischen Widerstands und/oder des Potentialunterschieds zwischen Bewehrungen an weit auseinander liegenden Stellen des Bauwerks nachgeprüft werden muss. Die Prüfung muss nach 7.1 erfolgen, um die Durchführbarkeit des kathodischen Korrosionsschutzes nachzuweisen und Informationen hinsichtlich der konstruktiven Ausführung zu erlangen. Dies muss mindestens eine Beurteilung der folgenden, auf repräsentativer Basis zu ermittelnden Punkte enthalten:

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

Bei der nachfolgenden Instandsetzung und während des Einbaus muss der elektrische Stromdurchgang der Bewehrung und des übrigen Stahls weiter nach den in 7.1 festgelegten Verfahren und in dem dort angegebenen Umfang geprüft werden.

5.8 Stahl/Beton-Potential

Repräsentative Bereiche, sowohl beschädigte als auch offensichtlich unbeschädigte, müssen unter Verwendung von tragbaren, in 6.3.2 beschriebenen Bezugselektroden auf Bewehrungs-/Stahlkorrosion untersucht werden. Die Messungen müssen, vorzugsweise an Rasterpunkten eines orthogonalen Gitters, mit einem maximalen Abstand von 500 mm erfolgen.

ANMERKUNG 1 Es ist nicht notwendig, eine Messung des Stahl/Beton-Potentialfeldes vom gesamten Bauwerk durchzuführen. Es ist zweckmäßig, jene Bereiche genauer zu untersuchen, in denen ein dauerhaftes Anbringen von Bezugselektroden geplant ist, um diese in den anodischsten und anderen geeigneten Bereichen anzubringen.

Der elektrische Stromdurchgang der Bewehrung und des Stahls innerhalb aller 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 der in 5.3 spezifizierten Ist-Zustandserfassung Hohllagen im Beton festgestellt wurden, sollten mit gewisser Vorsicht interpretiert werden, da durch Hohllagen Messergebnisse entstehen können, welche nicht mit dem Korrosionszustand der Bewehrung oder des sonstigen eingebetteten Stahls übereinstimmen.

ANMERKUNG 2 ASTM C876 [8], der RILEM TC 154 Report (2003) [9] und der Concrete Society Technical Report 60 [10] enthalten Leitfäden in Bezug auf Messungen des Stahl/Beton-Potentials und Interpretationen dieser.

5.9 Spezifischer elektrischer Widerstand des Betons

Der Einfluss von Änderungen des spezifischen elektrischen Widerstandes des Betons auf das kathodische Korrosionsschutzsystem ist zu berücksichtigen. Es gibt keine sicheren Leitfäden bezüglich der Grenzen des spezifischen elektrischen Widerstands in Bezug auf den kathodischen Korrosionsschutz, aber der Planer muss prüfen, ob ein voller Schutz, wo erforderlich, erzielt werden kann für die Bereiche und absoluten Werte des auf dem Bauwerk vorgefundenen Widerstands des Betons.

ANMERKUNG Der RILEM TC 154 Report (2000) [11] und der Concrete Society Technical Report 60 [10] enthalten Leitfäden in Bezug auf die Messung und Interpretation des spezifischen elektrischen Widerstands von Beton.

5.10 Instandsetzung

5.10.1 Allgemeines

Alle die Instandsetzung umfassenden Tätigkeiten müssen in Übereinstimmung mit EN 1504 vorgenommen werden, außer wenn in diesem Unterabschnitt etwas anderes festgelegt ist.

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 bestimmt. In diesem Unterabschnitt bedeutet der Ausdruck „Instandsetzung“ die Wiederherstellung des ordnungsgemäßen Zustands eines beschädigten oder zerstörten Betonuntergrunds, damit eine ungehinderte elektrolytische Verbindung für den kathodischen Schutzstrom 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 usw. zu installieren.

5.10.2 Entfernen des Betons

Sämtliche Instandsetzungsmaterialien aus vorhergehenden Maßnahmen mit beträchtlich von dem des Originalbetons abweichendem spezifischem elektrischem Widerstand müssen entfernt werden.

ANMERKUNG 1 Gewöhnlich sollten diese Instandsetzungsmaterialien mit einem spezifischen elektrischen Widerstand, der bei Messung unter den gleichen Bedingungen wie beim Originalbeton außerhalb des Bereichs von etwa der Hälfte bis zum Zweifachen des Wertes vom Originalbeton liegt, entfernt werden, um einen relativ gleichmäßigen Stromfluss in der Bewehrung zu ermöglichen. Z. B. werden vorwiegend epoxidharzbasierte Instandsetzungsmaterialien sehr hohe Werte des spezifischen elektrischen Widerstands aufweisen 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 an der Oberfläche des Betons sichtbar sind und mit dem Anodensystem in Verbindung stehen oder sich für einen optimalen Anoden-/Kathodenabstand zu nahe an der Anode befinden könnten, entfernt werden, wobei anschließend der Beton wieder instandzusetzen ist.

ANMERKUNG 2 Jedes vom Kathodenstromkreis 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

Freiliegende Bewehrung oder sonstiger Stahl muss von Korrosionsprodukten gereinigt werden, um eine gute Verbundfestigkeit zwischen Stahl und Instandsetzungsmaterial sicherzustellen, wobei es jedoch nicht erforderlich ist, die Bewehrung oder sonstigen Stahl, welche/welcher im Beton eingebettet werden soll, bis zum metallisch blanken Zustand zu säubern.

Es dürfen weder Isolierungen noch Grundierungen oder Beschichtungen verwendet werden.

5.10.4 Wiederherstellung der Betonoberfläche

Die Wiederherstellung der Betonoberfläche muss nach EN 1504 erfolgen, es sei denn, es ist in diesem Unterabschnitt anders festgelegt.

Der Beton muss unter Verwendung von zementartigen Materialien wiederhergestellt werden. Metall enthaltendes Instandsetzungsmaterial (entweder Fasern oder Pulver) darf besonders im Fall von kathodischen Fremdstrom-Korrosionsschutzsystemen nicht verwendet werden. Die Kennwerte des spezifischen elektrischen Widerstandes sowie die mechanischen Eigenschaften des Instandsetzungsmaterials müssen mit denen des Originalbetons kompatibel sein. Herstellerspezifische Nachbehandlungsmembranen dürfen nicht vor dem nachfolgenden Anodeneinbau an den instandgesetzten Bereichen angewendet werden. Alternative Nachbehandlungsverfahren müssen verwendet werden.

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

ANMERKUNG Typischerweise liegen die spezifischen elektrischen Widerstände der Instandsetzungsmaterialien innerhalb des Bereichs von etwa der Hälfte bis zum Zweifachen des spezifischen elektrischen Widerstandes des Originalbetons, bei Messung unter den gleichen Bedingungen wie bei denen des Originalbetons. Allerdings ist der spezifische elektrische Widerstand des Ausgangsbetons der eines gealterten Materials (Alter > 20 Jahre), wohingegen der spezifische elektrische Widerstand des Instandsetzungsmaterials die Eigenschaften in verhältnismäßig jungem Alter widerspiegelt; es ist zu erwarten, dass mit der Zeit ein signifikanter Alterungseffekt auftritt. Außerdem repräsentieren im Labor an Prismen durchgeführte Messungen nicht die Verhältnisse 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 6.2.2.2 festgelegten Anodensystemen muss nach der Instandsetzung entsprechend 5.10 und dem nach den in 7.5, 7.6 und 7.7 aufgeführten Festlegungen durchgeführten Anodeneinbau eine zementartige Überdeckung über die sachgerecht eingebauten Anodentypen aufgetragen werden. Alle Materialien und Anwendungsverfahren müssen mit EN 1504 übereinstimmen. Die mittlere Verbundfestigkeit zwischen vorhandenem Beton und Überdeckung muss größer sein als 1,5 MPa und das Minimum aller gemessenen Werte muss größer sein als 1,0 MPa.

ANMERKUNG 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 dürfen das Zweifache des spezifischen elektrischen Widerstandes des Originalbetons überschreiten, sofern die sich in der Überdeckung befindliche Anode in der Lage ist, den Bemessungsstrom der Anode bei 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.

Das Potential zwischen Anode und Bewehrung/Stahl (Kathode) muss überwacht werden, um Kurzschlüsse zu erkennen. Nachbehandlungsmembranen müssen vom Originalbeton/-untergrund entfernt werden oder genügend abgebaut sein, um schädliche Einflüsse auf die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzsystems zu vermeiden.

5.12 Neue Bauwerke

Im Fall eines neuen Bauwerks, bei dem der kathodische Korrosionsschutz als Vorbeugungsmaßnahme in das originäre Bauwerk mit eingebaut wird, müssen folgende Punkte zusätzlich zu den Anforderungen des übrigen Textes dieser Internationalen Norm und der Normen, die für den Entwurf und den Bau eines neuen Bauwerks maßgebend sind, in den Entwurf, die Festlegung und Bauverfahren aufgenommen werden:

- a) Bereitstellung und Überprüfung des elektrischen Stromdurchgangs der Bewehrung/des Stahls nach 7.1.
- b) Ausreichendes Sichern und ausreichender Schutz der Überwachungssensoren, von allen Kabeln/Leitungen und deren Anschlüssen, um Schäden und 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 Korrosionsschutzsystem zu vermeiden.
- d) Im Fall von einbetonierten Fremdstromanoden 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 Potentialüberwachung zwischen Anode und Bewehrung/Stahl (Kathode) muss durchgeführt werden, um beim Betonieren auftretende Kurzschlüsse erkennen zu können.

6 Komponenten des kathodischen Korrosionsschutzsystems

6.1 Allgemeines

Das kathodische Korrosionsschutzsystem muss ein Anodensystem beinhalten, 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 direkt 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 werden, dass es für dessen bestimmungsgemäße Lebensdauer in der vorgesehenen Umgebung geeignet ist.

Sowohl kathodische Fremdstrom- als auch galvanische Korrosionsschutzsysteme erfordern Vorkehrungen zur Überwachung, um die Leistungsfähigkeit und die Übereinstimmung mit dieser Internationalen Norm zu ermitteln.

ANMERKUNG Galvanische Anodensysteme können ohne Überwachungssysteme oder Verfahren zum Bestimmen ihrer Leistungsfähigkeit benutzt werden. Derartige Systeme erfüllen nicht die Anforderungen dieser Internationalen Norm.

6.2 Anodensysteme

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 eingeplanter Wartung oder Ersatz des Anodensystems oder 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 derartigen 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 würde.

Bei der Bemessung und/oder Auswahl des Anodenmaterials sind wahrscheinliche Abweichungen bei den Anforderungen an die Kathodenstromdichte, der Verteilung des Stahls, des spezifischen elektrischen Widerstands des Betons 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, 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 Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes in Beton, weil die Anoden auf der Oberfläche oder über die Oberfläche des Betons verteilt anzubringen oder im Beton einzubauen sind, um die Anforderungen an 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 Die in dieser Internationalen Norm beschriebenen Anodensysteme sind in zwei Kategorien aufgeteilt. In 6.2.1 und 6.2.2 sind Anodensysteme erfasst, die seit mindestens 5 Jahren im Einsatz sind und über die umfassende und in der Regel erfolgreiche, fortlaufende Aufzeichnungen vorliegen. Es ist nicht beabsichtigt, den Einsatz von anderen, möglicherweise neuen oder weniger erprobten Anodenmaterialien auszuschließen, weil das die notwendige und vorteilhafte Entwicklung neuer, möglicherweise verbesserter Anodenmaterialien einschränkt. Anoden sind nicht ausschließlich in Anhang C aufgeführt.

Möglicherweise werden neue und wirksame Anodenmaterialien zum kathodischen Korrosionsschutz für Stahl in Beton entwickelt. Diese Internationale Norm bezweckt nicht, deren Einsatz auszuschließen. Es wird empfohlen, dass der Einsatz jeder Anode nur dann erfolgen sollte, wenn deren Leistungsfähigkeit durch Laborprüfungen, Versuche und/oder abgeschlossene Projekte bewiesen werden kann.

Es wird vorgeschlagen, neue Anodenmaterialien zum kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in Beton vor dem kommerziellen, professionellen Einsatz harten Laborprüfungen und, wo immer es möglich ist, erweiterten und/oder beschleunigten Feldtests zu unterziehen.

ANMERKUNG 3 Es gibt ein bewährtes Prüfverfahren für die beschleunigte Lebensdauerprüfung von in Beton eingebetteten Anoden, NACE TM 0294 [12] und von Anoden mit leitfähiger Beschichtung auf organischer Basis [13].

Für den Schutz von Stahl in erdverlegten oder unter Wasser befindlichen Beton angewendete Anodensysteme sind ausführlich in den Europäischen Normen EN 12473, EN 12954, EN 12495, EN 12474 und ISO 13174 beschrieben.

6.2.1 Anodensysteme mit leitfähiger Beschichtung

6.2.1.1 Organische Beschichtungen

Diese Beschichtungen werden als Fremdstromanoden eingesetzt.

Das Anodensystem muss eine organische leitfähige Schicht (auf Basis von Lösemittel oder wasserlöslich mit Kohlenstoff als elektrischem Leiter) und eine Reihe von Zuleitungen (Primäranoden) enthalten, die an der Betonoberfläche befestigt oder in der Beschichtung eingelagert sind, damit die elektrischen Leiter den Strom innerhalb der Beschichtung verteilen können. Die Zuleitungen müssen aus einem Material bestehen, das gegen anodische Reaktionen beständig ist, z. B. platinbeschichtetes oder platiniertes Titan oder Niob, welches einen Kupferkern enthalten kann, oder mit Metallmischoxid beschichtetem Titan.

Bei der Kombination von leitfähiger Beschichtung und Primäranoden muss durch Versuche oder abgeschlossene Projekte der Nachweis erbracht werden, dass es möglich ist, die projektierte Anodenleistung zu erreichen. Der Abstand von Primäranoden innerhalb der leitfähigen Beschichtung muss so beschaffen sein, dass berechnet oder aufgezeigt werden kann, dass die Schwankungen in der Anodenstromabgabe, die dem Widerstand in der Beschichtung zwischen den Primäranoden 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 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 die Schichtdicke des Nass- und/oder Trockenfilms vorgelegt werden, mit der sich die geforderte spezifische elektrische Leitfähigkeit des Trockenfilms erreichen lässt.

Zu weiteren Informationen siehe Anhang C.

6.2.1.2 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 zum Einsatz kommen, können diese direkt auf die Bewehrung/den Stahl, sofern diese/dieser freiliegend ist, und überwiegend auf die unversehrte Betonoberfläche aufgetragen werden.

Zusammen mit thermisch gespritzten, als galvanische Anoden dienenden Metallbeschichtungen darf ein Feuchthaltemittel 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 organische Beschichtung 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 lässt.

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

Zu weiteren Informationen siehe Anhang C.

6.2.2 Aktivierte Titananodensysteme

6.2.2.1 Allgemeines

Diese Anoden werden als Fremdstromanoden verwendet.

Das Anodensystem muss aus einem Titansubstrat [14] 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 MMO/Ti-Anoden (Metallmischoxid beschichtetes Titan) oder dimensionsstabile Anoden (DAS) beschrieben.

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

ANMERKUNG 2 Ein geeignetes Prüfverfahren ist die NACE TM 0294 [12].

6.2.2.2 Oberflächeninstallation

Das aktivierte Titan muss über die Betonoberfläche verteilt, entsprechend dem Entwurf des kathodischen Schutzsystems, die Form eines Netzes oder Gitters haben. Anschlussstücke aus Titan sind durch Punktschweißen am Netz oder Gitter zu befestigen, um den Strom zu sämtlichen Bauteilen der Anode zu leiten und um die elektrischen Anschlüsse an die Anode zu ermöglichen. Wenn Anoden-/Kabel-Anschlüsse in die zementartige Überdeckung einzubauen sind, müssen sie von Typ und Einbauweise so beschaffen sein, dass sich durch Versuche oder abgeschlossene Projekte nachweisen lässt, dass es möglich ist, die projektierte Anoden- und Anoden-/Kabelanschlussleistung zu erreichen.

Bevor der Beton eingebracht wird, müssen nichtmetallische Befestigungen eingesetzt werden, um das Fixieren des Anodenmaterials auf der Betonoberfläche oder der Bewehrung/dem Stahl zu ermöglichen, und es muss sichergestellt sein, dass zwischen Anode und Bewehrung/Stahl keine Kurzschlüsse auftreten.

Zu weiteren Informationen siehe Anhang C.

6.2.2.3 Installation in Aussparungen der Betonüberdeckung

Die Anode muss entweder die Form von Titanbändern aus Vollmaterial oder von Titanmaschenbändern haben, die mit der elektrokatalytischen Ummantelung beschichtet sind und sich eignen, um in hineingeschnittenen Schlitten im Beton eingebaut zu werden, oder aus aktivierten Titanstreifen und -gittern mit nichtmetallischen Befestigungen bestehen, damit die Befestigung an freiliegender Bewehrung möglich ist, bevor die Betonüberdeckung aufgebracht wird.

Die Größe und Verteilung der Bänder oder Gitter müssen dem Entwurf des kathodischen Schutzsystems und den Anforderungen an die maximalen Anodenstromdichten genügen.

Zu weiteren Informationen siehe Anhang C.

6.2.2.4 Im Bauwerk eingebettet

Aktiviertes Titan muss nach einer der nachfolgend aufgeführten Arten in das Bauwerk eingebettet werden:

- a) Elektrokatalytisch beschichtetes Titan in Form von Bändern, Netzen, Gittern oder Röhren ist in einen Zementreparaturmörtel in in den Beton gebohrte Löcher einzubetten;
- b) Anoden gleicher Form oder platinbeschichtete Titanstäbe sind in Verbindung mit einer leitfähigen Bettungsmasse auf Graphitbasis zu verwenden;
- c) Anoden gleicher Form müssen in neue Bauwerke zur kathodischen Prävention direkt einbetoniert oder zum kathodischen Schutz nachträglich in Reparaturbeton eingebettet werden.

Ist die Bettungsmasse (z. B. Graphit) ein Bestandteil des Anodensystems, dann basiert deren Betriebsstromdichte auf den Maßen des in den Beton gebohrten Lochs, und die Anodenstromdichte in der Bettungsmasse muss dem Entwurf des kathodischen Schutzsystems entsprechen (siehe 4.3) und auf Werte begrenzt sein, sodass die Erreichbarkeit der erforderlichen Leistung von Anode, Bettungsmasse und Anoden-/Kabel-Anschluss anhand von abgeschlossenen Projekten oder Versuchen gezeigt werden kann. Bei der Verwendung von Graphit als Bettungsmaterial muss der Graphit bei der Berechnung des Mindestabstandes zwischen Anode und Bewehrung oder Anode und anderem Stahl als Anode betrachtet werden.

Zu weiteren Informationen siehe Anhang C.

6.2.3 Anoden aus Titandioxid-Keramik

Zu weiteren Informationen siehe Anhang C.

6.2.4 Leitfähige zementartige Anoden

Zu weiteren Informationen siehe Anhang C.

6.2.5 Eingebettete galvanische Anoden

Diese bestehen aus Zinkanoden in einer aktivierenden Umhüllung.

Ein Anodentyp besteht aus einer Zinkscheibe, welche in einen herstellerspezifischen aktivierenden Mörtel eingebettet ist und mit elektrischen Anschlüssen an der Bewehrung befestigt wird. Eine oder mehrere galvanische Anoden sind an der Bewehrung in einer Betoninstandsetzung angebracht. Die Anode wird korrodieren und Strom bereitstellen, welcher ausreichend für den Schutz eines Bereichs um die Instandsetzungsstelle sein kann.

Ein weiterer Anodentyp ermöglicht es, eine Reihe von Zinkanoden in Kernbohrungen im Beton, in einem herstellerspezifischen aktivierenden Mörtel, einzubetten.

Zur weiteren Information siehe Anhang C

6.2.6 Auf der Oberfläche montierte galvanische Anoden

6.2.6.1 Zinknetz in der Überdeckung

Diese Anode ist für Anwendung in von Spritzwasser und Gezeiten beeinflussten Bereichen ausgelegt. Sie besteht aus Zink-Streckmetall oder Zinknetz, das auf der vorbereiteten Betonfläche mechanisch befestigt und mit Mörtel ausgegossen wird. Es darf ein Schalungselement (oder eine Ummantelung) benutzt werden, in dem sich eine Zink-Streckmetallanode befindet, die an einem Betonpfeiler in der Spritzwasser- und Gezeitenzone befestigt ist. Diese Schalung wird mit einem zementhaltigen Mörtel gefüllt. Zinkgussanoden können unterhalb der Niedrigwasserlinie angebracht werden.

Zur weiteren Information siehe Anhang C.

6.2.6.2 Haftfähige Zinkblechanode

Es wurde ein „selbstklebendes“ Anodensystem entwickelt, das direkt auf einer vorbereiteten Betonoberfläche angebracht werden kann. Der Klebstoff ist ein Hydrogel, wie es bei Haftelektroden für die Haut bei medizinischen Anwendungen zum Einsatz kommt. Die Anode wird als Rollen aus klebstoffbeschichteter Zinkfolie geliefert und am Bauwerk befestigt. Die Rollen werden anschließend zusammengelötet und direkt mit dem Stahl verbunden.

Zur weiteren Information siehe Anhang C.

6.2.7 Erdverlegte und unter Wasser befindliche Anoden

6.2.7.1 Allgemeines

Bei Bauwerken, die entweder erdverlegt sind oder sich unter Wasser befinden, müssen die Anoden nicht zwangsläufig direkten physischen Kontakt mit dem Beton haben. Angewendet werden dürfen traditionelle Anodensysteme, wie sie beispielsweise bei kathodischen Schutzsystemen für erdverlegte und im Wasser verlegte Rohrleitungen, Tankanlagen, See- oder Meeresbauwerke usw. angewendet werden und in EN 12473, EN 12954, EN 12495 und EN 12474 beschrieben sind. In diesen Fällen befinden sich die Anoden vom Bauwerk entfernt, sind jedoch im selben Elektrolyten eingetaucht oder -gegraben, in dem das Stahlbetonbauwerk eingetaucht oder -gegraben ist.

Die Anodenzusammensetzung, -form und -lage und das Einbauverfahren sind für die verschiedenen Systeme unterschiedlich und variieren ebenso für die Bedingungen unter der Erde und im Wasser. Zu weiteren Informationen siehe Anhang C.

ANMERKUNG Die Literaturhinweise bieten zusätzliche Datenquellen für die konstruktive Ausführung und Anwendung von erdverlegten und unter Wasser befindlichen Anoden, die zur Zuführung des Stromes für den kathodischen Korrosionsschutz (oder die kathodische Prävention) zum Stahl in erdverlegten Bauwerken oder unter Wasser befindlichen Betonbauwerken angewendet werden können. [10][11]

6.2.7.2 Unter Wasser befindliche Betonbauwerke

6.2.7.2.1 Galvanische Anoden

Für unter Wasser befindliche Betonbauwerke dürfen galvanische, aus einer Aluminium-Zink-Indium-Legierung, Zink- oder Magnesiumlegierung bestehende Anoden, wie in EN 12495 beschrieben, verwendet werden. Aluminiumlegierungen eignen sich nur für die in Salzwasser herrschenden Bedingungen. In Umgebungen mit sehr geringem spezifischen elektrischen Widerstand, oder dort, wo Magnesiumlegierungen zum Einsatz kommen, muss besondere Rücksicht in Bezug auf annehmbare negative Potentialgrenzen (siehe 8.6) genommen werden.

Die Anzahl, Größe, Kapazität und der Einbauort von galvanischen Anoden hängen vom Strombedarf, dem spezifischen elektrolytischen Widerstand (Boden oder Wasser) und der Größe und Form des Bauwerks ab und müssen so bemessen sein, dass eine gleichmäßige Stromverteilung und Polarisation im Bauwerk sichergestellt ist.

Die elektrischen Anschlüsse zwischen der Anode und dem Stahl im Beton dürfen durch direktes Anschweißen von Anodenauflagern am Stahl (entweder beim Errichten des Bauwerks oder nach Freilegung des Stahls, wobei im Anschluss an das Anschweißen die entsprechenden Instandsetzungsarbeiten am Beton vorzunehmen sind) oder mit einem integrierten Anodenkabel bewerkstelligt werden, das an (einer) geeigneten Kontaktstelle(n) am Stahl befestigt ist.

6.2.7.2.2 Fremdstromanoden

Fremdstromanoden mit bewährter Leistungsbilanz für die Anwendung im Boden oder unter Wasser, dazu gehören siliciumreiches Eisen (mit Chrom in chloridhaltigen Umgebungen), mit Metallmischoxid beschichtetes Titan, platinisiertes Titan oder platinisiertes Niob, die entweder am Betonbauwerk oder in einem Abstand vom Bauwerk angebracht (als Fernanoden) sind, wie in EN 12495 beschrieben, dürfen eingesetzt werden.

Die Anzahl, Größe, Kapazität und der Einbauort von Fremdstromanoden hängen vom Strombedarf, dem spezifischen elektrolytischen Widerstand (Boden oder Wasser) und der Größe und Form des Bauwerks ab und müssen so bemessen sein, dass eine gleichmäßige Stromverteilung und Polarisation im Bauwerk sichergestellt ist.

Werden Anoden direkt am Bauwerk befestigt, kann zwischen der Anode und dem Beton eine dielektrische Schirmung erforderlich sein um zu vermeiden, dass dem Beton unmittelbar neben der Anode ein zu hoher Strom zugeführt wird, wodurch sich eine örtliche Überpolarisation ergeben könnte.

6.2.7.3 Erdverlegte Betonbauwerke

6.2.7.3.1 Galvanische Anoden

Bei erdverlegten Betonbauwerken (einschließlich Fundamenten, Lagertanks und Rohrleitungen aus Beton) können galvanische Anoden mit bewährter Leistungsbilanz für die Anwendung im Boden, bestehend aus Zink- oder Magnesiumlegierungen, wie in EN 12954 beschrieben, eingesetzt werden.

Die Anoden werden in der Regel in kurzem Abstand vom Bauwerk angeordnet und in einer geeigneten chemischen Bettungsmasse (normalerweise ein Gemisch aus Gips, Bentonit und Natriumsulfat) eingebettet.

Der elektrische Anschluss zwischen der Anode und dem im Betonbauwerk befindlichen Stahl muss über ein fest eingebautes Anodenkabel zu einer Anschlussstelle oder einem Messkasten, mit einem/einer dazugehörigen Anschlusskabel/Anschlussleitung vom im Bauwerk einbetonierten Stahl zur/zum Anschlussstelle/Messkasten erfolgen.

Die Auswahl von Zink- oder Magnesiumlegierungen hängt von den spezifischen elektrischen Widerständen des Bodens und der von den Anoden geforderten Stromabgabe ab. Bei Böden mit sehr geringem spezifischem elektrischem Widerstand oder dort, wo Magnesiumlegierungen zum Einsatz kommen, muss besondere Rücksicht in Bezug auf annehmbare negative Potentialgrenzen (siehe 8.6) genommen werden.

Die Anzahl, die Größe und der Einbauort von Anoden hängen vom Strombedarf des Bauwerks, der Bauwerksgeometrie und dem spezifischen elektrischen Widerstand des Bodens ab. Bei längs verlaufenden Bauwerken (z. B. Rohrleitungen) muss bei der Ermittlung des Anodenabstands besonders die Dämpfung entlang der Bauwerkslänge in Betracht gezogen werden.

6.2.7.3.2 Fremdstromanoden

Fremdstromanoden mit bewährter Leistungsbilanz für die Anwendung im Boden oder unter Wasser, dazu gehören siliciumreiches Eisen (mit Chrom in chloridhaltigen Umgebungen), mit Metallmischoxid beschichtetes Titan, platinisiertes Titan oder platinisiertes Niob (mit oder ohne Kupferkern), die in einer Bettung in einem Abstand vom Bauwerk, wie in EN 12954 beschrieben, angeordnet sind, dürfen eingesetzt werden. In der Regel werden die Anoden in einer leitfähigen Bettungsmasse (normalerweise gebrannter Petrolkoks) eingebettet, und sie dürfen entweder als einzelne Anoden oder als horizontal oder vertikal angelegte Anodenanlagen (Anodengruppen) gruppiert angeordnet werden.

Die Anzahl, Größe, Kapazität und der Einbauort von Fremdstromanoden und Anodenanlagen hängen vom Strombedarf des Bauwerks, der Bauwerksgröße und -geometrie und dem spezifischen elektrischen Widerstand des Bodens ab. Die konstruktive Ausführung muss die Anforderungen an das Sicherstellen einer gleichmäßigen Stromverteilung und Polarisierung über das Bauwerk sowie den verfügbaren Raum/das Recht auf Zugang berücksichtigen, wo großflächige Anodenanlagen in gewissem Abstand vom Betonbauwerk angelegt sind. Bei längs verlaufenden Bauwerken (z. B. Rohrleitungen) muss, bei der Ermittlung des Abstandes zwischen den Anodenanlagen sowie zwischen dem Bauwerk und den Anodenanlagen, besonders die Dämpfung entlang der Bauwerkslänge berücksichtigt werden.

6.3 Überwachungssensoren

6.3.1 Allgemeines

Um die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes nachzuweisen, muss ein Überwachungssystem eingebaut sein. Das Überwachungssystem muss an repräsentativen Punkten, über das gesamte Bauwerk/den gesamten zu schützenden Anodenbereich verteilt, Messstellen enthalten.

Die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzsystems muss durch Messen des Stahl/Beton-Potentials mittels Bezugsselektroden festgestellt werden.

ANMERKUNG 1 Geeignete Bezugsselektroden zur dauerhaften Einbettung in Beton sind u.a. Doppelkammer-Ag/AgCl/KCl- und Mn/MnO₂/0,5-M-NaOH-Elektroden.

ANMERKUNG 2 Andere Sensoren, wie Potentialabfall-Elektroden, Stromdichtecoupons, Makrozellmesssonden usw. dürfen ebenfalls gemeinsam mit Bezugsselektroden verwendet werden.

ANMERKUNG 3 In bestimmten Umgebungen, beispielsweise in Gegenwart von Bromiden, Iodiden oder ionisierender Strahlung können Ag/AgCl/KCl-Elektroden instabil sein. Im Fall von signifikanten Temperaturänderungen werden alle Elektroden ihr Elektrodenpotential verändern. Unter bestimmten Umständen kann es notwendig sein, lediglich Sensoren für den Potentialabfall zu verwenden.

Bezugsselektroden werden verwendet, um absolute Potentialwerte wie in 8.6 zu messen. Ihr eigenes Elektrodenpotential muss präzise und stabil bezüglich einer Standardelektrode sein.

ANMERKUNG 4 Dieses wird typischerweise in der Theorie in Bezug auf die Standard-Wasserstoff-Elektrode angegeben, im Labor jedoch häufiger gegen eine gesättigte Kalomel-Elektrode gemessen.

Bezugsselektroden müssen ein Elektrodenpotential innerhalb von ± 10 mV ihres theoretischen Werts haben und jede Charge an Bezugsselektroden muss Elektrodenpotentiale von ± 5 mV ihrer Kalibrierzertifikate haben.

Bezugsselektroden müssen bezogen auf ein Paar sauberer und sorgfältig gepflegter Labor- oder Kartierungselektroden kalibriert werden, um vor dem Einbau die Genauigkeit des vorstehend genannten Elektrodenpotentials nachzuweisen. Der Elektrodeneinbau lässt sich durch im Vorfeld in schwindfreiem Zementmörtel eingegossene Elektroden verbessern, wodurch eine gute Ankopplung zwischen dem Mörtel und der porösen Struktur der Elektrode sichergestellt wird.

Sämtliche Sensoren müssen ausreichend widerstandsfähig für die Installation und dauerhafte Beanspruchung unter hochgradig alkalischen Bedingungen sein.

Die Kabel/Leitungen und Kabel-/Leitungsanschlüsse zu Sensoren müssen vergleichbar widerstandsfähig und alkalibeständig sein und ebenfalls säurebeständig, wenn sie sich in Kontakt mit oder sehr nah am Anodensystem befinden.

6.3.2 Ortsveränderliche Bezugselektroden

Ortsveränderliche Bezugselektroden müssen Bezugselektroden sein, die so ausgeführt sind, dass sie entweder direkt auf der Betonoberfläche oder in Verbindung mit Luggin-Kapillaren verwendet werden können.

Ortsveränderliche Bezugselektroden, die direkt auf der Betonoberfläche angewendet werden, müssen einen eingebauten, aber austauschbaren Schwamm für den Kontakt mit dem Beton haben.

Örtsveränderliche Bezugselektroden müssen mit einem Kalibrierzertifikat geliefert werden und in Übereinstimmung mit den Vorgaben des Herstellers aufbewahrt, gewartet und behandelt werden. Ortsveränderliche Bezugselektroden müssen zu Beginn und am Ende jeder Anwendung auf der Baustelle gegen eine kalibrierte Labor- oder vergleichbare Standardbezugselektrode geprüft werden.

ANMERKUNG 1 Zu den geeigneten ortsveränderlichen Bezugselektroden zählen mit Gel gefüllte Doppelkammer- Ag/AgCl/0,5-M-KCl- und gesättigte Kalomel-Elektroden (nicht in Glasgehäusen) (SCE).

ANMERKUNG 2 Kalomel-Elektroden können aus gesundheitlichen und sicherheitstechnischen Gründen für den Baustellengebrauch ungeeignet sein, da sie Quecksilber enthalten. Cu/gesättigte CuSO₄-Elektroden (CSE) sind zur Verwendung auf Betonoberflächen wegen des hohen Risikos signifikanter Fehler nicht zu empfehlen, die auftreten können, falls Kupfersulfat auf die Betonoberfläche tropft. [15]

6.3.3 Andere Sensoren

6.3.3.1 Sensoren für den Potentialabfall

Sensoren für den Potentialabfall dürfen nicht eingesetzt werden, um das absolute Stahl/Beton-Potential [wie in 8.6 a) festgelegt] oder den Langzeitpotentialabfall über 24 h hinaus zu bestimmen.

ANMERKUNG 1 Sensoren für den Potentialabfall sind Sensoren, die eine Messung des Stahl/Beton-Potentials ermöglichen; sie haben jedoch keine umkehrbare Stabilität ihres eigenen Halbzellenpotentials, um als Bezugselektrode eingestuft zu werden. Sie dürfen verwendet werden, um die Potentialänderung (beim „Ein- und Ausschalten“) über eine begrenzte Zeitdauer, in der Regel höchstens 24 h, zu bestimmen.

ANMERKUNG 2 Zur dauerhaften Einbettung in Beton geeignete Sensoren für den Potentialabfall beinhalten Graphit und aktiviertes Titan.

6.3.3.2 Coupons und Makrozellensensoren

Coupons und Makrozellen sind optionale zusätzliche Überwachungssensoren

Verwendete Coupons und Makrozellsonden müssen aus Stahl mit vergleichbarer Zusammensetzung hergestellt sein wie der Bewehrungsstahl des Bauwerks und müssen entweder so stabil hergestellt sein, dass sie sich für den permanenten Einbau im Beton eignen, oder durch Isolieren und Instrumentieren bestehender, bereits eingebauter Bewehrung, konstruiert werden.

Makrozellsonden müssen in chloridreichen Mörtelzylinder eingebettet werden. Der Chloridgehalt der Zylinder (bezogen auf die Zementmasse) muss mindestens fünfmal höher sein als der mittlere Chloridgehalt des Bauwerkbetons (bezogen auf die Zementmasse) und den maximalen Chloridgehalt in Höhe der Bewehrung übersteigen.

Stromdichte-Coupons oder Makrozellsonden dürfen verwendet werden, um die lokale Stromdichte auf der Stahlkathode abzuschätzen; für diesen Verwendungszweck muss die Oberfläche des Coupons bekannt sein.

ANMERKUNG Makrozellenmesssonden können ebenfalls eingesetzt werden um zu bestätigen, dass lokal aktive Korrosionsstellen („kritische Punkte“) ausreichend Strom vom kathodischen Korrosionsschutzsystem erhalten, um die Korrosion unter Kontrolle zu halten. Das wird durch eine Umkehrung des Nettostromflusses zwischen den Makrozellen und der Hauptbewehrung angezeigt, nachdem das kathodische Korrosionsschutzsystem eingeschaltet wurde.

6.3.3.3 Luggin-Kapillaren (Elektrolytbrücke)

Luggin-Kapillaren müssen ein ionisch leitfähiges Medium innerhalb eines starren oder halbstarren Isoliermaterials enthalten. Alle Materialien müssen zur dauerhaften Einbettung im Beton geeignet sein und vor dem vollständigen Austrocknen geschützt werden.

ANMERKUNG Luggin-Kapillaren oder ähnliche Geräte können genutzt werden, um die Potentialbestimmung am einbetonierten Stahl tief im Innern eines Bauwerks mit einer tragbaren Bezugsselektrode zu ermöglichen.

6.4 Kontrollmessgeräte

6.4.1 Allgemeines

Kontrollmessgeräte sind für die Abfrage der Überwachungssensoren zu verwenden, die eingebaut wurden, um die Wirksamkeit des kathodischen Schutzsystems und den Betriebszustand der Gleichspannungsquelle zu ermitteln.

ANMERKUNG Kontrollmessgeräte können manuelle Geräte, mobile Datenerfassungsgeräte oder dauerhaft installierte Datenerfassungsgeräte sein. Grundsätzlich werden Messgeräte benötigt, um Gleichspannungen zu messen. Wenn Messcoupons oder Makrozellenmesssonden eingebaut oder andere Messungen benötigt werden, ist eine weitere Spezialausrüstung erforderlich.

Alle Messgeräte müssen in Übereinstimmung mit den entsprechenden nationalen oder Europäischen Normen, die sich auf elektronische Geräte und Messausrüstungen beziehen, hergestellt sein und müssen mit gültigen Kalibrierzertifikaten versehen sein. Alle Geräte müssen in Übereinstimmung mit den Herstellerempfehlungen gehandhabt, eingebaut, in Betrieb genommen und betrieben werden.

6.4.2 Digitale Messgeräte

Spannungsmessgeräte für Messsensoren und Gleichspannungsquellen müssen eine Mindestauflösung von 1 mV, eine Genauigkeit von ± 1 mV oder besser und eine Eingangsimpedanz von mindestens 10 M Ω haben.

Analoge Messgeräte dürfen nicht verwendet werden.

Der Stromfluss zwischen den Coupons oder Makrozellsonden und der Bewehrung muss mit einem Nullwiderstandsamperemeter oder einem anderen geeigneten Gerät mit einer derartigen Genauigkeit und Auflösung gemessen werden, dass der Strom mit einer Genauigkeit von besser als ± 1 % des Messwertes gemessen werden kann.

ANMERKUNG Abhängig von der Größe des Coupons oder der Makrozellsonde und deren Umgebung können die Ströme zwischen einigen zehn Mikroampere bis zu Hunderten von Milliampere liegen.

6.4.3 Datenerfassungsgeräte

6.4.3.1 Allgemeines

Datenerfassungsgeräte müssen einen geeigneten Mehrkanaleingang oder einen Kanalwahlschalter besitzen, damit alle ausgewählten Kanäle gemessen und aufgezeichnet werden können.

Datenerfassungsgeräte müssen mit einer Echtzeituhr arbeiten, die an alle Messeinheiten angeschlossen sein muss. Datenerfassungsgeräte müssen eine Eingangsimpedanz von mindestens 10 M Ω und eine Auflösung von mindestens 1 mV in einem Messbereich von mindestens 2 000 mV sowie eine Genauigkeit von ± 5 mV oder besser haben.

Die Datenerfassungsgeräte müssen mit einer Software ausgestattet sein, die eine Identifizierung der Messstellen, Sensoren, Gleichstromsysteme, Anodenbereiche usw. ermöglicht.

ANMERKUNG Datenerfassungsgeräte können angewendet werden, um Daten sowohl von den Sensoren als auch von den Gleichspannungsquellen zusammenzutragen. Datenerfassungsgeräte dürfen sowohl tragbar als auch dauerhaft installiert sein.

6.4.3.2 Ortsveränderliche Datenerfassungsgeräte

Ortsveränderliche Datenerfassungsgeräte müssen sich für grobe Handhabung und zeitweilige Belastungen unter Baustellenbedingungen eignen. Der Anschluss von ortsveränderlichen Datenerfassungsgeräten an Messkästen, Gleichspannungsquellen usw. muss mit geeigneten Anschlüssen und entsprechenden Kabeln/Leitungen erfolgen.

6.4.3.3 Dauerhaft installierte Datenerfassungsgeräte

Dauerhaft installierte Datenerfassungsgeräte müssen, wie in 6.7 und 6.9 beschrieben, in einem Gehäuse angeordnet sein, das für das Baustellenumfeld und die dort herrschenden Klimabedingungen geeignet ist.

Dauerhaft installierte Datenerfassungsgeräte müssen durch Festverdrahtung mit den entsprechenden Sensoren, Gleichspannungsquellen usw. verbunden sein. Die Kabelanschlüsse der Messgeräte müssen den in 6.6 beschriebenen Festlegungen entsprechen.

ANMERKUNG 1 Dauerhaft installierte Datenerfassungsgeräte können unabhängig, an einem Netzwerk oder über Modem, betrieben werden. Die Stromversorgung kann entweder durch das Wechselstromnetz oder falls zutreffend über Netzkabel erfolgen.

Die Einbindung in ein Netzwerk muss den betreffenden nationalen oder Europäischen Normen und den Empfehlungen des Netzwerkherstellers entsprechen.

Jedes dauerhaft installierte Datenerfassungsgerät muss eine eindeutige Identifizierungskennnummer besitzen.

ANMERKUNG 2 Dauerhaft installierte Datenerfassungsgeräte können entweder als aktive oder als passive Systeme arbeiten. Bei passiven Datenerfassungsgeräten werden die Daten nur nach Anweisung durch einen Systemsteuerer erfasst. Bei aktiven Datenerfassungsgeräten kann die Datenerfassung für ausgewählte Zeiträume programmiert werden. Es können entweder alle Daten oder eine Zusammenfassung (z. B. Mittelwert, Höchstwert, Mindestwert, Standardabweichung, über einen ausgewählten Zeitraum) der Daten auf Anforderung oder automatisch übermittelt werden.

Es wird empfohlen, den entweder direkt oder über ein Netzwerk erfolgenden Zugang zu dauerhaft installierten Datenerfassungssystemen mindestens mit einem benutzerdefinierten Passwort zu schützen, um den unbefugten Zugang zum Computersystem zu verhindern. In Abhängigkeit von der Lage des eingebauten Netzwerks sollten industriell eingesetzte Protokolle der Datenübertragungssicherheit und Kommunikation in Betracht gezogen werden.

6.5 Datenverwaltungssystem

Es muss ein Datenverwaltungssystem vorgesehen sein, um die aus dem kathodischen Korrosionsschutzsystem hervorgehenden Leistungsdaten zusammenzustellen, zu ordnen, zu sortieren und darzustellen.

ANMERKUNG 1 Das kann entweder ein manuell gehandhabtes (Papier-)System, ein computergestütztes Datenverwaltungssystem oder eine Kombination aus beiden sein.

Dieses System muss mindestens folgende Daten erfassen:

- a) Anordnung und Aufteilung des Anodenbereichs;
- b) Typ und Lage des Sensors;
- c) Bemessung der Gleichstromeinheit;
- d) anfängliche Sensorablesungen (vor Inbetriebnahme);
- e) Inbetriebnahmedaten;

- f) seit der Inbetriebnahme erhaltene Sensordaten (in Zeitabschnitten entsprechend Abschnitt 10);
- g) Ausgangsdaten zur Gleichspannungsversorgung seit Inbetriebnahme;
- h) Ereignisbericht (d. h. Prüfdaten, Änderungen im Systembetrieb usw.).

Die erhaltenen und aufgezeichneten Sensordaten müssen den gewählten und in 8.6 angegebenen Leistungskriterien entsprechen und ausreichen, um deren Einhaltung zu beurteilen.

Computerbasierte Datenverwaltungssysteme müssen mit umfassender Dokumentation bereitgestellt werden. Möglichkeiten zur automatischen Datensicherung und -archivierung müssen integriert sein.

Das System muss in der Lage sein, Daten oder Informationen sowohl in tabellarischer als auch in graphischer Form zu liefern.

ANMERKUNG 2 Es dürfen auch überlagerte Daten in Schaubildern (Layoutskizzen) verwendet werden.

Das System muss in der Lage sein, auf Anfrage Datenpunkte außerhalb von voreingestellten (anwenderdefinierbaren) Grenzwerten zu erkennen.

6.6 Gleichspannungskabel/-leitungen

Einadrige Kabel/Leitungen müssen entsprechend ihrer Funktion farbcodiert sein.

ANMERKUNG 1 Folgende Farben werden bevorzugt:

- a) Braun (oder als Alternative Rot) vom positiven Pol der Gleichspannungsquelle zur Anode/zum Kabelanschluss;
- b) Schwarz (oder als Alternative Grau) vom negativen Pol der Gleichspannungsquelle zum Bewehrungsstahl/Kabelanschluss;
- c) Grau (oder als Alternative Schwarz) für das Überwachungskabel (Bewehrungsanschluss zur Überwachung).

ANMERKUNG 2 Kabel vom negativen Pol der Gleichspannungsquelle und Überwachungskabel dürfen die gleiche Farbe haben, wenn sie von unterschiedlicher Größe sind.

- d) Blau für Bezugselektrodenkabel [nicht Rot oder Schwarz];
- e) Gelb oder andere Farben (nicht Braun, Rot, Grau, Schwarz oder Blau) für sonstige Überwachungssensoren.

Mehradrige Kabel/Leitungen müssen farb- oder nummerncodiert sein.

Alle Kabel/Leitungen sind in Anschlusskästen und an ihren Anschlusspunkten zu Überwachungs- und Stromversorgungseinrichtungen zu kennzeichnen. Die Kennzeichnung ist mit anlagenpezifischen Kabelbezeichnungen vorzunehmen, und die Identifizierung muss in jedem Anschlusskasten, jeder Überwachungseinheit und jeder Stromversorgungsanlage in allen Einzelheiten erfolgen (d. h. jeder Code muss erklärt werden). Die Identifizierung und die Kabelkennfarben müssen auf den Bauzeichnungen und in den Handbüchern (siehe 9.2) umfassend dokumentiert sein.

Kabel/Leitungen müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- 1) soweit den höchsten Umgebungstemperaturen angemessen, den vorgesehenen Betriebsstrom +25 %, innerhalb von zulässigen, nach IEC 60502-1, erlaubten Temperaturanstiegen führen;
- 2) den Spannungsabfall bei 125 % des vorgesehenen Höchststroms im Stromkreis des kathodischen Korrosionsschutzsystems auf einen Wert begrenzen, der mit der Ausgangsspannung der Stromversorgung und den Anforderungen an die Anoden-/Kathodenspannung kompatibel ist und für eine gleichmäßige Stromverteilung über die Zone sorgen.

Die Anodenstromdichte in der Zone muss an allen Stellen der Zone mit Abweichungen kleiner 10 % der Nennstromdichte der Anode gleichförmig sein; Kabel- und Anodenspannungsabfälle sollten so berechnet und ausgelegt werden, dass diese Gleichförmigkeit sichergestellt ist.

Aus mechanischen Gründen müssen die Kabeladern von in Beton eingebetteten oder in Installationsrohren oder Kabelkanälen eingekapselten mehradrigen Kabeln folgende Mindestquerschnitte haben:

- positive und negative Zuleitung der Gleichspannungsquelle 1,0 mm²;
- Überwachungskabel 0,5 mm²;
- Datennetzwerk Netzwerknormen entsprechend.

Beim Einsatz von einadrigen Kabeln muss aus mechanischen Gründen der Mindestquerschnitt der Ader 2,5 mm² betragen.

Alle Kabeladern müssen mindestens sieben Litzen besitzen.

Alle Kabel müssen mindestens eine Isolierschicht und eine Ummantelungsschicht besitzen, die der IEC 60502-1 entsprechen müssen. Bei der Auswahl von Isolierung und Ummantelung müssen die beabsichtigte Installation und die funktionstechnischen Anforderungen in ausreichender Weise berücksichtigt werden. Kabel, die in Kontakt mit dem Anodenmaterial eingebaut werden sollen, müssen sich für eine Langzeitbeanspruchung unter sauren Bedingungen, üblicherweise pH-Wert = 2 eignen, und diejenigen, die in Beton einzubauen sind, müssen sich für eine Langzeitbeanspruchung unter alkalischen Bedingungen, typischerweise pH-Wert = 13, eignen.

ANMERKUNG 3 Kabel mit Isolierungen oder Ummantelungen aus Polyvinyl Chlorid (PVC), Ethylen Propylen Rubber (EPR), Chlorsulfat Polyethylen (CSP) oder anderen Kautschukarten sind wahrscheinlich ungeeignet für den Langzeiteinsatz bei einem pH-Wert im Bereich von 2 bis 13. Kabel mit Isolierungen und Ummantelungen aus XLPE sind wahrscheinlich geeignet für den Langzeiteinsatz. Die Isolierung mit Materialien sehr hoher Chemikalienbeständigkeit, wie z. B. Kynar, darf in Betracht gezogen werden, doch weisen sie Nachteile in Form hoher Kosten und einer Neigung zur Rissbildung bei geringen Temperaturen auf und erfordern besondere Sorgfalt bei hohen Mindestbiegeradien.

6.7 Anschlusskästen

Anschlusskästen müssen nach IEC 60529 und IEC 62262 bemessen sein, um den entsprechenden Schutz vor Umwelteinflüssen sicherzustellen, wobei die Art der Anschlüsse, die in den Anschlusskästen herzustellen sind, und die ungünstigsten äußeren Umweltbedingungen sowie mechanischen Beanspruchungen, denen der Anschlusskasten ausgesetzt ist, berücksichtigt werden müssen.

Es wird empfohlen, dass alle Anschlusskästen aus nichtmetallischen Werkstoffen bestehen und der IEC 60529, Klassifizierung IP 66 oder besser, entsprechen sollten, sofern sie äußeren Umweltbedingungen ausgesetzt sind.

6.8 Stromversorgungen

Wenn Netzspannung genutzt wird, muss der Gleichstromanschluss durch einen Transformator-Gleichrichter oder einen Schaltnetzteil-Gleichrichter bereitgestellt werden.

ANMERKUNG Andere Versorgungsarten wie Diesel-, Wind- oder Turbinengeneratoren dürfen angewendet werden, um Wechselspannung als Versorgung eines Transformator-Gleichrichters zu erzeugen. Geregelte Gleichspannungsquellen können direkt durch thermoelektrische oder mit Solarenergie betriebene Generatoren erzeugt werden, oder es können Wind- oder Turbinengeneratoren mit Gleichrichtung angewendet werden, um für eine Versorgung mit in Abständen geladenen Batteriesystemen zu sorgen, die den Strom zu den Gleichstromreglern führen.

Alle Stromversorgungseinrichtungen müssen konstruktiv entsprechend den betreffenden nationalen oder Europäischen Normen zur Elektronik und Messgeräteausstattung ausgeführt und mit einem gültigen Kalibrierzertifikat versehen sein. Alle Geräte müssen in Übereinstimmung mit den Herstellerempfehlungen gehandhabt, eingebaut, in Betrieb genommen und betrieben werden.

Stromversorgungseinrichtungen dürfen mit Überwachungs- und Kommunikationseinrichtungen zusammengeschlossen sein (siehe 6.4), um die Fernüberwachung der Leistungsparameter der Gleichspannungsversorgung und der Leistungsfähigkeit des kathodischen Korrosionsschutzsystems (siehe 8.6) zu ermöglichen. Dieses integrierte Überwachungs- und Stromversorgungssystem kann auch zur Fernüberwachung der Ausgangsleistung der Gleichspannungsversorgung dienen.

6.9 Transformator-Gleichrichter

Der Transformator-Gleichrichter muss stufenlos einstellbar sein, über ein eigenes Gehäuse verfügen und für die Umgebung, in der er arbeiten soll, geeignet sein.

Das Gerät muss in einem stabilen, je nach Bedarf für Wand- oder Bodeneinbau geeigneten Gehäuse eingebaut sein. Das Gehäuse muss entsprechend IEC 60529 gegen ungünstigste Umgebungsbedingungen Schutz bieten.

Der Wechselstromeingang muss in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Stromversorgers sowie nationalen und/oder Europäischen Normen abschaltbar sein.

ANMERKUNG Beispielsweise über eine entsprechend bemessene, zweipolige, mit Neutralleiter verbundene Trennsicherung oder über einen Leistungsschalter und eine Fehlerstromschutzeinrichtung.

Der Haupttransformator muss ein Trenntransformator nach IEC 61558-1, IEC 61558-2-1, IEC 61558-2-2 und IEC 61558-2-4 sein, der stufenlos einstellbar und für den Anschluss an eine Niederspannungs-Wechselstromversorgung geeignet ist. Die Ausgangsspannung des Transformator-Gleichrichters darf 50 V Gleichspannung nicht überschreiten, und die Restwelligkeit darf maximal 100 mV (RMS) mit einer Mindestfrequenz von 100 Hz betragen.

Geräte, die nicht mit den relevanten Teilen der IEC 61558 übereinstimmen, weil umwelt- oder einsatztechnisch ein Betrieb oberhalb einer Umgebungstemperatur von 30 °C oder der Einsatz einer Öl- oder Zwangsluftkühlung gefordert wird, müssen in allen übrigen Aspekten mit IEC 61558-1, IEC 61558-2-1, IEC 61558-2-2 und IEC 61558-2-4 übereinstimmen. Geräte, die Spartransformatoren verwenden, müssen mit IEC 61558-2-13 übereinstimmen, und Geräte, die Schaltnetzteile verwenden, müssen mit IEC 61558-2-16 übereinstimmen.

Der Gleichrichter muss nach den betreffenden nationalen oder Internationalen Normen mit einem geeigneten Überspannungsschutz (Gleich- und Wechselspannung) ausgestattet sein. Gleichrichter müssen für Dauerbetrieb bei den festgelegten Ausgangsleistungen mit einer Spitzensperrspannung von mindestens 600 V bemessen sein. Varistoren müssen mit den Werten der Spitzensperrspannung des Gleichrichters kompatibel sein. Die Gleichstromkreise müssen von denen jeglicher anderer Systeme getrennt sein (z. B. eingespeiste Wechselstromversorgung). Bei kathodischen Korrosionsschutzsystemen, die an für Personen oder Tiere zugänglichen Stellen untergebracht sind, an denen keine Schutzmaßnahmen getroffen wurden, wie z. B. Absperrungen, Hindernisse oder elektrische Isolierung, darf die Ausgangsspannung vom Transformator-Gleichrichter 24 V Gleichspannung nicht überschreiten, wobei die Restwelligkeit höchstens 100 mV (RMS) betragen darf. Das gilt besonders für kathodische Schutzsysteme für Stahlbetonbauwerke und -gebäude, bei denen Anodensysteme mit leitfähiger Beschichtung zum Einsatz kommen.

Die Ausgangsleistung muss stufenlos ($< 0,1\%$ des Gesamtbereichs) hinsichtlich konstanter Spannung, konstanten Stroms oder potentiostatisch von Null bis zur vollen Nennleistung regelbar sein.

Ein Gleichstromrelaissystem zur Unterbrechung des Ausgangs muss vorhanden sein, um die Messung des Ausschaltpotentials zu ermöglichen [siehe 8.6 a)].

ANMERKUNG 1 Es dürfen Einrichtungen vorhanden sein, die dieses System mit den Steuersignalen aus dem Datenerfassungssystem verbinden.

Für die Ermittlung folgender Kenngrößen müssen Vorrichtungen installiert werden, die es ermöglichen, tragbare Messeinheiten zu verwenden:

- a) Ausgangsspannungen;
- b) Ausgangsstromstärken (durch den Spannungsabfall über einem Shunt-Widerstand, mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5 \%$ oder besser);
- c) Stahl-/Beton-Potential bezüglich der Referenzelektroden.

ANMERKUNG 2 Angewendet werden dürfen Einrichtungen zur Messung des

- i) Stahl-/Beton-Potentials bezüglich Sensoren für den Potentialabfall;
- ii) Messcoupon- oder Sensor-/Bewehrungsstromes.

Die Funktion und Bemessung aller Steckerbuchsen und der Multiplikationsfaktor aller Shunt-Widerstände müssen eindeutig gekennzeichnet sein. Alle Sicherungen müssen mit der Bezeichnung des zugehörigen Stromkreises und den Sicherungscharakteristika beschriftet sein.

ANMERKUNG 3 Für die Erfassung der unter a) bis c) geforderten Messgrößen dürfen festinstallierte Digitalmessgeräte benutzt werden. Regelmäßige Überprüfungen der Kalibrierung sind notwendig.

Für Kabelverbindungen müssen mindestens ein positiver und ein negativer Anschluss vorhanden sein. Alle Ausgangsklemmen müssen von sämtlichen Metallteilen im Innern des Gehäuses isoliert sein.

Die Anschlüsse müssen eindeutig gekennzeichnet sein:

z. B. mit „+ ANODE“ und „– STAHL“.

Es wird empfohlen, dass die positiven und die negativen Anschlussklemmen von unterschiedlicher Größe sein sollten, damit die Vertauschung der Kabel ausgeschlossen ist.

Zur Anzeige, dass sich die Wechselstromversorgung in der Stellung „Ein“ und die Gleichstromversorgung in der Stellung „In Betrieb“ befindet, müssen LEDs (lichtemittierende Dioden) oder andere Anzeigemittel verwendet werden.

Bei Einrichtungen mit Mehrfach-Transformator-Gleichrichtern oder mehreren Kanälen muss jeder einzelne Transformator-Gleichrichter und jeder Kanal vollständig gekennzeichnet werden und den Anforderungen dieses Unterabschnitts entsprechen.

Im Herstellerwerk müssen Prüfungen durchgeführt werden um nachzuweisen, dass die Einrichtungen die Anforderungen funktionstechnisch vollständig erfüllen und gebrauchstauglich sind. Die Prüfungen sind unter realen bauwerksähnlichen Bedingungen durchzuführen, und die Ergebnisse müssen umfassend dokumentiert werden und einen Bestandteil der laufenden Aufzeichnungen der Arbeiten bilden.

Alle elektrischen Prüfungen müssen unter Berücksichtigung der Vorschriften der entsprechenden nationalen oder Europäischen Normen ausgeführt werden.

7 Installationsverfahren

7.1 Elektrischer Stromdurchgang

Sofern keine alternativen Prüfverfahren und -kriterien bei der Auslegung ausgewählt wurden, muss der elektrische Stromdurchgang zwischen den Bewehrungsstäben oder Stahlelementen im Beton durch eine Gleichstromwiderstandsmessung mit anschließender Polaritätsumkehr der Prüflleitungen oder durch Messung der Potentialdifferenz nach Gleichstrompolarisation geprüft werden. Die Abnahmekriterien für derartige Prüfungen sind stabile Messwerte und ein Widerstand von weniger als $1,0\ \Omega$. Sämtlicher Stahl, der bei Betoninstandsetzungsarbeiten oder anderen Arbeiten freigelegt wurde, muss hinsichtlich des Stromdurchgangs geprüft werden, und jeder Bewehrungsstab oder jedes Stahlelement, der/das die Prüfung nicht besteht, muss elektrisch leitend verbunden werden, um einen Langzeitwiderstand von $1,0\ \Omega$ oder weniger sicherzustellen. An zusätzlichen repräsentativen Orten in jeder Einheit oder in jedem abgetrennten Teil des Bauwerks müssen ausreichend viele Bewehrungsstäbe oder sonstige eingebettete Stahlelemente freigelegt und an ausgewählten Stellen geprüft werden, um das allgemeine Maß des elektrischen Stromdurchgangs der Bewehrung/des Stahls zu bestimmen.

Alternativ dazu darf ein Potentialmessverfahren mit einer ortsfesten Bezugsselektrode angewendet werden, um das Stahl/Beton-Elektrodenpotential bei Anschluss an einen Bewehrungsstab oder ein Stahlelement zu messen und dann, ohne Ortsveränderung der Bezugsselektrode, einen Anschluss an einen anderen Stahlstab oder ein anderes -element vorzunehmen. Als Abnahmekriterien gelten stabile Potentialmessergebnisse mit einer Differenz von weniger als 1 mV bei Anschluss an die beiden Stahlstäbe oder -elemente.

Die Prüfung des Stromdurchgangs und der Verbindung sind je nach Erfordernis auf jeglichen Stahl anzuwenden, der während Betoninstandsetzungsarbeiten freigelegt wird.

Die Ergebnisse der Stromdurchgangsprüfungen, alle verfügbaren Konstruktionszeichnungen, die Beschaffenheit des Bauwerks und dessen Konstruktion müssen beurteilt werden um festzustellen, ob zusätzliche(r) Bewehrung/Stahl für Prüfungen freigelegt und möglicherweise leitend verbunden werden sollte.

Alle zusätzlichen Stahlteile, die am Betonbauwerk befestigt oder ein Bestandteil dessen sind (z.B. einbetonierte Stahlträger, Auflager, Entwässerungsrohre), müssen entweder wie vorstehend beschrieben auf Stromdurchgang geprüft und, falls nötig, elektrisch leitend verbunden oder nach 7.3 verbunden werden.

Elektrischer Kontakt zwischen der Bewehrung bzw. zusätzlichen Stahlteilen und dem Anodensystem jedes kathodischen Fremdstrom-Korrosionsschutzsystems muss vermieden werden.

Beachtet werden sollten die Lage, die Beseitigung oder Isolierung von Stahlteilen in der Oberfläche des Betons, besonders wenn leitfähige Beschichtungen (einschließlich leitfähiger Überdeckungen oder Fremdstrom durch gespritzten Zink) als Anode zu verwenden sind. Ein Kontakt zwischen Fremdstromanode und derartigem Stahl verursacht entweder Kurzschlüsse zwischen Anode und Bewehrung, wodurch ein Ausfall dieser kathodischen Schutzzone herbeigeführt wird, oder die Korrosion des von der Kathode elektrisch getrennten Stahls.

7.2 System zur Leistungsüberwachung

Jede Zone des kathodischen Fremdstrom-Korrosionsschutzsystems oder repräsentative Bereiche bei Systemen mit galvanischen Anoden muss/müssen mit den notwendigen Einrichtungen ausgestattet sein, um die Ausgangsspannung und -stromstärke der Energieversorgung sowie das Stahl/Beton-Potential mit mindestens zwei Bezugsselektroden (6.3.1) zu überwachen, die dauerhaft an repräsentativen Orten eingebettet sind.

ANMERKUNG 1 Jede Zone darf auch mit Sensoren für den Potentialabfall zur Überwachung des Potentialabfalls, Korrosionscoupons zum Messen der Anoden- oder Kathodenstromdichte auf Teilen der Bewehrung/des Stahls oder mit anderen Möglichkeiten der Messung oder Beurteilung der Korrosionsgeschwindigkeit oder des Umfangs des kathodischen Korrosionsschutzes ausgestattet sein. Das Datenerfassungssystem darf ein manuelles System, ein elektronisches Datenerfassungssystem und/oder ein elektronisches Datenübertragungssystem sein.

Das dauerhaft installierte System zur Leistungsüberwachung muss so platziert werden, dass repräsentative Daten in üblichen Zeitintervallen entsprechend Abschnitt 10 beurteilt werden können.

ANMERKUNG 2 Diese Beurteilungen dürfen durch manuelle Datenerfassung, Datenaufzeichnung mit tragbarer Erfassungseinrichtung oder dauerhaft installierte, örtlich vernetzte/mit einem Modem verbundene Datenerfassungssysteme erfolgen.

Der Umfang und die Aufstellungsorte des dauerhaft installierten Leistungsbewertungssystems müssen dem Entwurf entsprechen. Die behandelten Bereiche müssen Folgendes enthalten:

- a) hohe Wahrscheinlichkeit von Korrosion oder Unterschut;
- b) hohe Wahrscheinlichkeit von Überschutz;
- c) hohe(s) Korrosionsrisiko oder -aktivität.

ANMERKUNG 3 Die Daten von dauerhaft installierten Bezugsselektroden, Messcoupons oder anderen Sensoren oder deren Leistung werden beim Einbau in oder in der Nähe von Betoninstandsetzungsarbeiten mit Bewehrung oder anderem einbetonierten Stahl wahrscheinlich nachteilig beeinflusst oder sind nicht mehr repräsentativ.

Bezugsselektroden und andere Sensoren dürfen nicht in oder in der Nähe von instandgesetztem Beton untergebracht sein, außer es gibt keine anderen Unterbringungsmöglichkeiten. In der Nähe des Sensors muss der den Stahl umgebende Beton unverändert bleiben. Typischerweise sollten Bezugsselektroden, wenn möglich, mindestens 500 mm von Stahl enthaltendem instandgesetztem Beton entfernt angeordnet werden.

Dauerhaft installierte Bezugsselektroden und andere Sensoren, die vor der Installation kalibriert werden können, müssen kalibriert werden.

7.3 Anschlüsse zum Stahl im Beton

Jede Zone des kathodischen Korrosionsschutzsystems muss im Hinblick auf dauerhaft installierte oder mobile Elektroden mit mehreren negativen Anschlüssen über Kabel (mindestens zwei) zur Bewehrung/zum Stahl für den kathodischen Schutzstrom und mindestens einem Prüfanschluss zur Bewehrung/zum Stahl für die Messung von Stahl/Beton-Potentialen versehen sein.

Der elektrische Stromdurchgang zwischen sämtlichen negativen Anschlüssen und Prüfanschlüssen jeder einzelnen Zone muss geprüft werden und 1,0 Ω oder weniger betragen. Wird diese Anforderung anfangs nicht erfüllt, muss die Bewehrung/der Stahl nach 7.1 zusätzlich für die Prüfung und leitende Verbindung freigelegt werden.

ANMERKUNG Entsprechend der jeweiligen konstruktiven Ausführung kann ein Stromdurchgang zwischen negativen Anschlüssen verschiedener Zonen des kathodischen Korrosionsschutzsystems erforderlich sein.

Die Kabelanschlüsse zur Bewehrung und zum Stahl müssen durch Verfahrensweisen hergestellt sein, die einen Langzeitwiderstand von Kabel/Bewehrung oder Stahl von weniger als 0,01 Ω sicherstellen.

7.4 Instandsetzungsarbeiten am Beton im Zusammenhang mit Komponenten des kathodischen Schutzsystems

Alle Instandsetzungsarbeiten am Beton im Zusammenhang mit der Installation von Elektroden des Leistungsüberwachungssystems, anderen Sensoren und den Anschlüssen zum Stahl im Beton müssen mit Verfahren und Materialien nach Abschnitt 5 und EN 1504 vorgenommen werden.

7.5 Oberflächenvorbereitung zur Anodeninstallation

Die Betonoberflächen, die für die Installation von Anodenmaterial vorgesehen sind, z. B. leitfähige Beschichtungen oder aktiviertes Titannetz in einer zementartigen Überdeckung, müssen so vorbereitet werden, dass mindestens eine saubere Oberfläche, welche frei von losen Bestandteilen ist, sichergestellt wird und die Adhäsion zwischen Untergrund und Überdeckung 5.11 entspricht. [siehe EN 1504].

Leitfähige Beschichtungen für kathodischen Korrosionsschutz erfordern im Allgemeinen wenig Vorbehandlung, um einen maximalen Kontakt zum Zementstein und minimale Exposition der Gesteinskörnung sicherzustellen und sollten der Produktspezifikation für die Beschichtung und der Spezifikation für das kathodische Korrosionsschutzsystem entsprechen.

Anoden zum Schutz von Stahl in erdverlegtem oder unter Wasser befindlichem Beton können selbst erdverlegt oder unter Wasser eingebaut sein und sie können sich entsprechend EN 12473, EN 12954, EN 12495 und EN 12474 relativ weit entfernt vom Bauwerk befinden. Bei diesen Anwendungen erfordert die Betonoberfläche keine Oberflächenvorbehandlung. Für die Sichtprüfung und zur Bestätigung, dass keine Beschichtungen oder wasserdichte Schutzfolien auf der Betonoberfläche vorhanden sind, die den Durchgang des kathodischen Schutzstromes zu dem im Beton befindlichen Stahl behindern, können jedoch Ausschachtungen erforderlich sein.

7.6 Anodeneinbau

Das Anodensystem muss mit Verfahren und unter kontrollierten Umgebungsbedingungen eingebaut werden, welche, durch Versuche oder abgeschlossene Projekte belegbar, die erforderliche Anodenleistung ermöglichen. Das Anodensystem ist in Übereinstimmung mit den Konstruktionsunterlagen oder der Installationsspezifikation einzubauen.

Bei Fremdstromsystemen erfordert die Vermeidung von Kurzschlüssen, die zwischen dem Anodensystem und dem Bewehrungsstahl, zusätzlichen metallischen Einbauteilen, Bewehrungsbindedraht oder dem im Beton verbliebenem Stahl auftreten können, besondere Aufmerksamkeit.

Nach der Aufbringung leitfähiger Beschichtungen oder einer zementartigen Überdeckung oder bei Anwendung eingebetteter Anoden müssen die atmosphärischen Bedingungen und die Betonoberflächen bei Temperaturen und Luftfeuchte oder -feuchtegraden gehalten werden, die notwendig sind, um ordnungsgemäße/s/n Abbinden, Lösemittelverlust/Wasserverdunstung der Anode und/oder der Überdeckung sicherzustellen.

Vor der Aufbringung jeglicher Überdeckung sowie von abdichtenden oder dekorativen Beschichtungen über den Anodensystemen müssen der Anoden-/Kathoden-Widerstand und der Potentialunterschied gemessen werden um festzustellen, ob Kürzschlüsse aufgetreten sind, und sofern das der Fall ist, müssen diese im Falle von Fremdstromsystemen oder galvanischen Systemen oder Anodenbereichen, die zu Überwachungszwecken eine Isolierung erfordern, festgestellt und vor jeglichen weiteren Arbeiten beseitigt werden.

7.7 Anschlüsse zum Anodensystem

Jede Zone des kathodischen Fremdstrom-Korrosionsschutzsystems muss mit mehreren positiven Kabel-/Anodenanschlüssen versehen sein, damit ein Versagen eines Anoden-/Kabel-Anschlusses die Leistung des kathodischen Korrosionsschutzsystems in diesem Bereich nicht signifikant beeinträchtigt.

Das Versagen eines Anoden-/Kabel-Anschlusses in einer Zone sollte die örtliche Anodenstromdichte an keiner Stelle innerhalb der Zone um mehr als 10 % der Nennstromdichte der Anode verringern; Anoden-/Kabel-Anschlüsse sollten so ausgeführt und angeordnet und Kabel- und Anodenspannungsabfälle auch so bemessen sein, dass eine derartige Gleichförmigkeit gesichert ist.

Das Anoden-/Kabel-Anschlusssystem (oder die Verbindung Anode zur Bewehrung bei Anwendungen mit galvanischen Anoden) muss von einer Art sein und nach solchen Qualitätsanforderungen eingebaut werden, dass sich durch Versuche oder abgeschlossene Projekte belegen lässt, dass die erforderliche Anoden- sowie Anoden-/Kabel-Anschlussleistung erreichbar ist.

In jeder einzelnen Zone muss der elektrische Widerstand aller Anoden-/Kabel-Anschlüsse geprüft und mit den berechneten Werten für den speziellen Anodentyp und die Anordnung der Anoden verglichen werden. Die ermittelten Daten müssen hinsichtlich der Notwendigkeit zusätzlicher Prüfungen oder zusätzlicher Anoden-/Kabel-Anschlüsse beurteilt werden.

Eine vollständige (100 %ige) Sichtprüfung des Anodensystems, einschließlich jeglicher zugehöriger Kabel und Kabelanschlüsse, muss vor dem Aufbringen jeglicher Beschichtung oder Überdeckung durchgeführt werden.

7.8 Anodenüberdeckung, oberflächenabdichtende oder dekorative Beschichtung

Jede notwendige Anodenüberdeckung, oberflächenabdichtende oder dekorative Beschichtung muss unter kontrollierten Bedingungen durch Verfahren aufgebracht werden, welche auf der Grundlage von Versuchen oder abgeschlossenen Projekten nachweislich dazu geeignet sind, die erforderliche Anoden- sowie Überdeckungs-, Abdichtungs- oder Beschichtungsleistung zu erreichen, und sie muss entsprechend den Konstruktionsunterlagen oder den Installationsspezifikationen eingebaut werden.

Bei kathodischen Schutzsystemen mit Anodensystemen wie in 6.2.2.2 umrissen muss im Anschluss an die in 5.10 festgelegte Instandsetzung und die Anodeninstallation nach 7.5, 7.6 und 7.7 eine zementartige Überdeckung über den entsprechenden eingebauten Anodentypen aufgebracht werden. Sämtliche Materialien und Aufbringungsverfahren müssen EN 1504 entsprechen. Die mittlere Verbundfestigkeit zwischen dem vorhandenen Beton und der Überdeckung muss größer sein als 1,5 MPa und der Mindestwert muss größer sein als 1,0 MPa oder die Bruchfläche muss nach der Prüfung im vorhandenen Beton liegen. Das Aufbringen der Überdeckung darf mit der Betoninstandsetzung (5.10) kombiniert werden.

ANMERKUNG 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.

7.9 Elektroinstallation

Alle Arbeiten bei der Elektroinstallation müssen in Übereinstimmung mit Internationalen (oder anderen geltenden nationalen) Normen zur elektrischen Sicherheit erfolgen.

ANMERKUNG 1 Die elektrische Stromversorgung des kathodischen Korrosionsschutzsystems darf mit Transformator-Gleichrichtern erfolgen, welche wiederum mit Netzspannung versorgt werden.

ANMERKUNG 2 Die Gleichspannungs- und Überwachungskabel/-leitungen eines kathodischen Korrosionsschutzsystems sind insgesamt als „Kleinspannung“ (ELV) nach IEC 61140 eingestuft.

Zusätzlich zu den besonderen Anforderungen des kathodischen Korrosionsschutzsystems müssen folgende elektrische Sicherheitsgrundsätze bei allen Installationsarbeiten eingehalten werden:

- a) Netzspannungskabel müssen elektrisch isoliert und entsprechend den lokal geltenden Vorschriften von Gleichstrom-Niederspannungskabeln getrennt sein.
- b) Die Kabel müssen an der Gleichstromquelle, an jedem Anschlusskasten und an deren Anschlusspunkten eindeutig gekennzeichnet sein.
- c) Die Kabel müssen hinreichend befestigt und vor Beschädigungen durch Umwelteinflüsse, Mensch und Tier geschützt sein.

ANMERKUNG 3 An Orten mit hoher Beschädigungsgefahr dürfen Kabel/Leitungen einbetoniert oder mit Stahldrahtbewehrung geschützt werden.

- d) Ausgenommen bei Kabelanschlüssen nach Punkt f) dürfen Kabelanschlüsse nur im Gehäuse oder in Anschlusskästen ausgeführt werden.