



## RTD 1029 Eisen aan kathodische bescherming voor waterbouwkundige staalconstructies

### Standaard technisch kaderdocument

Versie	1.2
Datum vastgesteld	6 november 2020
Status	Definitief
ID Werkwijzer AenO	6012





## Colofon

Titel	RTD 1029 Eisen aan kathodische bescherming voor waterbouwkundige staalconstructies
Verantwoordelijke afdeling	RWS [GPO/TTM/TNK]
Proces / proceseigenaar	AenO / Jean Luc Beguin
Inhoudelijk Beheerders	Carolien Nieuwland Joost Gulikers
Informatie	<a href="mailto:loketkunstwerken@rws.nl">loketkunstwerken@rws.nl</a> .

Datum	6 november 2020
Status	Definitief
Versienummer	1.2
Vervangen versie	nvt
Datum vervangen versie	nvt

WW RWS Nummer	6012
---------------	------

### DISCLAIMER/AANSPRAKELIJKHEID

Bij het opstellen en samenstellen van deze RTD is een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht. Desondanks moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten, onvolkomenheden en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Voor ieder gebruik van deze uitgave wordt er van uit gegaan dat de gebruiker voldoende kennis van zaken, ervaring en deskundigheid bezit om oordeelkundig en kritisch met deze RTD om te gaan. Rijkswaterstaat is niet verantwoordelijk en aansprakelijk voor onjuist en/of ondeskundig gebruik van deze RTD.

Vragen, opmerkingen en suggesties ten aanzien van de inhoud van deze RTD kunnen worden gecommuniceerd via [loketkunstwerken@rws.nl](mailto:loketkunstwerken@rws.nl).

## Voorwoord

Kathodische bescherming is een elektrochemische methode om corrosie van metalen in een elektrolyt (meestal water) tegen te gaan. Kathodische bescherming kan ook worden toegepast in combinatie met een organische coating.

Dit Rijkswaterstaat Technisch Document (RTD) geeft de eisen voor kathodische bescherming van oppervlakken van waterbouwkundige staalconstructies en daarbij behorende metalen delen die zich permanent of gedurende een aanzienlijke tijd onder water bevinden. Deze RTD behandelt geen kathodische bescherming op staalconstructies in contact met of in de grond.

Kathodische bescherming wordt verkregen door continu voldoende gelijkstroom naar oppervlakken van te beschermen staalconstructies te sturen, waardoor de staal-elektrolyt potentiaal wordt verlaagd naar waarden waarbij de corrosiesnelheid verwaarloosbaar is.

NEN-EN-ISO 13174 heeft kathodische bescherming van haveninstallaties (en overige waterbouwkundige constructies) als toepassingsgebied en de bepalingen in deze norm zijn als basis voor deze RTD gebruikt. De gehanteerde indeling in deze RTD komt grotendeels overeen met de indeling in NEN-EN-ISO 13174.

LET OP: De gebruikte nummering in deze RTD komt niet overeen met die van NEN-EN-ISO 13174.

De toepassingsgebieden met betrekking tot saliniteit zijn in vergelijking met NEN-EN-ISO 13174 wat specifiek gericht op Nederlandse omstandigheden. In deze RTD is met name wat meer nuancering aangebracht in het spectrum "brak".

Verder is NEN-EN-ISO 13174 niet van toepassing op de bescherming van interne delen, zoals afgesloten ballastcompartimenten in sluisdeuren en de binnenzijde van drijvende constructies. In deze RTD worden voor dergelijke interne staaloppervlakken specifieke aanvullende eisen gesteld.

Deze RTD definieert de methoden en middelen die gebruikt dienen te worden om een duurzame, effectieve en efficiënte kathodische bescherming te verkrijgen van waterbouwkundige staalconstructies zoals stuwten, sluisdeuren, meerpalen, boeien en pontons.

Deze RTD dient gebruikt te worden voor die toepassingen waarbij anoden zich in het water of in de bodem bevinden met als doel waterzijdige oppervlakken te beschermen. Deze RTD is niet van toepassing op de bescherming van:

- droge constructies, zoals pijpleidingen in de grond of grondzijden van damwanden.
- constructies op zee, zoals offshore constructies of varende schepen.

Voor onderwerpen en aspecten waarin deze RTD niet voorziet, gelden de betreffende clausules in de vigerende richtlijnen en Europese normen.

## Inhoud

	<b>Voorwoord</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Algemeen</b>	<b>7</b>
	1.1 Onderwerp en toepassingsgebied	7
	1.2 Termen en definities	7
<b>2</b>	<b>Overzicht normatieve verwijzingen</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Competentie van personeel</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Ontwerpeisen</b>	<b>15</b>
	4.1 Doel van een kb-systeem	15
	4.2 Kathodische beschermingscriteria	16
	4.3 Ontwerpparameters (op te nemen in het ontwerpdocument)	16
<b>4.3.1</b>	<b>Algemeen</b>	<b>16</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Onderverdeling van de constructie</b>	<b>17</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Beschrijving van een kb-zone</b>	<b>17</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Beschrijving van de ontwerpcondities</b>	<b>17</b>
	4.4 Benodigde stroomsterkte	17
<b>4.4.1</b>	<b>Algemeen</b>	<b>17</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Aan te houden stroomdichtheid voor kaal staal</b>	<b>17</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Benodigde stroomdichtheid voor een gecoat staaloppervlak</b>	<b>18</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Benodigde beschermstroom</b>	<b>19</b>
	4.5 KB-systemen	19
<b>4.5.1</b>	<b>Opofferanoden</b>	<b>20</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Opedrukte stroomsysteem</b>	<b>20</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Algemeen</b>	<b>20</b>
	4.6 Elektrische continuïteit	20
	4.7 Interacties met andere constructies (ook met schepen)	21
<b>5</b>	<b>Systemen met opgedrukte stroom</b>	<b>22</b>
	5.1 Doel	22
	5.2 Ontwerpeisen	22
	5.3 Keuze van de toe te passen apparatuur	22
<b>5.3.1</b>	<b>Gelijkstroombron</b>	<b>22</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Anoden</b>	<b>23</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Diëlektrische schilden</b>	<b>23</b>
<b>5.3.4</b>	<b>Referentie-elektroden</b>	<b>23</b>
<b>5.3.5</b>	<b>Kabels en aansluitingen</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>Opofferanoden</b>	<b>25</b>
	6.1 Doel	25
	6.2 Ontwerp	25
	6.3 Anodematerialen	25
	6.4 Locaties van de anoden	26

6.5	Installatie	26
<b>6.5.1</b>	<b>Elektrische continuïteit</b>	<b>26</b>
<b>6.5.2</b>	<b>Installatie van anoden</b>	<b>26</b>
<b>6.5.3</b>	<b>Testen</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Inbedrijfstelling, bediening en onderhoud door opdrachtnemer</b>	<b>28</b>
7.1	Doel	28
7.2	Inbedrijfstelling van systemen met opofferingsanoden	28
7.3	Inbedrijfstelling van een systeem met opgedrukte stroom	28
<b>7.3.1</b>	<b>Visuele inspectie</b>	<b>28</b>
<b>7.3.2</b>	<b>Metingen voor activering</b>	<b>28</b>
<b>7.3.3</b>	<b>Activering</b>	<b>29</b>
<b>7.3.4</b>	<b>Prestatiebeoordeling</b>	<b>29</b>
<b>7.3.5</b>	<b>Testen van negatieve effecten op andere constructies</b>	<b>29</b>
7.4	Bediening en onderhoud	29
<b>7.4.1</b>	<b>Opofferingsanoden</b>	<b>30</b>
<b>7.4.2</b>	<b>Opgedrukte stroomsystemen</b>	<b>30</b>
<b>8</b>	<b>Documentatie</b>	<b>31</b>
8.1	Opleverdossier	31
8.2	Opgedrukte stroomsystemen	31
8.3	Opofferingsanoden	31
<b>Bijlage 1</b>	<b>Richtlijnen voor de berekening van de capaciteit van KB-systemen.</b>	<b>32</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Richtlijnen voor de berekening van anoden (weerstand, stroomafgifte en levensduur)</b>	<b>35</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Richtlijnen voor eigenschappen van anodematerialen voor kb-systemen met opgedrukte stroom</b>	<b>39</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Richtlijnen voor eisen aan opofferingsanoden</b>	<b>40</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Omrekeningsfactoren referentie-elektroden voor saliniteit</b>	<b>45</b>

# 1 Algemeen

## 1.1 Onderwerp en toepassingsgebied

Kathodische bescherming (kb) op staalconstructies in beheer van RWS, die zijn geëxposeerd aan zoet, brak of zout water.

Gangbare staalconstructies waarbij kb toegepast kan worden, zijn: sluisdeuren, schuiven, damwanden, combiwanden, buispalen, afmeerconstructies, anti-aanvaringsconstructies, nautische geleideconstructies, afmeerpontons, boeien en aan deze constructies bevestigde ladders, kettingen en andere hulpconstructies.

Voor besloten ruimten, zoals ballasttanks, biedt het toepassen van alleen een coating reeds voldoende bescherming tegen corrosie. Dit is in de praktijk de meest effectieve en economische oplossing. In besloten ruimten kan het gebruik van kb tot problemen leiden; zie Bijlage 1.d.

## 1.2 Termen en definities

In deze RTD worden een aantal termen en definities gebruikt. Voor de uniformiteit worden de termen weergegeven, zoals die ook in NEN-EN-ISO 13174 en andere corrosie gerelateerde normen of literatuur worden gebruikt.

De Engelse termen worden weergegeven met daarbij de onofficiële Nederlands vertaling en betekenissen.

### 1.2.1 *ALWC - Accelerated Low Water Corrosion* (**Versnelde Laagwater Corrosie**)

Lokale corrosie, die meestal aan de waterzijde en net onder laagste astronomische tij niveau optreedt, maar ook dieper mogelijk is. Opmerking: ALWC wordt meestal geassocieerd met Microbiologisch Geïnduceerde Corrosie (MIC). Zonder kb kunnen daarbij eenzijdige corrosiesnelheden van meer dan 2mm/jaar optreden (zie ook CIRIA C634).

### 1.2.2 *Acidity* (**Zuurgraad**)

Aanwezigheid van een overschot aan waterstofionen t.o.v. hydroxyl ionen (pH <7).

### 1.2.3 *Anaerobic condition* (**Anaerobe omstandigheden**)

Afwezigheid van vrije zuurstof die in het elektrolyt is opgelost.

### 1.2.4 *Anode* (**Anode**)

Bij toepassing van kb is de anode een afzonderlijke elektrode die in de elektrolyt, op enige afstand van het te beschermen metaaloppervlak, is geplaatst.

In andere omstandigheden, zonder kb, is de anode een locatie op een metaaloppervlak waar oxidatiereacties plaatsvinden. Bij vrije corrosie van staal is dit een locatie waar ijzerionen in oplossing gaan en negatief geladen elektronen in het metaaloppervlak achterblijven.

### 1.2.5 *Atmospheric zone* (**Atmosferische zone**)

Zone boven de splash zone. Dit betreft het oppervlak dat niet door normale golfslag wordt bereikt, zowel bij vaste als bij bewegende constructies.

### 1.2.6 *BEM/FEM analysis* (**GEM/EEM**)

Grenselement Methode/Eindige-elementenmethode. EEM heeft betrekking op numerieke rekenmethoden waarmee partiële differentiaal-vergelijkingen en integraalvergelijkingen kunnen worden opgelost. GEM heeft betrekking op numerieke rekenmethoden voor het oplossen van lineaire partiële differentiaal-vergelijkingen die zijn geformuleerd als integraalvergelijkingen (grensintegraalvorm)

### 1.2.7 *Brackish water* (**Brak water**)

Water met een saliniteit die lager is dan dat van zeewater (zie de Tabel in Bijlage 1).

### 1.2.8 *Buried zone* (**Bodemzone**)

Zone onder het bodemniveau, die zich bevindt in modder of in aangevulde grond.

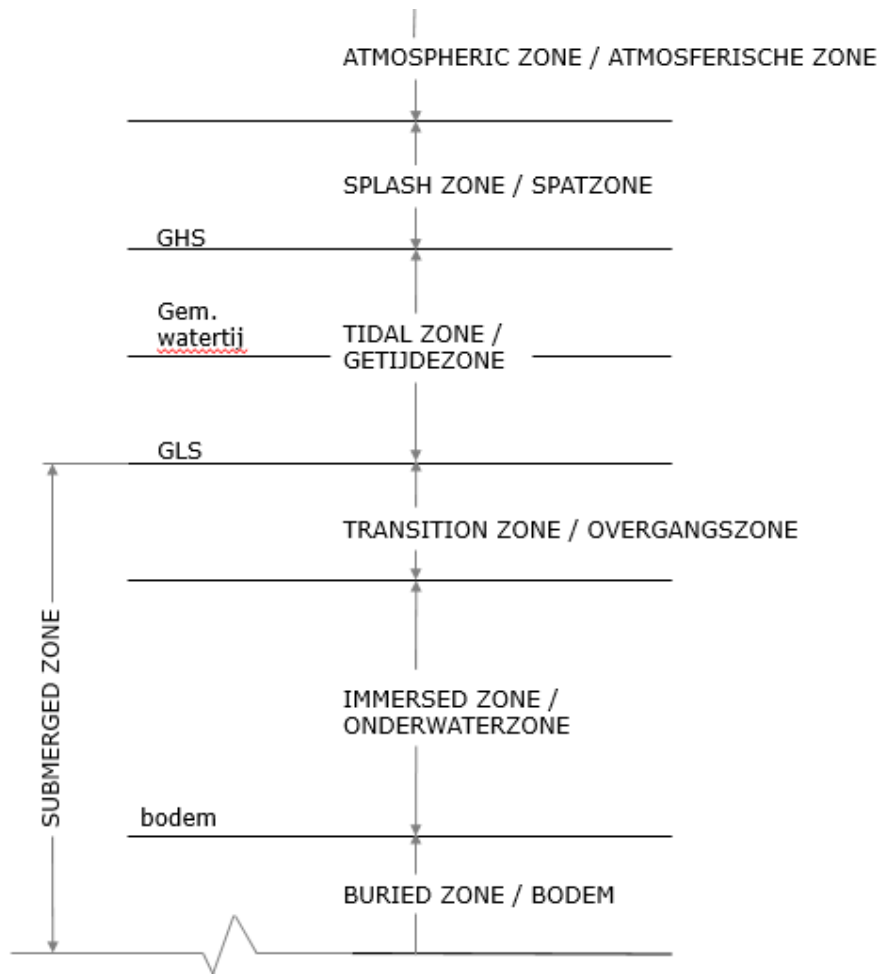
- 1.2.9 *Cathode* (**Kathode**)  
Bij toepassing van kb wordt onder kathode het te beschermen oppervlak verstaan. NB Eigen definitie. In andere omstandigheden, zonder kb, is de kathode de locatie op een metaaloppervlak waar reductiereacties plaatsvinden. Bij vrije corrosie van staal is dit een locatie waar elektronen worden geconsumeerd door elektrochemische reacties met het omringende elektrolyt.
- 1.2.10 *Cathodic disbondment* (**Kathodische onthechting**)  
Falen van de hechting tussen een coating en een metaaloppervlak, als gevolg van de toepassing van kb.
- 1.2.11 *Cathodic protection system* (**Kathodisch beschermingssysteem**)  
De volledige installatie die kathodische bescherming levert. In dit document aangeduid als: kb-systeem.
- 1.2.12 *Cathodic protection zone* (**Kathodisch beschermde zone**)  
Dat deel van de constructie dat als een onafhankelijk geheel kan worden beschouwd in het ontwerp van een kathodische beschermingsinstallatie.
- 1.2.13 *Coating breakdown factor* (**Coating verouderingsfactor**)  
Verhouding van de benodigde kathodische stroomdichtheid voor een gecoat metalen oppervlak ten opzichte van de benodigde stroomdichtheid voor een ongecoat oppervlak.
- 1.2.14 *Copper/copper sulphate reference electrode (Cu/CUSO<sub>4</sub>)* (**Koper/kopersulfaat referentie elektrode**)  
Referentie elektrode bestaande uit koper in een verzadigde oplossing van kopersulfaat.
- 1.2.15 *Deep well anode* (**Diep gelegen anode**)  
Een anode die op een afstand van het te beschermen metaaloppervlak in een put of geboord gat wordt geplaatst om een betere verdeling van de stroom over een groter oppervlak, te verkrijgen. Zie ook: Groundbed anode.
- 1.2.16 *Dielectric shield* (**Diëlektrisch schild**)  
Alkalibestendige organische coating, glasvezel versterkte kunststof of geprefabriceerde plastic of elastomere plaat, die bij toepassing van opgedrukte stroom wordt aangebracht tussen de te beschermen constructie en de anoden om de verdeling van de beschermstroom over het staaloppervlak te verbeteren en het risico van schade door waterstofontwikkeling aan de constructie in de directe omgeving van de anode te verkleinen.
- 1.2.17 *Driving voltage* (**Aandrijfspanning**)  
Het verschil tussen de metaal/elektrolyt potentiaal en de anode/elektrolyt potentiaal bij een in bedrijf zijnde kb-installatie.
- 1.2.18 *Electrolyte* (**Elektrolyt**)  
Chemische verbindingen die in een waterige oplossing geheel of gedeeltelijk in ionen zijn gesplitst, waardoor de vloeistof elektrische stroom kan geleiden. Opmerking: bij toepassing van kb op waterbouwkundige constructies wordt met elektrolyt het water bedoeld dat in contact staat met zowel het te beschermen metaaloppervlak als met de anoden. In zeewater zijn aanmerkelijk meer ionen opgelost en derhalve zal het geleidingsvermogen veel hoger zijn dan dat van brak of van zoet water.
- 1.2.19 *Flush-mounted anode* (**Op kleine afstand gemonteerde anode**)  
Anode waarvan de kortste afstand tussen het anode-oppervlak en de te beschermen constructie 15 cm of minder is. NB Eigen definitie.



- 1.2.20 *Groundbed (Grondbed)* Systeem van in water ondergedompelde of volledig in grond gelegen anoden, verbonden met een positieve aansluiting van een stroombron dat wordt gebruikt om een kathodische beschermstroom te sturen naar een te beschermen constructie.
- 1.2.21 *GHS (Gemiddelde Hoogwater Springtij)*
- 1.2.22 *Immersed zone (Onderwater- of immersiezone)*  
Zone tussen het bodemlijn en het wateroppervlak bij normale operationele condities.
- 1.2.23 *Insert (Ingietdeel)*  
Het stalen deel dat in een opofferingsanode wordt ingegoten, waarmee de anode wordt bevestigd aan het te beschermen object.
- 1.2.24 *GLS (Gemiddelde Laagwater Springtij)*
- 1.2.25 *Master reference electrode (Hoofd referentie-elektrode)*  
Referentie-elektrode, gekalibreerd met de primaire kalibratie referentie elektrode, die wordt toegepast voor het ijken van de elektrodes die in het veld worden gebruikt.
- 1.2.26 *MTL / MSL / MWL Mean Water Level (Gemiddeld watertij)*
- 1.2.27 *MIC/microbial corrosion (Microbiologische corrosie)*  
Microbiologisch geïnduceerde Corrosie
- 1.2.28 *Opdrachtnemer*  
De partij aan wie het werk is opgedragen; dit heeft betrekking op de hoofdaannemer, onderaannemer, ontwerper, installateur of toeleverancier of andere betrokken partijen.
- 1.2.29 *Piling (Kerende wand)*  
Kerende wand bestaande uit buizen en/of damwanden of andere profielen die deel uitmaken van een havenconstructie.
- 1.2.30 *Primary calibration reference electrode (Primaire kalibratie referentie-elektrode)*  
Referentie elektrode die wordt gebruikt voor de kalibratie van de hoofd referentie-elektrode. De standaard waterstofelektrode.
- 1.2.31 *Protection current (Beschermstroom)*  
Een stroom die in een metalen constructie intreedt vanuit een elektrolyt, voor de kathodische bescherming van de constructie.
- 1.2.32 *Reference electrode (Referentie-elektrode)*  
Een elektrode met een stabiele en reproduceerbare potentiaal, in de praktijk gebruikt voor het meten van de potentialen van het beschermde staaloppervlak.
- 1.2.33 *Resistivity (of an electrolyte) (Soortelijke weerstand van een elektrolyt)*  
De elektrische weerstand in een elektrolyt over een specifieke dwarsdoorsnede en over een bepaalde afstand. De specifieke weerstand wordt uitgedrukt in Ohm·meter [ $\Omega\text{m}$ ].
- 1.2.34 *SCE/Saturated calomel reference electrode (Verzadigde calomel referentie electrode)*  
Een referentie elektrode bestaande uit kwik en kwikchloride in een verzadigde oplossing van kaliumchloride (KCl).
- 1.2.35 *Silver/Silverchloride reference electrode (Ag/AgCl) (Zilver/Zilverchloride referentie electrode).*  
Referentie-elektrode van zilver/zilverchloride in een elektrolyt waarin een bekende concentratie chloride-ionen is opgelost.  
Ag/AgCl/KCl referentie-elektroden worden vaak als hoofdreferentie elektrodes gebruikt en in laboratoria toegepast. Voor gebruik in het veld worden meestal Ag/AgCl – zeewater

elektroden gebruikt. Er zijn verschillende concentraties mogelijk: bijvoorbeeld 0,5 M en 2,0 M.

- 1.2.36 *Stand-off anode* (**Op afstand gemonteerde anode**)  
Een anode waarvan de afstand tussen het anodemateriaal en de constructie minimaal 15 cm bedraagt.
- 1.2.37 *Splash zone* (**Spatzone**)  
Gedeelte van een constructie dat wisselend nat en droog is ten gevolge van golfslag.
- 1.2.38 *Stray currents* (**Zwerfstromen**)  
Elektrische stromen die een ander dan gepland pad volgen.
- 1.2.39 *Structure to electrolyte potential*. (**Metaal-elektrolyt potentiaal**)  
Verskil in potentiaal tussen een constructie en een specifieke referentie-elektrode, gemeten dicht bij het metaaloppervlak (zonder hiermee fysiek contact te hebben), om foutmetingen door spanningsval in het elektrolyt te beperken.
- 1.2.40 *Submerged zone* (**Onderwaterzone**)  
Gehele zone bestaande uit de gedeelten in de bodem en in het water inclusief het onderste deel van de getijzone tot aan gemiddelde watertijd zie figuur 1.
- 1.2.41 *Sulphate reducing bacteria/SRB* (**Sulfaat reducerende bacteria**)  
Een groep bacteriën die meestal worden gevonden in de bodem en natuurlijk water en die actief zijn in anaerobe condities door opgeloste sulfaten te reduceren. Hierbij worden sulfiden geproduceerd waardoor het corrosieproces van constructiematerialen wordt versneld.
- 1.2.42 *Transition zone* (**Overgangzone**)  
Zone onder gemiddeld laagwater springtij inclusief variaties of onnauwkeurigheden in het niveau van installeren; deze zone heeft een hoger zuurstofgehalte ten gevolge van golven en getijden.
- 1.2.43 *Zinc reference electrode* (**Zink referentie-elektrode**)  
Een referentie-elektrode bestaande uit puur zink of een zinklegering (zoals gebruikt voor anoden) in contact met het elektrolyt waarin de metingen plaatsvinden.
- 1.2.44 *Sea water* (**Zeewater**)  
Water met een saliniteit (zoutgehalte), zoals aangegeven in Tabel 4 in Bijlage 1.



Figuur 1 Schematische weergave van niveaus en zones in een zeewater omgeving

## 2 Overzicht normatieve verwijzingen

Voor het opstellen van deze RTD is gebruik gemaakt van een aantal normatieve documenten.

In een aantal situaties wordt in deze RTD expliciet naar deze documenten verwezen. Indien naar een van deze documenten wordt verwezen, dan wordt de laatste vigerende versie bedoeld.

Voor onderwerpen en aspecten waarvoor in deze RTD geen bepalingen zijn opgenomen, geldt dat de in Tabel 1 genoemde normen en richtlijnen van toepassing zijn. Bij (tegen-) strijdigheden prevaleert de prioriteitsvolgorde uit Tabel 1.

Documentnummer	Prioriteit	Titel en toelichting
NEN-EN-ISO 13174	1	Cathodic protection of harbour installations
NEN-EN-ISO 12499		Internal cathodic protection of metallic structures
NEN-EN 12496		Galvanic anodes for cathodic protection in seawater and saline mud
NEN-EN 12473		Algemene grondslagen voor de kathodische bescherming in zeewater
NEN-EN 12954		Kathodische bescherming van metalen constructie in de grond of in het water. Algemene principes en toepassing van pijpleidingen.
NEN-EN 13509		Cathodic protection measurement techniques
NEN-EN 50162		Bescherming tegen corrosie door zwerfstromen uit gelijkspanningssystemen
NEN-EN-ISO 8501-1		Voorbehandeling van staal voor het aanbrengen van verven en aanverwante producten – Visuele beoordeling van oppervlaktereinheid-Deel 1: Voorbehandeling voor roest van niet-bekleed staal en van staal na verwijdering van voorgaande deklagen
NEN-EN-ISO 15257		CP Competence levels and certification of c.p. personnel
NEN-EN-ISO 15711		Verven en vernissen - Bepaling van de weerstand tegen kathodische onthechting van deklagen blootgesteld aan een zeewatermilieu
NEN-EN 16222		Kathodische bescherming van schepen
NEN-EN-ISO 12994-9		Verven en vernissen - Bescherming van staalconstructies tegen corrosie door middel van beschermende verfsystemen - Deel 9: Beschermende verfsystemen en laboratoriumprestatietesten voor buitengaatse en gerelateerde constructies
ISO 10474		Steel and steel products-Inspection documents
NEN-EN 14505		Kathodische bescherming van complexe constructies
DNVGL-RP-B-401	2	Cathodic Protection Design
DNV-GL-CG-0288		Corrosion Protection of Ships
NACE TM0106		Detection, Testing and Evaluation of Microbiologically Influenced Corrosion (MIC) on External Surfaces of Buried Pipelines.

Documentnummer	Prioriteit	Titel en toelichting
NACE SP 0169		Control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems
NACE TM 0101		Measurement Techniques related to criteria for cathodic protection of underground storage tank systems
NACE 24235		One Hundred Millivolt (mV) Cathodic Polarization Criterion
NACE SP 0387		Metallurgical and inspection requirements for cast galvanic anodes for offshore applications
NACE TM 0212		Detection, Testing and Evaluation of MIC on Internal Surfaces of Pipelines
SPE-179919-MS		Proposal of Improved Biomonitoring Standard for Purpose of MIC Risk Assessment.
EN 10204		Producten van metaal – Soorten keuringsdocumenten
CIRIA C634		Management of accelerated low water corrosion in steel maritime structures

Tabel 1 Van toepassing zijnde normen en richtlijnen

### 3 Competentie van personeel

Personen die verantwoordelijk zijn voor het ontwerp, toezicht op installatie-werkzaamheden, inbedrijfstelling, toezicht op het gebruik, uitvoeren van metingen en monitoring of onderhoud van kathodische beschermingsystemen dienen een daartoe voldoende competentieniveau te bezitten. NB Het vereiste competentieniveau is afhankelijk van de aard van de werkzaamheden.

De voor de betreffende werkzaamheden vereiste competentie dient gedocumenteerd te zijn en door een onafhankelijke instantie te zijn vastgesteld, conform NEN-EN-ISO 15257. In Nederland is de organisatie van opleidingen en certificeringen volgens deze norm nog niet voldoende gerealiseerd, daarom wordt er een overgangperiode voor de duur van 5 jaren (tot 1 januari 2025) onder de volgende condities aangehouden:

- De bestaande kwalificaties, zullen volgens Tabel C.1 van de NEN-EN-ISO 15257 equivalent geacht worden met de vereiste competentie niveaus.
- Tabel 4 van de NEN-EN-ISO 15257 "Specific tasks for marine metallic structures application sector" (Specifieke taken voor de diverse niveaus van competentie in de maritieme metalen constructies) zal worden toegepast.
- De kennis en ervaring zal worden gebaseerd op het aantoonbaar bezitten van de kennis volgens Tabel 1 "Knowledge required for all competence levels and all application sectors" van NEN-EN-ISO 15257.
- De taakindeling volgens Tabel 2 van NEN-EN-ISO 15257 zal van toepassing zijn voor de diverse niveaus van competentie.
- De competentieniveaus, zoals beschreven in hoofdstuk 4 van NEN-EN-ISO 15257, zijn van toepassing, waarbij de ontwerper minimaal niveau 5 bezit en de installateur minimaal niveau 3.

## 4 Ontwerpeisen

Er dient een ontwerpdocument te worden opgesteld, waarbij met onderstaande rekening is gehouden.

### 4.1 Doel van een kb-systeem

Het doel van een kb-systeem is het leveren van voldoende elektrische stroom naar elk deel van de te beschermen constructie en de daarbij behorende onderdelen met een zodanige ruimtelijke verdeling van deze beschermstroom, dat de metaal/elektrolyt potentialen van elk deel van de constructie binnen de limieten zijn en blijven van de beschermingscriteria (zie 4.2).

Er bestaan 2 methoden waarmee de benodigde beschermstroom kan worden opgewekt:

- a) Opofferingsanoden, waarbij de stroom wordt opgewekt door toepassing van opofferanodes die in de betreffende elektrolyt van nature een negatievere potentiaal bezitten dan het te beschermen metaal. Voor de bescherming van staal in zeewater kunnen dit anoden zijn van magnesium, aluminium of zink.
- b) Opgedrukte stroom systemen, waarbij de gelijkstroom meestal wordt geproduceerd door een wisselstroom via een gelijkrichter om te zetten waarna deze gelijkstroom via anoden naar de constructie wordt geleid. Deze anoden kunnen bestaan uit relatief inerte materialen, bijvoorbeeld geplatineerd titanium of Mixed Metal Oxide (MMO).

In de praktijk kan ook een combinatie van deze 2 methoden worden gebruikt, een zogeheten hybride systeem.

Een kb-systeem kan worden gecombineerd met een coating systeem op het te beschermen oppervlak.

Diëlektrische schilden kunnen worden gebruikt in combinatie met anoden, met name bij opgedrukte stroom systemen, waardoor het risico van overbescherming wordt vermindert en de stroomverdeling over de te beschermen constructie wordt verbeterd.

De kwaliteit van de componenten van een kb-systeem dient zo gekozen te worden dat de levensduur van het kb-systeem bij voorkeur gelijk is aan de levensduur van de te beschermen constructie of een periode tussen groot onderhoud, waarbij de volgende minimumperiode wordt aangehouden:

- voor opofferingsanoden in zeewater tenminste 25 jaar, tenzij in het contract anders is overeengekomen.
- Bij toepassing van opofferanoden in licht brak of nagenoeg zoet water kan een levensduur langer dan 25 jaar worden aangehouden, omdat in deze elektrolyten de consumptiesnelheid vaak dermate laag is dat er anders geen robuuste anoden op een economische wijze kunnen worden vervaardigd.
- een systeem met opgedrukte stroom tenminste 50 jaar, waarbij onderdelen met een levensduur korter dan 50 jaar een minimale levensduur van 15 jaar hebben en op een efficiënte en economische wijze vervangen kunnen worden.

Voor sluisdeuren en eenvoudig te demonteren onderdelen mag, na overleg met de beheerder en verkregen toestemming van de opdrachtgever, met een kortere levensduur van opofferanoden worden gerekend, zolang deze maar overeenkomt met het minimale onderhoudsinterval waarbij de onderdelen worden droog gezet.

Zowel het ontwerp, de installatie, de inbedrijfstelling en het onderhoud, alsmede alle details van de diverse componenten die samen het kb-systeem vormen, zullen volledig worden gedocumenteerd en deze informatie dient in het opleverdossier te worden opgenomen.

Zowel het ontwerp als het testprotocol dienen namens de opdrachtgever te worden beoordeeld. De installatie zal bij ingebruikname door de opdrachtnemer worden getest op een juist functioneren. Dit dient eveneens volledig te worden gedocumenteerd in het opleverdossier.

Daartoe is een checklist opgenomen als Bijlage 5 van deze RTD.

De daarbij te gebruiken meetinstrumenten dienen vooraf op een adequate wijze (traceerbaar naar (nationale normen en richtlijnen) te zijn gekalibreerd.

Een uitgewerkt kwaliteitsplan dient onderdeel van de opleverdossier te zijn.

Leveranciers en installateurs van kb-systemen zullen een goed werkend kwaliteitssysteem operationeel hebben. Een geldig ISO 9001 certificaat of ander bewijs hiervan dient vooraf te worden overlegd aan de opdrachtgever.

#### 4.2 Kathodische beschermingscriteria

De in de normen vermelde beschermingscriteria voor kathodische bescherming hebben betrekking op staalconstructies in zeewater. Omdat een groot aantal waterbouwkundige constructies in beheer van Rijkswaterstaat, zich echter in water met een lagere saliniteit (en soms ook sterk wisselende saliniteit) dan dat in zeewater bevindt, wordt er met betrekking tot de diverse anodecapaciteiten en ontwerpstroomdichtheden, onderscheid gemaakt in saliniteit, zoals vermeld in Bijlage 2 van deze RTD.

Ook worden in de Bijlagen 6 en 7 de correcties ten aanzien van de verschillende methoden voor potentiaalmetingen aangegeven.

Met betrekking tot de beschermingscriteria wordt onderscheid gemaakt tussen omstandigheden waarbij geen corrosie bevorderende bacteriële activiteiten zijn en omstandigheden, waar deze wel aanwezig zijn. In de uitvraag moet deze informatie vooraf meegegeven worden door de opdrachtgever.

Het criterium voor de bescherming van staal in zeewater onder aerobe (beluchte) condities is een gepolariseerde potentiaal negatiever dan  $-0,80$  V ten opzichte van een Ag/AgCl zeewater referentie-elektrode.

In Bijlage 6 wordt een Tabel gegeven met omrekeningsfactoren bij toepassing van andere referentie-elektroden.

Het criterium voor de bescherming van staal in anaerobe (onbeluchte) condities in zeewater als ook van staal in de zeebodem waarin zich actieve sulfaat-reducerende bacteriën of andere microbiologische corrosie bevorderende organismen bevinden, is een gepolariseerde potentiaal negatiever dan  $-0,90$  V ten opzichte van een Ag/AgCl zeewater referentie-elektrode. Dit potentiaal criterium is ook van toepassing op situaties met ALWC.

Een ondergrenswaarde van  $-1,10$  V (t.o.v. Ag/AgCl zeewater referentie-elektrode) is van toepassing om kathodische onthechting van coatings en een verhoogde kans op vermoeiing van de constructie te voorkomen.

Deze potentiaalwaarden zijn ook van toepassing op staaloppervlakken in brak water, maar ze dienen daarbij wel te worden gecorrigeerd voor de afwijking van de Ag/AgCl zeewater elektroden voor het ter plaatse aanwezige saliniteit.

Bij matig en licht brak water (zie Bijlage 1) zijn deze waarden van toepassing op de gepolariseerde potentiaal en dienen ze als zogeheten "Instant Off" te worden gemeten om voor de elektrische weerstand van het elektrolyt en van de film/afzetting op het staaloppervlak te compenseren.

#### 4.3 Ontwerpparameters (op te nemen in het ontwerpdocument)

##### 4.3.1 Algemeen

Het ontwerp van een kb-systeem dient zodanig uitgevoerd te worden dat ieder onderdeel van de te beschermen constructie, met name de onderdelen opgebouwd uit een relatief onedel metaal, voldoende beschermstroom ontvangt om aan de criteria van 4.2 te voldoen.

BEM/FEM modellen kunnen deel uitmaken van de ontwerpberekening en dienen in ieder geval te worden gebruikt indien in het ontwerp wordt afgeweken van de minimum stroomdichtheden volgens deze RTD.

Bij het ontwerp dienen de volgende aspecten gedetailleerd te worden vastgelegd:



- 4.3.2 **Onderverdeling van de constructie**  
 Een te beschermen constructie dient verdeeld te worden in verschillende kb-zones; ook als ze niet elektrisch gescheiden zijn, dienen de zones in het ontwerp apart te worden beschouwd. NB kb-zones zijn in het algemeen andere zones dan de expositie-zones
- Bij een vaste constructie, zoals een stalen damwand, dient het deel in de bodem apart te worden beschouwd van het deel in het water.
- 4.3.3 **Beschrijving van een kb-zone**  
 Iedere kb-zone kan bestaan uit verschillende onderdelen, waarvoor de parameters duidelijk moeten worden aangegeven inclusief de materiaalsoort, grootte van het oppervlak, coatingeigenschappen en eventueel percentage coatingbeschadiging en coatingdegradatie.  
 Bij aanwezigheid van materialen welke gevoelig zijn voor waterstofbroosheid, dient hier specifiek aandacht aan te worden besteed. Dit kan zich voordoen bij sluisdeuren, wanneer materialen met hoge treksterktes zijn toegepast voor assen en bevestigingsmiddelen.
- 4.3.4 **Beschrijving van de ontwerpcondities**  
 Bij het ontwerp van de kathodische bescherming dient aangegeven te worden welke operationele omstandigheden daarbij zijn aangehouden, zoals: levensduur, watercondities waaronder stroomsnelheden, saliniteit en temperatuur.
- 4.4 Benodigde stroomsterkte**
- 4.4.1 **Algemeen**  
 Voor elk onderdeel van de constructie zal een geschikte stroomdichtheid worden gekozen, waarbij, rekening houdend met de aspecten in 4.3, zal worden voldaan aan de beschermingscriteria vermeld in 4.2.  
 Voor elk onderdeel wordt de benodigde stroomsterkte berekend door het geëxposeerde (natte) oppervlak van elk deel te vermenigvuldigen met de stroomdichtheid voor dat specifieke deel, volgens de Tabel in Bijlage 1.  
 Hierbij gelden de volgende voorwaarden:
- 4.4.2 **Aan te houden stroomdichtheid voor kaal staal**  
 De gekozen stroomdichtheid hoeft niet voor elk onderdeel hetzelfde zijn, omdat de materialen, coatingcondities, omgeving en operationele omstandigheden verschillend kunnen zijn.  
 De gemaakte keuzen voor de stroomdichtheid dienen te worden gebaseerd op ervaring met vergelijkbare constructies onder vergelijkbare omstandigheden of verkregen via specifieke metingen of testen.  
 Wanneer een waarde wordt gekozen die lager is dan opgegeven in Bijlage 1, dan dient aangetoond te worden waarop deze keuze is gebaseerd.  
 Ten behoeve van het ontwerp kunnen 3 soorten stroomdichtheden worden onderscheiden, namelijk:
- a) Initiële- of aanvangsstroomdichtheid. Deze stroomdichtheid is nodig om de gewenste polarisatie van de constructie te bereiken.
  - b) Onderhouds- of gemiddelde stroomdichtheid. Deze stroomdichtheid is nodig om de polarisatie van de constructie te behouden.
  - c) Einde- of herpolarisatiestroomdichtheid. Dit is de waarde die wordt aangehouden om rekening te houden met herpolarisatie tijdens de gebruiksfase na een storm of reinigingsoperaties.
- Bij de keuze van deze waarden wordt rekening gehouden met eventueel aanwezige risico's op ALWC of MIC.

#### 4.4.3 Benodigde stroomdichtheid voor een gecoat staaloppervlak

KB-systemen kunnen worden gecombineerd met geschikte coatings die zijn getest volgens NEN-EN-ISO 12944-9 of NEN-EN-ISO 15711.

Een effectieve coating kan de benodigde stroomdichtheid aanzienlijk verkleinen en de stroomverdeling over het oppervlak verbeteren. Bij het ontwerp dient rekening te worden gehouden met een toename van de stroombehoefte naarmate de coating verouderd.

Bedacht dient te worden dat coatings echter niet strikt noodzakelijk zijn voor een effectieve kathodische bescherming van staaloppervlakken (dit geldt echter niet voor besloten ruimten).

Bij de toepassing van kathodische bescherming in een besloten ruimte dienen de staaloppervlakken in deze ruimte te zijn voorzien van een geschikte coating. Bij toepassing van aluminiumanoden dient deze coating bestand te zijn tegen een zuurgraad met een waarde van pH 4; bij zinkanoden is dat pH 6.

Voor waterbouwkundige constructies is het in bepaalde situaties mogelijk dat kathodische bescherming alleen economischer is dan kb in combinatie met een coating.

Een effectieve bescherming tegen corrosie boven het gemiddelde watertij is niet mogelijk met kathodische bescherming. Een coating boven gemiddelde watertij kan nodig zijn voor het behalen van de gewenste levensduur van de constructie en/of om cosmetische redenen.

Een coating die in combinatie met kathodische bescherming wordt toegepast dient hiervoor geschikt te zijn en daartoe te zijn getest tegen kathodische onthechting. Het gebruik van metallische deklagen kan worden gecombineerd met zink of aluminium anoden, maar dergelijke deklagen leveren geen voordeel met betrekking tot een reductie in het ontwerp van de stroombehoefte. Primers met een hoog zinkgehalte worden niet geschikt geacht in combinatie met kb in verband met het risico op kathodische onthechting en een hoog stroomgebruik als gevolg van hun lage elektrische weerstand.

Bij de bepaling van de benodigde stroomsterkte voor een gecoate staalconstructie dient expliciet rekening te worden gehouden met de coatingdegradatie door middel van de breakdown factor  $f_c$ , welke is samengesteld uit een initiële en een jaarlijkse degradatiefactor.

De initiële breakdown factor bestaat uit een percentage schade aan de coating, ontstaan tijdens het aanbrengen van de coating en/of tijdens de installatie van de staalconstructie. De jaarlijkse degradatiesnelheid is het percentage waarmee de coating jaarlijks haar isolatiewaarde verliest. Dit resulteert in een geleidelijke toename van de coatingdegradatie.

Bij het toepassen van kathodische bescherming van bestaande gecoate constructies, dient dus coatingdegradatie te worden berekend door de initiële factor te verhogen met het product van het aantal jaren en de jaarlijkse degradatiefactor.

Bij de bepaling van de benodigde stroomsterkte voor een gecoate staalconstructie wordt rekening gehouden met de initiële breakdown factor en de degradatiesnelheid.

De aan te houden waarde van deze factoren wordt bepaald door de kwaliteit van de coating, de kwaliteit van de voorbehandeling van het staaloppervlak en van de applicatie van de coating, als ook door de zorgvuldigheid tijdens de bouw en door operationele factoren.

In Bijlage 1 worden richtlijnen gegeven voor deze degradatiefactoren en het gebruik ervan. Indien een opdrachtnemer hiervan wil afwijken, dient dit te worden onderbouwd en vòòr uitvoering ter goedkeuring te worden voorgelegd aan de opdrachtgever.

#### 4.4.4 Benodigde beschermstroom

De stroombehoefte dient te worden berekend om het totale gewicht van de aan te brengen opofferingsanoden of om de capaciteit van een opgedrukt stroomsysteem te bepalen.

Hiervoor wordt de stroombehoefte per onderdeel  $I$  van de beschermde constructie als volgt berekend:

$$I = A \cdot J_c \quad (1)$$

waarbij:

$A$  is het oppervlak van elk onderdeel, [m<sup>2</sup>];

$J_c$  is de beschermstroomdichtheid per afzonderlijk onderdeel, [A/m<sup>2</sup>].

De totale stroombehoefte per zone  $I_z$  is gelijk aan de som van de stroombehoefte van de afzonderlijke onderdelen (totale aantal bedraagt  $n$ ) waaruit die zone is opgebouwd.

$$I_z = \sum_1^z I_{\text{onderdelen}} \quad (2)$$

**Noot 1** Bij toepassing van opofferanoden wordt voor situaties met wisselende waterstanden de gemiddelde stroombehoefte berekend op basis van het staaloppervlak gerekend vanaf gemiddeld water tij.

Voor opgedrukte stroomsystemen wordt het staaloppervlak tot gemiddelde hoogwater springtij gebruikt.

**Noot 2** Voor damwanden, waarbij geen kb aan de achterzijde is geplaatst, dient met name voor kb-systemen met opgedrukte stroom rekening te worden gehouden met de mogelijkheid dat de anodestroom ook naar de achterzijde van de damwand kan vloeien. Dit geldt ook bij overgangen van beschermde naar naburige niet beschermde damwanden.

**Noot 3** Met metalen delen, die bevestigd zijn aan de beschermde zone en stroom kunnen afnemen, zoals ladders, fenders en dergelijke, dient in het ontwerp rekening te worden gehouden.

#### 4.5 KB-systemen

Er kan een onderscheid worden gemaakt in 2 soorten kb-systemen:

- Opofferingsanoden (opoffersystemen)
- Opgedrukte stroom systemen

In sommige situaties kan een combinatie van beide systemen worden gebruikt (Hybride systemen)

De keuze voor het meest geschikte systeem wordt door een aantal factoren bepaald.

In de regel zal bij waterbouwkundige constructies snel gekozen worden voor opofferanoden vanwege hun bewezen betrouwbaarheid, eenvoudige constructie, lage onderhoudskosten en minimale interferentie met afgemeerde schepen.

Opgedrukte stroomsystemen worden eerder gekozen wanneer er een grote of een in de tijd sterk variërende stroombehoefte is, en er in de nabijheid aansluitingen voor elektrische stroom beschikbaar zijn.

Voor situaties met zoet en licht brak water dient opgedrukte stroom te worden gekozen, tenzij de aannemer kan aantonen dat opofferanoden een betere (technisch en financiële) keuze is.

Hierbij dienen zowel de initiële als de operationele kosten (over de gehele ontwerplevensduur) te worden beschouwd.

De opdrachtgever kan voor een specifieke toepassing of voor een specifiek project de toepassing van opgedrukte stroom of opofferanoden dwingend voorschrijven.

De toepassing van systemen met opgedrukte stroom en van magnesium anoden in afgesloten compartimenten is niet toegestaan, tenzij continu een voldoende verversing van water en lucht is gegarandeerd. Dit dient rekenkundig onderbouwd te worden.

#### 4.5.1 Opofferanoden

Bij toepassing van opofferanoden dienen de afmetingen en vorm van de anode bepaald te worden met behulp van de wet van Ohm:

$$I = \frac{\Delta U}{R} \quad (3)$$

Waarbij: I is de anodestroom, [A];  
 $\Delta U$  is de anodespanning (aandrijfspanning), [V];  
 R is de weerstand in het elektrisch circuit, [ $\Omega$ ].

De circuitweerstand, R, is ongeveer gelijk aan de elektrolytweerstand ook wel de anodeweerstand genoemd, omdat de kathodeweerstand normaal zeer klein is.

De anodeweerstand is een functie van de elektrolytweerstand in de omgeving van de anode en de geometrie van de anode (vorm en afmeting). Met empirische formules kan de anodeweerstand worden benaderd; zie Bijlage 2

#### 4.5.2 Opgedrukte stroomsysteem

Voor een opgedrukt stroomsysteem moet de uitgangsspanning van de stroombron hoger zijn dan de som van de spanningsval in alle componenten van het systeem: kabels, elektrolyt (beschouwd als de anodeweerstand) en de anode/kathode EMF (de EMF is het potentiaalverschil tussen de anode en de kathode in het elektrolyt zonder stroom.) De potentiaal van een werkende anode is aan een maximum gebonden, afhankelijk van het anodemateriaal; zie Bijlage 3.

#### 4.5.3 Algemeen

Het aantal anoden en de locaties dienen zo gekozen te worden dat de stroom zo gelijkmatig mogelijk over het te beschermen staaloppervlak wordt verdeeld, er geen onderlinge interferentie plaatsvindt en geen mechanische beschadigingen ten gevolge van bewegende objecten optreden.

Bij opofferanoden is de onderlinge (tussenliggende) afstand minimaal 0,5 m. Bij een ontwerp van een opgedrukt stroomsysteem of een onderlinge anode-afstand minder dan 0,5 m voor opofferingsanoden, dient middels een BEM/FEM analyse te worden aangetoond dat er een voldoende stroomopbrengst is.

#### 4.6 Elektrische continuïteit

Alle elementen die door een KB-systeem beschermd worden, dienen met elkaar elektrisch te worden verbonden of van hun eigen opofferanoden te worden voorzien.

Bij een opgedrukt stroomsysteem dienen alle elementen middels een retourstroomverbinding met de stroombron (gelijkrichter) verbonden te worden.

Deze verbinding kan bestaan uit speciale bekabeling of lasverbindingen, bewapeningsstaal of speciale metalen strippen.

Wanneer er onderlinge beweging tussen de elementen mogelijk is, dient deze verbinding voldoende flexibel te zijn. De maximale elektrische weerstand over een verbinding is  $0,1\Omega$ .

Bij ontwerpen van een kb-installatie voor staalconstructies die zijn voorzien van kettingen, zoals boeien en dergelijke, dient rekening te worden gehouden met het feit dat een elektrische verbinding tussen kettingschalen niet is gegarandeerd, maar ook niet is uit te sluiten.

De bescherming van een ketting mag niet afhankelijk zijn van anoden die op een boei zijn gemonteerd.

Anderzijds dienen op een boei voldoende anoden bevestigd te zijn, zodat er voldoende stroom beschikbaar is, indien de kettingen toch contact maken.

#### 4.7 Interacties met andere constructies (ook met schepen)

Een constructie kan tijdelijk of permanent verbonden zijn met constructies in de directe omgeving. Elke constructie dient over een zelfstandig kb-systeem te beschikken, alvorens er een (metallische) verbinding wordt gemaakt.

Indien tijdelijk bevestigde constructies niet beschikken over een eigen kb-systeem, dient door metingen te worden bepaald of de constructie voldoende beschermd blijft.

Bij langdurig verblijf van schepen of bij vaste afmeerlocaties, zoals bunkerstations en dergelijke, dient aandacht besteed te worden aan elektrische verbindingen via: loopbruggen, staaldraden en elektrische aansluitingen (aardeverbindingen e.d.)

Het kb-systeem van de beschermde constructie mag ook geen nadelige gevolgen hebben voor andere constructies (beschermd of onbeschermd).

Een opgedrukt stroomsysteem van een kadeconstructie mag geen zwerfstromen veroorzaken in aangemeerde schepen. Bij het ontwerp van deze kb-systemen is het belangrijk dat de onderlinge afstanden tussen de anoden niet groter zijn dan 2 maal de afstand van een anode tot het schip.

Regels voor de beoordeling van de beïnvloeding van constructies door gelijkstroomsystemen worden gegeven in NEN 50162. Een wijziging in potentiaal van een naburige andere constructie zonder kb van meer dan +20 mV (excl. IR drop) door toepassing van kb is niet acceptabel. Een wijziging in potentiaal in positieve of negatieve richting van een andere constructie die is voorzien van kb door toepassing van kb is toelaatbaar indien de "Instant Off" potentiaal van de andere constructie overal voldoet aan de kb criteria die voor de andere constructie van toepassing zijn. Als in het kb-ontwerp voor de andere constructie -900 mV als criterium wordt aangehouden, dan kan het niet zo zijn dat door de naburige kb -800 mV als criterium mag worden gehanteerd.

## 5 Systemen met opgedrukte stroom

### 5.1 Doel

Een kb-systeem met opgedrukte stroom voorziet in bescherming door een gelijkstroom uit te sturen, waarbij de negatieve pool van een regelbare stroombron wordt verbonden met de constructie en de positieve pool met de anoden.

De grootte van de uitgestuurde elektrische stroom dient zo geregeld te worden dat de constructie continu de juiste potentiaalwaarde behoudt.

Hiertoe dient een potentiaal gestuurde installatie te worden gebruikt teneinde een optimale bescherming te combineren met een efficiënt energieverbruik.

### 5.2 Ontwerpeisen

Naast de ontwerpparameters (zie 4.3) dienen de volgende systeemp parameters te worden gedocumenteerd:

- Methode en uitvoering van de monitoring;
- Structurele en mechanische eigenschappen, waarbij rekening gehouden wordt met storm, golfslag, en schroefwater voor alle delen in het water;
- Oppervlakteberekeningen;
- Anodestroom en levensduur;
- Kabelgegevens en spanningsval over de kabels;
- Anodematerialen en wijze van installeren inclusief eventueel diëlektrische voorzieningen;
- Installatieschema's, testprocedures, ingebruikstelling en meetresultaten;
- Na de ingebruikname en eventuele bijstellingen zal een "as-built" documentatie worden opgesteld, waarin ook de conformiteit met deze RTD zal worden aangegeven;

Deze documentatie zal worden overgedragen aan Rijkswaterstaat en zij zal deze informatie onderhouden als deel van de projectdocumentatie.

Bijlage 5 geeft een overzicht van de eisen aan de documentatie.

Voor een kb-systeem met opgedrukte stroom dient de maximale stroombehoefte te worden bepaald volgens 4.4, voor de meest ongunstige omstandigheden en de hoogste degradatiefactor voor einde levensduur.

Door een minder gelijkmatige stroomverdeling van systemen met opgedrukte stroom dient een extra factor van 1,5 over de maximale berekende stroombehoefte te worden gebruikt.

### 5.3 Keuze van de toe te passen apparatuur

#### 5.3.1 Gelijkstroombron

De gelijkstroombron dient in staat te zijn om de berekende maximum stroomsterkte voor de betreffende kb-zone te leveren.

Bij de keuze van de uitgangsspanning (waarbij de gelijkrichter de maximum stroomoutput kan leveren) dient (expliciet) rekening te worden gehouden met de spanningsverliezen in het elektrische circuit en de maximaal toelaatbare van (gepolariseerde) anodepotentiaal; zie Bijlage 3.

Geplatineerde anoden mogen alleen worden toegepast indien de opdrachtnemer kan aantonen dat dit een beter resultaat geeft dan MMO-anoden en de AC rimpel op de stroom maximaal 100 mV RMS is met een frequentie > 100 Hz. Dit in verband met het verbruik van de anode. Dit betere resultaat bestaat minimaal uit een lager energieverbruik en een langere levensduur van de anode onder de heersende omstandigheden.

De gelijkstroombron dient de stroom zo te regelen dat elke referentie-elektrode, gebruikt voor potentiaalregeling een waarde heeft die negatiever is dan een vooraf ingesteld potentiaalniveau (aangeduid met instelwaarde).

Tevens dient de gelijkstroombron in staat te zijn om nagenoeg geen beschermstroom uit te sturen wanneer alle regelende referentie-elektroden een waarde hebben gelijk aan of negatiever dan de instelwaarde. Daarnaast dient de gelijkstroombron te beschikken over de mogelijkheid om een maximale stroomoutput in te stellen. Indien dit niet mogelijk is dient het systeem voorzieningen te hebben om volledig af te schakelen bij een externe kortsluiting.

### 5.3.2 Anoden

Anoden dienen dezelfde ontwerp levensduur als de te beschermen constructie te hebben of eenvoudig verwisselbaar te zijn.

Het gebruik van MMO gecoate anoden heeft de voorkeur, zeker bij toepassing in brak- en zoetwater.

Silicium-ijzer-chroom anoden mogen worden toegepast indien in het ontwerp een maximale stroomdichtheid van 30 A/m<sup>2</sup> wordt aangehouden.

Lood-zilver anoden mogen niet worden toegepast omdat deze anoden lood in het milieu brengen en ze, voor hun levensduur, afhankelijk zijn van een minimale stroomdichtheid. Bijlage 3 geeft waarden voor relevante elektrochemische parameters voor anoden met opgedrukte stroom.

In de meeste praktijksituaties heeft het verlies van een enkele anode reeds een significante invloed op de prestaties van een opgedrukt stroomsysteem, daarom dient extra aandacht te worden besteed aan het mechanisch ontwerp van de bevestigingen en de bescherming en duurzaamheid van bekabeling.

### 5.3.3 Diëlektrische schilden

Diëlektrische schilden dienen te worden toegepast indien de opgedrukte stroomanoden op een afstand kleiner dan 1 meter tot de te beschermen constructie worden geïnstalleerd.

Het materiaal van de diëlektrische schilden dient bestand te zijn tegen de chemische stoffen die door elektrochemische reacties aan het grensvlak anode/elektrolyt worden geproduceerd.

Wanneer deze schilden direct worden aangebracht op de constructie, dienen de materialen tevens bestand te zijn tegen kathodische onthechting.

Bij de keuze van deze materialen dient ook de gevoeligheid voor veroudering te worden beschouwd (en de bestendigheid daartegen te worden aangetoond).

### 5.3.4 Referentie-elektroden

Referentie-elektroden worden gebruikt voor het meten van het potentiaalverschil tussen de constructie en het elektrolyt (water) en worden meestal gebruikt om de stroomafgifte van een opgedrukt stroomsysteem te regelen.

Als referentie-elektroden kunnen zowel zink- als Ag/AgCl elektroden worden gebruikt.

Zink-elektroden zijn robuuster terwijl Ag/AgCl elektroden nauwkeuriger zijn.

Het gebruik van zink referentie-elektroden is alleen toegestaan in een elektrolyt met een soortelijke weerstand  $\rho$  die altijd  $\leq 100$  Ohm-cm is.

Bij hogere weerstanden van het elektrolyt mogen zink-elektroden alleen worden gebruikt voor de regeling van de gelijkrichters maar dient voor monitoring en compensatie (kalibratie) gebruik te worden gemaakt van Ag/AgCl elektroden, tenzij het meetcircuit een lagere weerstand heeft, zodat de zinkcel actief blijft. Hierbij dient met de afmeting en levensduur van de cel rekening te worden gehouden. De locatie van de controle referentie-elektroden is uiterst belangrijk en is op die plaatsen waar het minst negatieve potentiaal wordt verwacht.

Bij vervuild water, bijvoorbeeld door olie, is het aan te bevelen een Ag/AgCl/0,5M KCl referentie-elektrode te gebruiken.

Bij gebruik van een Ag/AgCl-zeewater elektrode in brakwater dient de gemeten potentiaalwaarde te worden gecorrigeerd voor de afwijkende saliniteit ten opzichte van die van zeewater. Zie Bijlage 6.

### 5.3.5

#### **Kabels en aansluitingen**

Alle kabels en hun verbindingen moeten gedurende de volledige ontwerplevensduur de chemische en mechanische condities in hun omgeving kunnen doorstaan. Daartoe dienen alle kabels en hun verbindingen voldoende ondersteund en beschermd te worden.

Verbindingen dienen robuust en waterdicht te zijn.

Bij de keuze van de kabeldoorsnede dient rekening te worden gehouden met het spanningsverlies dat over de volledige lengte optreedt als gevolg van de elektrische weerstand van de kabel.

Voor potentiaalmetingen dienen aparte en van een metallische afscherming voorziene meetkabels te worden gebruikt.



## 6 Opofferinganoden

### 6.1 Doel

Een kb-systeem met opofferinganoden dient voldoende stroom te leveren en te verspreiden om alle relevante delen van de constructie gedurende de volledige ontwerplevensduur zodanig te beschermen dat aan de criteria van 4.2 wordt voldaan. Als opoffermaterialen kunnen worden toegepast: aluminium, zink, magnesium en weekijzer.

Weekijzer kan worden toegepast ter bescherming van koperlegeringen.

Zink mag alleen worden gebruikt wanneer de opdrachtnemer kan aantonen dat aluminium niet toepasbaar of geschikt is.

Magnesium mag worden toegepast wanneer de opdrachtnemer kan aantonen dat de gewenste levensduur wordt gehaald en er geen schade ten gevolge van overbescherming kan ontstaan.

Magnesium mag niet worden toegepast in afgesloten ruimten.

### 6.2 Ontwerp

Naast de ontwerpparameters (zie 4.3) dienen de volgende systeemp parameters te worden gedocumenteerd:

- Gedetailleerde berekeningen (stroombehoefte, anodegewicht, anode-afmetingen, aantal en installatielocaties);
- Gedetailleerde installatietekening;
- Gedetailleerde materiaalspecificatie
- Details met betrekking tot de verbinding tussen anode en de constructie (mechanisch en elektrisch)
- Gedetailleerde beschrijving van de installatie, testen, inbedrijfstelling en gebruik.
- Beschrijving van de acceptatiecriteria voor het gehele systeem.

Bijlagen 1, 2 en 4 dienen gebruikt te worden bij het ontwerp.

### 6.3 Anodematerialen

Opofferinganoden moeten voldoen aan NEN-EN 12496 en de voorwaarden genoemd in 4.1.

De elektrochemische eigenschappen van het toe te passen anodemateriaal dienen vooraf te worden vastgesteld en gedocumenteerd.

Voor ontwerpdoeleinden mag een maximale anodecapaciteit van 2500 Ah/kg voor aluminium en 780 Ah/kg voor zink, worden gebruikt, mits dit minimaal aantoonbaar is door middel van de test volgens DNVGL-RP-B401 Annex C (Qualification of electrochemical performance). De rekenwaarde in het ontwerp  $0.9 \times$  resultaat proef Annex C mag worden gebruikt met een maximum voor de rekenwaarde van 2500 Ah/kg. Indien geen recent (maximaal 2 jaar oud) en geldig proefresultaat volgens Annex C kan worden overlegd moet 2000 Ah/kg worden aangehouden.

Hierbij dient ook voldaan te worden aan de hierin vermelde eisen ten aanzien van de potentiaal.

Als kwaliteitscontrole voor de productie dient de anodecapaciteit te worden bepaald volgens DNV RPB 401 Annex B (Quality control).

Hierbij dient een elektrochemische capaciteit van minimaal 2500 Ah/kg voor aluminium en 780 Ah/kg voor zink te worden gehaald.

De gebruikte materialen voor de anode-inserts dienen te voldoen aan alle eisen zoals vermeld in NACE RP0387, tenzij vooraf anders met de opdrachtgever is overeengekomen. Voor de anode-insert zal een stalen staaf van minimaal  $\varnothing 16$  worden toegepast.

De laslengte op de te beschermen staalconstructie van ieder uiteinde van een anode-insert zal minimaal 80 mm bedragen.

#### 6.4 Locaties van de anoden

De ruimtelijke verdeling van de opofferingsanoden dient zo gekozen te worden dat het gehele te beschermen oppervlak wordt gepolariseerd binnen de limieten genoemd in 4.2. Voor constructies waar verlies van de beschermstroom kan optreden, dient hier met de verdeling van de anoden rekening gehouden te worden. Deze situatie kan bijvoorbeeld voorkomen bij sluisdeuren door een hogere dichtheid van anoden dicht bij een naburige gewapend betonconstructie toe te passen.

Voor complexe constructies, zoals een sluisdeur, is het gebruik van een computermodel voor BEM/FEM analyse aan te raden.

Opofferingsanoden mogen een normaal operationeel gebruik van de te beschermen staalconstructie niet beperken. Ook mogen opofferingsanoden niet bevestigd worden op delen/locaties met een in de tijd sterk wisselende mechanische belasting en/of onder hoge mechanische spanning.

Locaties waar de anoden gemakkelijk kunnen worden beschadigd door drijvende of vallende objecten dienen eveneens te worden vermeden. Dit geldt ook voor locaties waar het kettingen of afmeerkabels betreft.

#### 6.5 Installatie

##### 6.5.1 Elektrische continuïteit

Alle elementen van een constructie die kathodisch beschermd worden, dienen op een juiste wijze, tijdens de bouw, elektrisch met elkaar verbonden te worden. Bij een bestaande constructie kan gebruik worden gemaakt van aarde-kabels/strippen. Metalen onderdelen die geen kb nodig hebben en die niet noodzakelijkerwijs galvanisch gekoppeld zijn, kunnen mogelijk onderhevig zijn aan de gevolgen van zwerfstromen.

Elektrische verbindingen kunnen worden gemaakt met metallische verbindingen (lassen of solderen) of met een boutverbinding of fabrieksmatige ponsverbinding.

Bij de toepassing van boutverbindingen dient een langdurige functionaliteit van de "kortsluiting" te worden aangetoond. Een verbinding door middel van vastgelast wapeningsstaal is toegestaan.

Hoewel elektrische verbindingen geen structureel doel hebben, dient het laswerk wel aan standardeisen te voldoen.

##### 6.5.2 Installatie van anoden

De bevestigingsmethode van anoden aan de constructie is afhankelijk van het type anode en de toepassing, maar dient een goed en duurzaam elektrisch contact te waarborgen gedurende de ontwerplevensduur van de anode.

De volgende methoden voor het bevestigen van opofferingsanoden mogen worden toegepast:

- Directe volledige lasverbinding tussen het anode-ingietdeel (insert) en de constructie, rekening houdend met een zo laag mogelijke lasspanning;
  - Een lasverbinding tussen de anode-ingietdeel (insert) en een speciale ondersteuningsconstructie die met een volledige lasverbinding aan de constructie is bevestigd;
  - Een adequate boutverbinding tussen het anode-ingietdeel (insert) en een speciale ondersteuningsconstructie die met een volledige lasverbinding aan de constructie is bevestigd;
- Bij gebruik van een boutverbinding dient een hechtlas te worden gebruikt of de verbinding dient geprekwalificeerd te worden. Dit geldt ook voor andere dan de hier genoemde bevestigingsmethoden.

Opofferingsanoden kunnen op afstand van de te beschermen constructie worden geplaatst in de bodem of het water. In deze situatie dient een verbinding tussen de anoden en de constructie te worden voorzien die robuust, duurzaam en beschermd is tegen mechanische beschadiging.

### 6.5.3

#### Testen

De testen uitgevoerd tijdens of na de installatie dienen tevens de volgende onderdelen te bevatten:

- Verificatie dat de werkelijke omstandigheden overeenkomen met de aannamen en uitgangspunten die in het ontwerp zijn aangehouden;
- Verificatie dat de anoden conform het ontwerp zijn geplaatst.

## 7 Inbedrijfstelling, bediening en onderhoud door de opdrachtnemer

Het kathodische beschermingssysteem is acceptabel voor oplevering wanneer 3 maanden na installatie aantoonbaar aan alle criteria is voldaan, dit betreft de criteria voor zowel de beschermende als de naburige constructies

### 7.1 Doel

Het doel van de inbedrijfstelling, bediening en onderhoud van kb-systemen is:

- Verificatie dat de installatie en het functioneren van een kb-systeem in overeenstemming zijn met de bedoelingen van het ontwerp en voldoen aan de criteria uit 4.2
- Verificatie dat het kb-systeem blijft voldoen aan het ontwerp en dat de constructie blijvend voldoende beschermd zal worden gedurende de ontwerplevensduur van het systeem.

De daartoe benodigde periodieke metingen dienen overeenkomstig NEN-EN 13509 te worden uitgevoerd door de opdrachtnemer gedurende de looptijd van het contract en te zijn verwoord in het opleverdossier.

### 7.2 Inbedrijfstelling van systemen met opofferingsanoden

Voor systemen met opofferingsanoden dient de opdrachtnemer metingen van het gepolariseerd potentiaal binnen 3 maanden na voltooiing van de installatie uit te voeren. Naast eventueel permanent aanwezige monitoringsinstallaties, dient gebruik te worden gemaakt van geschikte draagbare referentie-elektroden.

De meetresultaten dienen ter verificatie dat op representatieve locaties wordt voldaan aan 4.2. Bij een damwandconstructie bijvoorbeeld dienen potentiaalmetingen op 3 verschillende hoogten, namelijk op bodemniveau, gemiddelde watertij en halverwege gemiddelde watertij en bodemniveau te worden genomen.

Dit dient op regelmatige afstanden (bijvoorbeeld met een interval van 5 meter) in horizontale richting te worden herhaald.

De opdrachtnemer dient ter goedkeuring vooraf een plan op te stellen en in te dienen, waarin methoden van meten en rapporteren, apparatuur en meetfrequentie worden vastgelegd.

### 7.3 Inbedrijfstelling van een systeem met opgedrukte stroom

#### 7.3.1 Visuele inspectie

Allereerst dient de opdrachtnemer een visuele inspectie uit te voeren, waarbij het gehele systeem wordt geïnspecteerd om vast te stellen dat alle componenten en bekabeling op een juiste wijze zijn geïnstalleerd en waar nodig voldoende zijn afgeschermd tegen schade aan milieu, mens en dier.

#### 7.3.2 Metingen voor activering

Voordat de stroom wordt ingeschakeld dient een aantal metingen te worden verricht, conform het kwaliteitsplan (zie 4.1)

- Metaal – elektrolyt potentiaal met behulp van de permanent geïnstalleerde referentie-elektroden;
- Een datalogger, eventueel op afstand uitleesbaar, als onderdeel van een prestatie-monitoringssysteem;

- 7.3.3 Activering**  
 Het kb-systeem dient te worden opgestart conform de ontwerpcriteria voor initiële polarisatie.  
 Metingen overeenkomstig het kwaliteitsplan dienen in ieder geval te bevatten:
- Metaal-elektrolyt potentialen van alle permanente referentie-elektroden;
  - Controle op de polariteit. Wanneer op enige locatie een potentiaalverschuiving naar een positiever potentiaal plaatsvindt, dient dit zo spoedig mogelijk onderzocht en hersteld te worden;
  - De uitgangsspanning en stroomafgifte van alle gelijkstroombronnen aangesloten op het systeem;
  - Waar van toepassing de stroomsterkte van alle anoden afzonderlijk, gemeten ter plaatse van de transformator-gelijkrichter of de aansluitkasten.
- 7.3.4 Prestatiebeoordeling**  
 Binnen 3 maanden na de inbedrijfstelling van de installatie dient de opdrachtnemer een volledige potentiaal-meetsessie uit te voeren. Bij opgedrukte stroom wordt daarbij het werkelijke potentiaal direct na afschakeling of met een instant-off coupon gemeten. In zeewater kan volstaan worden met referentie-elektroden die dicht tegen de staalconstructie zijn bevestigd.  
 De metingen dienen in ieder geval ook uitgevoerd te worden met een draagbare referentie-elektrode. Hierbij dient niet alleen gemeten te worden op de locaties van de permanente referentie-elektroden maar ook op het staaloppervlak nabij iedere anode. De meetsessie dient ter verificatie dat aan de beschermingscriteria van 4.2, zoals die in het ontwerp zijn gekozen, op representatieve locaties wordt voldaan.  
 Bij een damwandconstructie dienen bijvoorbeeld metingen op 3 verschillende hoogten, namelijk op bodemniveau, gemiddelde watertij en halverwege bodemniveau en gemiddelde watertij te worden genomen.  
 Dit dient op regelmatige intervallen, bijvoorbeeld 5 meter, in horizontale richting te worden herhaald. De te kiezen intervalgrootte is mede afhankelijk van de onderlinge anode-afstand.  
 Vooraf dient de opdrachtnemer een plan op te stellen en ter goedkeuring bij de opdrachtgever (of haar vertegenwoordiger) in te dienen. In dit plan worden de methoden van meten en rapporteren, apparatuur en aantal metingen per kb-zone en de meetfrequentie vastgelegd.  
 De meetresultaten dienen te voldoen aan de criteria van 4.2.  
 Wanneer een besloten ruimte met kathodische bescherming visueel geïnspecteerd wordt, dient voorafgaand afdoende te worden geventileerd. In alle situaties dienen er voor betreding van personen en visuele inspectie metingen te worden verricht naar de aanwezigheid van voldoende zuurstof en afwezigheid van gevaarlijke gassen, zoals (zwavel)waterstof en dergelijke.
- 7.3.5 Testen van negatieve effecten op andere constructies**  
 Interactie testen moeten worden uitgevoerd om aan te tonen dat naburige constructies geen negatieve effecten ondervinden van het aanwezige kb-systeem.  
 Van naburige constructies die zijn voorzien van een eigen kb-systeem mag het potentiaal niet meer veranderen dan aangegeven in 4.2.  
 Van naburige constructies zonder een eigen kb-systeem mag de oorspronkelijke aanwezige vrije corrosiepotentiaal niet meer dan 20 mV veranderen.  
 Voor delen (galvanisch) verbonden met de beschermde constructie is een toename in negatief potentiaal toegestaan.  
 Alle veranderingen in potentiaal van naburige constructies, groter dan hier vermeld, dienen te worden geanalyseerd en door geschikte maatregelen te worden beperkt zodanig dat wel aan de eisen wordt voldaan.
- 7.4 Bediening en onderhoud**  
 Als onderdeel van het opleverdossier dient de opdrachtnemer ten behoeve van de opdrachtgever/beheerder een bedienings- en onderhoudshandboek op te stellen. Gedurende de looptijd van het contract moeten bediening, onderhoud en testinterval, en procedures worden uitgevoerd, zoals aangegeven in het bedienings- en onderhoudshandboek. Tijdens de contractperiode kan, indien verantwoord en na overleg

met de beheerder, het testinterval worden aangepast op basis van gebruiksomstandigheden.

#### 7.4.1 Opperingsanoden

In het bedienings- en onderhoudshandboek dient opgenomen te worden dat de werking van de anoden iedere 5 jaar gecontroleerd moet worden en dat indien de meetresultaten daartoe aanleiding geven er nader onderzoek uitgevoerd moet worden. In het geval een beschadiging of missende anoden wordt vastgesteld moet dit binnen 3 maanden worden hersteld.

Deze periodieke controle dient te worden uitgevoerd zoals beschreven bij inbedrijfstelling.

#### 7.4.2 Opgedrukte stroomsystemen

Gedurende de contractperiode dient het systeem periodiek te worden geïnspecteerd:

- minimaal 3-maandelijks gedurende het eerste jaar na installatie;
- vervolgens halfjaarlijks.

De uitvoering van een inspectie is als volgt:

- Controle of alle functies en instellingen nog vergelijkbaar zijn met de resultaten van de vorige inspectie.
- Metingen van het potentiaal.  
Wanneer hier duikers bij worden gebruikt, dienen deze voldoende geïnstrueerd te zijn over de risico's van opgedrukte stroomsystemen.
- Controle op meetresultaten van andere sensoren van het systeem.
- Analyse van alle gegevens
- Uitvoeren van de nodige aanpassingen om het systeem volgens de ontwerpparameters te laten functioneren.

De inspectieresultaten zijn onderdeel van het opleverdossier.

Tevens dient deze inspectiefrequentie in het bedienings- en onderhoudshandboek opgenomen te worden.

## 8 Documentatie

### 8.1 Opleverdossier

De opdrachtnemer dient het ontwerp, de uitvoering, controle en het onderhoud van KB-systeem te documenteren als onderdeel van het opleverdossier.

Deze documentatie dient minimaal te bevatten:

- Ontwerpgegevens
- Fabricagegegevens
- Installatiegegevens (incl. as-built);
- Ingebruikname gegevens (incl. meetresultaten)
- Controle- en onderhoudsgegevens (incl. interferentie gegevens)

### 8.2 Opgedrukte stroomsystemen

Voor opgedrukte stroomsystemen is onderstaande informatie onderdeel van het opleverdossier voor overdracht aan en ter bewaring bij de beheerder:

- Uitgangspunten ten aanzien van het ontwerp met betrekking tot omgevingscondities, beschermingscriteria, ontwerplevensduur en ontwerpwaarden voor de anodestromen;
- Berekeningen van oppervlakken, stroombehoefte, kabelgegevens en bevestigingsparameters;
- Aantal anoden, anodespecificaties en documentatie;
- Anodebevestigingen, diëlektrische schilden, anodekabels en installatiemethoden;
- Informatie over verschillen in ontwerp en installatie locaties en een overzicht van reparaties en vervangingen;
- Documentatie (incl. Factory Acceptance Test (FAT) rapportage) van de transformator/gelijkrichters;
- Specificatie en fabrikantgegevens van alle meet en regelapparatuur;
- Ingebruikname gegevens incl. alle meetresultaten.
- Resultaten van interactie testen.
- Onderhoudsrapporten (indien van toepassing).
- Bedienings- en onderhoudshandboek, project kwaliteit procedures en inspectieresultaten.

### 8.3 Opofferingsanoden

Voor opofferingsanoden is onderstaande informatie onderdeel van het opleverdossier voor overdracht aan en ter bewaring bij de beheerder:

- Uitgangspunten ten aanzien van het ontwerp met betrekking tot de omgevingscondities, beschermingscriteria, ontwerplevensduur, ontwerpwaarden voor de anodestromen en de theoretische anode-capaciteit en aandrijfspanning.
- Het aantal en de afmetingen van de anoden, elektrochemische capaciteit van het anodemateriaal en de fabricage-gegevens.
- Locatie van de anoden en indien van toepassing de afwijking hiervan ten opzichte van het ontwerp. Informatie over wijzigingen tijdens de gebruiksfase?
- Locatie en informatie over aanwezige voorzieningen voor metingen en monitoring.
- Gegevens bij ingebruikname en resultaten van uitgevoerde potentiaalonderzoeken.
- Resultaten van periodiek onderhoud en controle-activiteiten.
- Bedienings- en onderhoudshandboek, project kwaliteit procedures en inspectieresultaten.

Bijlage 5 toont een checklist die gebruikt kan worden ter controle van het opleverdossier.

## Bijlage 1 Richtlijnen voor de berekening van de capaciteit van kb-systemen.

### 1.a. Ontwerpstroombichtheden voor kaal staal van damwanden en combiwanden in water

De minimum stroomdichtheid die bij het ontwerpen van een kb-systeem toegepast dient te worden, is weergegeven in Tabel 2. In zoet water (<2,5 ppt) is het toepassen van opofferingsanoden weinig effectief en efficiënt, hier zal opgedrukte stroom toegepast moeten worden.

Situatie			Stroomdichtheid in mA/m <sup>2</sup>	
	saliniteit in ppt	Stroomsnelheid in m/s	Onderhoud / gemiddeld	Einde levensduur (alleen relevant voor opofferingsanoden)
Zeewater en zwaar brak water	20 - 40	< 0,5	65	90
		> 0,5	80	100
Matig en licht brak water	2,5 - 20	< 0,5	65	70
		> 0,5	60	80
Zoet water	< 2,5	< 0,5	40	50
		> 0,5	50	70

Tabel 2

Indien regelmatig zeer hoge stroomsnelheden (> 2 m/s) voorkomen dan dient de waarde voor > 0,5 m/s met een factor 1,5 vermenigvuldigd te worden.

Bij een opgedrukt stroomsysteem dient het systeem zodanig ontworpen te worden dat 1,5 keer de maximale stroombehoefte geleverd kan worden.

De initiële stroomdichtheid is in tegenstelling tot de NEN-EN-ISO 13174 vervallen, omdat de kortstondige onvoldoende polarisatie voor de levensduur niet relevant is.

### 1.b. Ontwerpstroombichtheden voor kaal staal anders dan damwanden en combiwanden in water

De minimum stroomdichtheid die bij het ontwerpen van een kb-systeem toegepast dient te worden, is weergegeven in Tabel 3. In zoet water (<2,5 ppt) is het toepassen van opofferingsanoden weinig effectief en efficiënt, hier zal opgedrukte stroom toegepast moeten worden.

Situatie			Stroomdichtheid in mA/m <sup>2</sup>	
	saliniteit in ppt	Stroomsnelheid in m/s	Onderhoud / gemiddeld	Einde levensduur (alleen relevant voor opofferingsanoden)
Zeewater en zwaar brak water	15 - 40	< 0,5	70	90
		> 0,5	90	115
Matig en licht brak water	2,5 - 15	< 0,5	60	70
		> 0,5	70	90
Zoet water	< 2,5	< 0,5	50	60
		> 0,5	60	80

Tabel 3



Indien regelmatig zeer hoge stroomsnelheden (> 2 m/s) voorkomen dan dient de waarde voor > 0,5 m/s met een factor 1,5 vermenigvuldigd te worden.

Bij een opgedrukt stroomsysteem dient het systeem zodanig ontworpen te worden dat 1,5 keer de maximale stroombehoefte geleverd kan worden.

De initiële stroomdichtheid is in tegenstelling tot de NEN-EN-ISO 13174 vervallen, omdat de kortstondige onvoldoende polarisatie voor de levensduur niet relevant is.

#### 1.c. **Ontwerpstromdichtheden voor kaal staal in de bodem**

De minimum stroomdichtheid voor stroomafgifte naar staal in de bodem, die gebruikt dient te worden bij het ontwerpen van een KB-systeem, is weergegeven in Tabel 4. Per kb-zone wordt de berekende stroomsterkte opgeteld bij de stroomsterkte berekend volgens 1.a en 1.b.

	Situatie		Stroomdichtheid in mA/m <sup>2</sup>		
	saliniteit in ppt	Max. diepte in meters	Initieel / polarisatie	Onderhoud / gemiddeld	Einde levensduur
Zeewater	30 - 40	onbeperkt	25	20	20
Zwaar brak	15 - 30	onbeperkt	25	20	20
Middel brak	10 - 15	7	25	20	20
Licht brak	2,5 - 10	4	25	20	20
Zoet water	< 2,5	2	25	20	20

Tabel 4

#### 1.d. **Kathodische bescherming in besloten ruimten**

In besloten ruimten, zoals ballasttanks, biedt het toepassen van alleen een coating reeds voldoende bescherming tegen corrosie. Dit is in de praktijk de meest effectieve en economische oplossing. In besloten ruimten kan door de toepassing van aluminium opofferingsanoden de zuurgraad toenemen, corresponderend met een verlaging van de pH, wanneer er geen of een beperkte periodieke verversing van water is. Dit kan resulteren in een versnelde degradatie van de coating. Bij toepassing van kb met opgedrukte stroom bestaat de kans op waterstofontwikkeling, hetgeen ook tot een versnelde degradatie van de coating leidt. Om deze redenen wordt de toepassing van kb in besloten ruimten ontraden.

#### 1.e. **Waardes voor coatingverouderingsfactoren van gebruikelijke verfsystemen, bij het ontwerpen van een kb-systeem.**

Er moet rekening gehouden met de afname in de loop van de tijd van de isolatiewaarden van coatings die in combinatie met een kb-systeem worden gebruikt. De coatings zijn in 4 categorieën ingedeeld.

Van deze indeling kan worden afgeweken indien een opdrachtnemer aan de hand van testwaarden van de coatingfabrikant kan aantonen dat andere waarden voor de berekening van de tijdsafhankelijke degradatie van toepassing zijn.

Coating categorie	I	II	III	IV
Initiële beschadigingsfactor	0,100	0,050	0,020	0,020
Jaarlijkse verouderingsfactor	0,050	0,025	0,012	0,006

Tabel 5

Categorie I	Enkellaags epoxy coating met een minimum nominale DFT van 20 $\mu\text{m}$ . Hieronder ook begrepen een shopprimer van voldoende dikte.
Categorie II	Enkel of meerlaagssysteem van een beschermende coating met een minimum nominale droge laagdikte van 250 $\mu\text{m}$
Categorie III	Meerlaagssysteem van een bekende beschermende coating met een minimum nominale droge laagdikte van 350 $\mu\text{m}$
Categorie IV	Meerlaagssysteem met een glasvezelversterkte toplaag met een minimum nominale droge laagdikte van 600 $\mu\text{m}$ (Opm. Deze coating heeft niet de voorkeur van RWS)

Voor alle categorieën geldt een minimum voorbehandeling van het staaloppervlak volgens Sa 2,5, conform NEN-EN-ISO 8501-1.

Deze degradatiefactoren worden gebruikt om de reductiefactor t.o.v. kaal staal te bepalen.

Wanneer een bestaande, gecoate, constructie wordt voorzien van een kb-systeem, zal de coatingbeschadigingsfactor bestaan uit de initiële factor, *a*, vermeerderd met het product van de leeftijd en de jaarlijkse verouderingsfactor, *b*.

#### 1.f. Stroomverliezen

Verlies van beschermstroom kan optreden naar alle andere geleidende staalconstructies waarmee het te beschermen object elektrisch continu is.

Bij damwanden en combiwanden zijn er situaties, waarbij ook de achterzijde een gedeelte van de beschermstroom zal onttrekken. Dit kan optreden wanneer een damwand aan beide zijden in het water staat, maar dit is ook mogelijk bij het gedeelte van buispalen van combiwanden, waar ze onder de tussenplanken uit komen. Ook bij de bescherming van damwanden met anoden op een grotere afstand, zoals met zgn. deepwell anoden, dient hiermee rekening te worden gehouden.

Hierbij is wel de diepterestrictie van Tabel 1.b. van toepassing

Dit is niet van toepassing indien de achterzijde van damwanden en combiwanden van een eigen kb-systeem zijn voorzien.

Ook dient bij aangrenzende gewapend betonconstructie rekening te worden gehouden met stroomafvloeiing naar de wapening, bijvoorbeeld bij sluisdeuren en stuwschuiven. Ook dient rekening te worden gehouden met andere metalen, zoals roestvaststaal, onderdelen aan sluisdeuren, aardingsystemen en leidingwerk.

## Bijlage 2 Richtlijnen voor de berekening van anoden (weerstand, stroomafgifte en levensduur)

### 2.a. Berekening van de anodeweerstand $R_a$

De in deze RTD vermelde formules worden in de praktijk algemeen gebruikt en zijn alleen van toepassing onder de aangegeven geometrische voorwaarden.

Wanneer hiervan wordt afgeweken dient door middel van een computermodel met FEM/BEM analyse en door veldmetingen aangetoond te worden dat de voorgestelde afwijkingen realistisch zijn.

#### 2.a.1. Stand-off anoden met een afstand tot de te beschermen constructie van ten minste 30 cm

Voor  $L \geq 4r$ :

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left[ \ln\left(\frac{4L}{r}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

Voor  $L < 4r$ :

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left\{ \ln\left[\frac{2L}{r} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right)\right] + \frac{r}{2L} - \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L}\right)^2} \right\} \quad (2)$$

Bij een afstand tussen 30 en 15 cm dient de met (1) of (2) berekende anodeweerstand met een factor 1,3 te worden vermenigvuldigd.

Bij een afstand < 15cm dient de anode te worden beschouwd als een flush-mounted anode en de anodeweerstand wordt berekend met (3) of (4).

#### 2.a.2. Lange (Lengte > 4xBreedte) anoden met een afstand tot de te beschermen constructie van 5 cm of minder (flush-mounted anode)

$$R_a = \frac{\rho}{2S} \quad (3)$$

#### 2.a.3. Korte (Lengte < 4xBreedte) anoden met een afstand tot de constructie van 5 cm of minder.

$$R_a = 0.315 \times \frac{\rho}{\sqrt{A}} \quad (4)$$

waarin:

- $R_a$  is de berekende anodeweerstand in ohm, [ $\Omega$ ];
- $\rho$  is de soortelijke elektrische weerstand van het water in ohm·meter, [ $\Omega \cdot m$ ];
- $L$  is de lengte van de anode in meter, [m];
- $r$  is de straal van de dwarsdoorsnede van de anode in meter, [m];  
Indien de dwarsdoorsnede niet rond is, dan geldt:  $r = C/2\pi$  met C de omtrek van de dwarsdoorsnede van de anode
- $S$  is het rekenkundig gemiddelde van lengte en breedte van de anode in meter, [m];
- $A$  is het blootgestelde oppervlak van de anode in vierkante meter, [ $m^2$ ].

## 2.b. Berekening van de anodeweerstand aan het eind van de levensduur.

Voor opofferingsanoden neemt de anodeweerstand in de loop van de tijd toe door geleidelijke afname van de afmetingen.

Voor het ontwerp is het daarom belangrijk dat de stroomopbrengst van een opofferanode ook aan het eind van de levensduur wordt bepaald (zie tevens de einde levensduur stroomdichtheden in Tabel 1.a. en 1.b.).

### 2.b.1. Berekening anodegewicht op einde levensduur.

Voor alle anodevormen geldt hier:

$$W_{final} = W_{initial} \cdot (1 - u) \quad (5)$$

waarin:

$W$  is het netto gewicht van het anodemateriaal (zonder stalen ingietdeel), [kg];

$W_{initial}$  is het initiële netto gewicht, [kg];

$W_{final}$  is het resterende netto gewicht op einde levensduur, [kg];

$u$  is de verbruiksfactor, waarvan de waarde wordt bepaald door de anodevorm waarbij de anode niet meer de gewenste beschermstroom kan leveren. Hierbij is ook de vorm van het ingietdeel relevant.

Voor stand-off anoden geldt  $u = 0.90$ ; voor lange flush-mounted anoden wordt aangehouden  $u = 0.85$  en voor korte flush-mounted anoden geldt  $u = 0.80$ .

### 2.b.2. Berekening einde levensduur afmetingen.

Voor lange anoden geldt:

$$L_{final} = L_{initial} \cdot (1 - 0,1 \cdot u) \quad (6)$$

waarin:

$L$  is de lengte van de anode in meter, [m];

$L_{initial}$  is de initiële lengte, [m];

$L_{final}$  is de lengte op einde ontwerplevensduur, [m].

De geometrie van de verbruikte anode, inclusief het ingietdeel, op het einde van de ontwerplevensduur, wordt dan geacht een cilindervorm te zijn met een lengte  $L_{final}$  terwijl de resterende dwarsdoorsnede wordt berekend met behulp van de resterende massa,  $W_{final}$ , de soortelijke massa van de toegepaste legering,  $d_{anode}$ , en het volume van het ingietdeel binnen de lengte,  $L_{final}$ , van de resterende anode.

$$X_{final} = \frac{W_{final}}{d_{anode} \cdot L_{final}} + X_{core} \quad (7)$$

$$r_{final} = \sqrt{\frac{X_{final}}{\pi}} \quad (8)$$

waarin:

$X_{final}$  is de grootte van de dwarsdoorsnede van de anode (inclusief ingietdeel) op het einde levensduur, [m<sup>2</sup>]

$X_{core}$  is de grootte van de dwarsdoorsnede van het ingietdeel, [m<sup>2</sup>];

$d_{anode}$  is de soortelijke massa van de anodelegering, [kg/m<sup>3</sup>];

$r_{final}$  is de einde levensduur radius van de anode, [m].

De anodeweerstand op einde levensduur,  $R_{a,final}$ , wordt dan bepaald met behulp van de relevante formule, waarbij de waarden van  $r_{final}$  en  $L_{final}$  worden gebruikt.

De anodelengte op einde levensduur,  $L_{final}$ , berekend volgens NEN-EN-ISO 13174 (en deze RTD) is groter dan die gebruikt in de DNV RPB 401, waardoor de stroomopbrengst ook iets groter zal zijn.

Voor anoden met een afstand < 5 cm van de constructie geldt dat de doorsnede van de eindvorm een halve cirkel is, dus:

$$r_{final} = \sqrt{\frac{2X_{final}}{\pi}} \quad (9)$$

Bij korte anoden met een afstand < 5cm geldt dat de anodeweerstand niet verandert.

### 2.c. Weerstand van de elektrolyt

Een kb-systeem kan alleen op een verantwoorde wijze worden ontworpen indien de specifieke (elektrische) weerstand van het water,  $\rho$ , op de locatie op een juiste wijze is bepaald. Indien er hierover geen betrouwbare gegevens beschikbaar zijn, dient  $\rho$  te worden gemeten.

Met name bij het ontwerp van opofferingsanoden is dit belangrijk, omdat gebruik van onjuiste waarden kan resulteren in een incorrect ontwerp.

Bij opgedrukte stroomsystemen is dit minder kritisch mits er voldoende reserve in aandrijfspanning beschikbaar is.

Voor constructies in beheer van RWS geldt een indeling in 5 categorieën, waarbij een temperatuur gemiddelde van 15 °C wordt aangehouden.

Dit geeft de standaardwaarden opgenomen in Tabel 6, waarvan mag worden afgeweken indien betrouwbare meetwaarden beschikbaar zijn.

	saliniteit in ppt	Reken / ontwerp weerstand in ohm·cm
Zeewater	30 - 40	30
Zwaar brak water	15 - 30	40
Matig brak water	10 - 15	80
Licht brak water	2,5 - 10	250
Zoet water	< 2,50 - 1	500

Tabel 6

In de aanbestedingsfase dient de opdrachtgever een waarde voor  $\rho$  op te geven.

### 2.d. Stroomafgifte opofferingsanoden

De stroomafgifte van opofferingsanoden dient te worden berekend met de wet van Ohm:

$$I = \frac{\Delta U}{R} \quad (10)$$

waarin:

I is de stroomafgifte in Ampère;  
 $\Delta U$  is de aandrijfspanning in Volt;  
 R is de weerstand in Ohm.

$\Delta U$  wordt meestal gezien als het potentiaalverschil tussen de gepolariseerde potentiaal van de beschermde constructie en de potentiaal van het anodemateriaal in zeewater.

Voor het ontwerp van een kb-systeem met opofferingsanoden dienen de waarden in Tabel 7 te worden gebruikt. Deze waarden dienen ook te worden aangehouden wanneer er sprake is van een negatievere bescherm potentiaal in verband met een hoge kans op de aanwezigheid van MIC.

Anodemateriaal	Elektrolyt	Gesloten klem spanning in V	Bescherm potentiaal in V	Ontwerp aandrijfspanning in V
Zinc (US-Mil en High purity)	Zeewater	-1,00	-0,8	-0,20
	Bodem	-0,95	-0,8	-0,15
Aluminium-zinc-indium	Zeewater	-1,05	-0,8	-0,25
	Bodem	-0,95	-0,8	-0,15
Magnesium High potential		-1,70	-0,8	-0,90
Magnesium Low potential		-1,50	-0,8	-0,70

Tabel 7

De in Tabel 7 gegeven waarden gelden voor potentialen gemeten in zeewater ten opzichte van een Ag/AgCl-zeewater referentie-elektrode. Deze waarden worden alleen gebruikt in het ontwerp voor de bepaling van dimensies van anoden.

Bij het uitvoeren van metingen worden deze potentiaalwaarden gecorrigeerd voor toepassingen in een elektrolyt met een lagere specifieke weerstand, conform de Tabel in Bijlage 6.

## 2.e. Anode levensduur

De levensduur van de anode ( $T_{anode}$ ) wordt met de volgende formule bepaald:

$$T_{anode} = \frac{W_{anode} \cdot u}{E \cdot I_{s,anode}} \quad (11)$$

waarin:

- $T_{anode}$  is de effectieve levensduur van de anode in jaren, [jr];
- $W_{anode}$  is de netto massa van de anodelegering in kg (zonder ingietdeel), [kg];
- $u$  is de gebruiksfactor, [-]; (zie 2.b.1.)
- $E$  is de verbruiksnelheid van de anodelegering in het specifieke milieu, [kg/jr]; (zie EN 12496, artikel 8.4.3.4)
- $I_{s,anode}$  is de gemiddelde stroomopbrengst tijdens de levensduur van de anode, [A].

## 2.f. Minimum vereiste netto massa

Voor de bepaling van de minimum hoeveelheid netto anodemassa voor een specifieke zone, dient de volgende formule te worden gebruikt:

$$W_{total} = \frac{I_{mean} \cdot T_{design} \cdot 8760}{Q \cdot u} \quad (12)$$

waarin:

- $W_{total}$  is het minimum totale vereiste netto gewicht van opofferingsanoden, [kg];
- $u$  is de gebruiksfactor, [-] (zie 2.b.1.);
- $Q$  is de elektrochemische capaciteit van het anodemateriaal in het betreffende milieu, [Ah/kg]; (zie EN 12496, Annex B1.2, B2.2 en B3.2)
- 8760 is het aantal uren in een jaar, [hr/jr];
- $T_{design}$  is de ontwerplevensduur, [jr].

### Bijlage 3 Richtlijnen voor eigenschappen van opgedrukte stroom anodematerialen

Anode materialen	Verbruik	Maximum stroom dichtheid	Maximum voltage tussen anode materiaal en elektrolyt
	$\text{g}\cdot\text{A}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$	$\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$	V
Geplatineerd titanium	0,004 - 0,012 <sup>a</sup>	500 - 3000	8 <sup>b</sup>
Geplatineerd niobium	0,004 - 0,012 <sup>a</sup>	500 - 3000	50
Geplatineerd tantalum	0,004 - 0,012 <sup>a</sup>	500 - 3000	100
Mixed Metal Oxide (MMO) op tita- nium draagmateriaal	0,0005 - 0,001	400 - 1000 <sup>c</sup>	8 <sup>b</sup>
Lood zilver <sup>d</sup>	25 - 100	250 - 300	24
Chrome silicium ijzer	250 - 500	10 - 30	50

<sup>a</sup> De levensduur van de platina film wordt nadelig beïnvloed door een hogere weerstand van het water. Hierdoor is dit materiaal minder geschikt voor toepassing in brak en zoet water.

<sup>b</sup> In zeewater kan de oxidehuid van titanium bij een potentiaal hoger dan 8 volt afbreken. Het betreft hier de anode – elektrolyt spanning en niet de uitgangsspanning van de transformator-gelijkrichter. (Dit wordt wel eens ten onrechte zo gezien. Doordat er ook een spanningsval door het elektrolyt plaatsvindt en tussen het elektrolyt en de kathode, kan bij zeewater en zwaar brak en midden brak een transformator-gelijkrichter spanning van 24 Volt DC worden gebruikt. Bij licht brak en zoet water mag de maximale spanning van de transformator gelijkrichter 48 Volt DC zijn.

<sup>c</sup> In koud zeewater is de maximale stroomdichtheid van MMO anoden maximaal 100 A/m<sup>2</sup> zijn bij een temperatuur tussen 0° - 5 °C en 300 A/m<sup>2</sup> tussen 5°- 10°C.

<sup>d</sup> PbO<sub>2</sub> films hebben een minimale anodestroom nodig om in stand te blijven. Dit maakt dit anodemateriaal minder geschikt, waarbij tevens het milieueffect nog meespeelt. Doordat deze anoden semi-inert zijn, gaat tevens lood in oplossing bij een normaal gebruik.

Tabel 8

## Bijlage 4 Richtlijnen voor (kwaliteits)eisen aan opofferinganoden

### 4.1. Algemeen

Bijlage 2 geeft de rekenwaarden die gebruikt dienen te worden bij het ontwerp van een kb-systeem met opofferinganoden. In deze bijlage worden de kwaliteitseisen gespecificeerd.

Het betreft hier eisen voor: fysische toleranties, chemische samenstelling, Testprocedures en Documentatie.

### 4.2. Fysische toleranties

#### 4.2.1. Gewichten

Individuele anoden met een netto gewicht van 50 kg of meer hebben een netto gewichtstolerantie van  $\pm 3\%$  van het nominale gewicht, met een maximum van 2,3 kg. Individuele anoden met een netto gewicht minder dan 50 kg hebben een netto gewichtstolerantie van  $\pm 5\%$  van het nominale gewicht.

De totale netto gewichtstolerantie per project is tussen:  $-0,0\%$  en  $+2\%$

Alle anoden met een nominaal gewicht van 20 kg of meer worden individueel gewogen en gerapporteerd.

Van alle anoden met een nominaal gewicht minder dan 20 kg en van alle ingietdelen, wordt ten minste 10% individueel gewogen.

#### 4.2.2. Afmetingen

##### 4.2.2.1. Anoden

De anode dimensies zullen aan de volgende voorwaarden voldoen:

- a. Anode gemiddelde lengte mag maximaal  $\pm 3\%$  afwijken van de nominale lengte met een max. van  $\pm 25$  mm.
- b. Anode gemiddelde breedte mag maximaal  $\pm 5\%$  afwijken van de nominale breedte.
- c. Anode hoogte mag max.  $\pm 10\%$  afwijken van de nominale hoogte.

De rechtheid van de anode in axiale richting mag niet meer afwijken dan 2% van de nominale lengte van de anode (exclusief ingietdeel)

Van alle anoden met een gewicht van 20 kg of meer zal dit worden gecontroleerd en gerapporteerd.

Van ten minste 10 % van alle anoden met een gewicht minder dan 20 kg zal dit worden gecontroleerd.

##### 4.2.2.2. Ingietdelen

De doorsnedetolerantie van enkelvoudige ingietdelen wordt bepaald door de norm waaraan de materialen moeten voldoen.

De lengte tolerantie voor alle ingietdelen is gelijk aan die van de anode waarin ze worden gegoten.

De doorsnede tolerantie voor samengestelde ingietdelen is gelijk aan die van de anode waarin ze worden gegoten.

Deze afmetingen zullen voor ten minste 10 % van alle anoden worden gecontroleerd.

De positie van de ingietdelen in de anode hebben een maximale tolerantie van 5% van de anode afmeting voor de breedte en de lengte, en van 10% voor de diepte.

De positie van het ingietdeel in de anode zal worden bepaald op  $\frac{1}{4}$  en  $\frac{1}{2}$  van de anode lengte.

Deze positiebepaling wordt tegelijkertijd uitgevoerd met de doorsneden van de anoden t.b.v. de controle op inhomogeniteit, zoals beschreven onder 4.2.4. *Interne defecten en destructief testen.*



#### 4.2.3. Oppervlaktegesteldheid

##### 4.2.3.1. Anoden

Voor installatie dienen alle anoden visueel geïnspecteerd worden en aan de volgende voorwaarden voldoen:

- Slinkholtes mogen geen diepte hebben die groter is dan 10 % van de anodedikte (gemeten van de bovenste rand tot het diepste punt)
- In slinkholtes mag het ingietdeel niet zichtbaar zijn
- In het bijvul gebied (topping up area) mag de slink niet meer zijn dan 10 mm en niet meer dan 0,5 % van het anodevolume.  
Het bijvul materiaal moet volledig verbonden zijn met de anodemassa.
- Koudloop mag niet meer dan 10 mm diep zijn en geen lengte groter dan driemaal de breedte van de anode hebben.
- Alle uitsteeksels die gevaar voor mensen (duikers) kunnen opleveren, dienen verwijderd te worden.
- Scheurvorming is niet toegestaan voor zink en magnesium anoden.
- Scheurvorming in aluminium anoden is beperkt toegestaan, met de volgende beperkingen:
  - Scheuren mogen niet voorkomen in een gedeelte dat niet wordt ondersteund door het ingietdeel.
  - Scheuren mogen niet doorlopen tot aan het ingietdeel
  - Langsscheuren zijn niet toegestaan, m.u.v. het bijvul gebied
  - Dwarsscheuren langer dan 100 mm of breder dan 1 mm, zijn niet toegestaan.
  - Maximum 10 scheuren per anode zijn toegestaan.
  - Scheuren mogen zich maximaal over 2 aangrenzende zijden van de anode bevinden.

##### 4.2.3.2. Ingietdelen

Voor zinkanoden en magnesiumanoden moeten de ingietdelen (inserts) zijn gestraald tot Sa 2½, volgens NEN-EN-ISO 8501-1.

Voor zinkanoden en magnesiumanoden mogen de ingietdelen ook thermisch verzinkt zijn. Indien elektrolytisch verzinkte ingietdelen worden gebruikt, dient door testen aangetoond te worden dat er een voldoende hechting tussen het staal en het anodemateriaal is verkregen.

Voor aluminium anoden moeten de ingietdelen zijn gestraald met een kwaliteit Sa 2½.

Verzinkte ingietdelen mogen niet worden gebruikt.

Visueel zichtbare vervuiling of roestvorming voorafgaand aan het gietproces is niet toegestaan.

##### 4.2.4. Interne defecten en destructief testen.

Door de opdrachtgever wordt aangegeven hoeveel anoden, aanvankelijk, destructief getest moeten worden. Wanneer een anode niet voldoet aan de eisen, zal een andere anode van dezelfde partij op dezelfde wijze worden getest. Indien deze ook niet voldoet, zal de gehele partij worden afgekeurd, tenzij expliciet vooraf anders is overeengekomen. Wanneer anoden destructief worden getest (doorgezaagd), zal de anode op 3 plaatsen worden doorgezaagd, t.w.: op afstanden van 25 %, 50 % en 75 % van de nominale lengte.

De oppervlakken van de doorsneden zullen visueel worden geïnspecteerd en afmetingen m.b.v. mechanische meetmiddelen bepaald, waarbij de volgende criteria van toepassing zijn:

- De locatie van het ingietdeel in de anode mag niet meer afwijken dan 5 % voor flush mounted anoden en 10 % voor stand-off anoden. (In beide richtingen)
- De totale oppervlakte van gasholtes en porositeit mag niet meer dan 2 % van het oppervlak van de doorsnede zijn, met een maximaal oppervlak van 1 cm<sup>2</sup> per holte.
- Niet-metallische insluitingen mogen niet groter zijn dan 1 cm<sup>2</sup> en totaal niet meer dan 1% van het oppervlak van de doornede zijn.
- Onvoldoende hechting (zichtbare ruimte tussen het ingietdeel en het anodemateriaal) mag voor ronde ingietdelen niet meer dan 10 % van de omtrek

van het ingietdeel zijn, waarbij over het totaal aan doorsneden per anode 1 locatie met een lengte van 20 % van de omtrek van het ingietdeel is toegestaan. Voor platte ingietdelen zijn deze waarden respectievelijk 20 % en 40 %.

#### 4.3 Samenstellingseisen

##### 4.3.1. Algemeen

Bij de getallen voor samenstellingseisen zijn de standaard afrondingsregels van toepassing op de analyse resultaten, waarbij het aantal significante cijfers wordt opgegeven bij de specificatie.

##### 4.3.2. Aluminium anoden

Tenzij uitdrukkelijk anders is overeengekomen, zullen aluminium anoden aan de volgende samenstellingseisen voldoen:

Element	Legering
Zn	3,0 – 5,5 %
In	0,016 – 0,040 %
Fe	0,09 % max
Si	0,10 % max
Cu	0,005 % max
Cd	0,002 % max
Overige totaal	0,02% max. per element 0,1 % max. totaal
Al	Rest min. puur 99,85 %

Tabel 9

##### 4.3.3. Zinkanoden

Tenzij uitdrukkelijk anders is overeengekomen, zal voor zinkanoden bij toepassing met een saliniteit van 5 ppt en minder, legering Z2 worden gebruikt. Bij een saliniteit hoger dan 5 ppt mag ook legering Z1 worden gebruikt. De samenstellingseisen voor deze legeringen zijn:

Element	Legering Z1	Legering Z2
Al	0,1 – 0,5 %	0,005 % max
Cd	0,025 – 0,007 %	0,003 % max
Fe	0,005 % max	0,0014 % max
Cu	0,005 % max	0,002 % max
Pb	0,006 % max	0,003 % max
Overige totaal	0,10 % max	0,005 % max
Zn	99,314 % min	99,99 % min

Tabel 10

- 4.3.4. Magnesium anoden  
Magnesium anoden zijn beschikbaar in 2 samenstellingen, aangeduid met M1 en M2. Legering M2 dient te worden gebruikt bij situaties met een saliniteit minder dan 2,5 ppt. De samenstelling voor deze legeringen zijn:

Element	Legering M1	Legering M2
Mn	0,15 - 0,7 %	0,5 - 1,5 %
Al	5 - 7 %	0,05 % max
Zn	2 - 4 %	0,03 % max
Fe	0,005 % max	0,03 % max
Cu	0,08 % max	0,02 % max
Si	0,3 % max	0,05 % max
Pb	0,03 % max	0,01 % max
Ni	0,003 % max	0,002 % max
Overige totaal	0,30 % max	Elk 0,05 % max
Mg	rest	rest

Tabel 11

- 4.3.5. Ingietdelen  
Indien in de specificatie een kwaliteitseis is gesteld, dient te worden aangetoond dat hieraan wordt voldaan.  
De ingietdelen dienen in ieder geval te voldoen aan de eisen zoals gesteld in EN 10025 voor alle delen en een maximaal koolstofequivalent van 0,45 hebben voor alle delen die een lasbewerking ondergaan bij fabricage en/of montage.

#### 4.4. Testprocedures en rapportage.

- 4.4.1. Gewichtsbeplating  
Per individuele levering wordt een gewichtsrapport verstrekt.  
Hierop wordt vermeld:  
Per verpakkingseenheid het brutogewicht inclusief verpakking.
- 4.4.1.1. Ingietdelen  
Per anode type het nominaal gewicht.  
Steekproef aantal en gemiddeld gewicht.
- 4.4.1.2. Anoden  
Per anode type het nominale gewicht inclusief ingietdeel en per anode van 20 kg nettogewicht of meer:  
Gietnummer – volgnummer – gewicht inclusief ingietdeel.  
of per anode < 20 kg nettogewicht:  
Steekproef aantal en het gemiddelde gewicht per anode inclusief ingietdeel.
- 4.4.2. Visuele inspecties  
Per individuele levering wordt een inspectierapport opgesteld en aan de opdrachtgever verstrekt.  
Dit rapport mag worden gecombineerd met het gewichtsrapport.
- 4.4.2.1. Ingietdelen  
De ingietdelen worden visueel geïnspecteerd voorafgaand aan het gietproces en dienen te voldoen aan de eisen van 4.2. Van deze inspectie wordt aantekening gemaakt op het inspectierapport.
- 4.4.2.2. Anoden  
Alle anoden worden visueel geïnspecteerd en dienen te voldoen aan de eisen van 4.2. Deze visuele inspectie vindt plaats nadat de anoden volledig zijn afgekoeld.  
Van deze inspectie wordt aantekening gemaakt op het inspectierapport.

Tevens wordt elke anode met een gewicht van 20 kg en meer voorzien van een ingeslagen goed-keurmerk.

- 4.4.3. **Materiaalanalyse**  
De chemische samenstelling van het toegepaste anodematerialen wordt in een analyse rapport vastgelegd.
- 4.4.3.1. **Ingietdelen**  
Voor ingietdelen kan worden volstaan met een kopie van het materiaalcertificaat van de fabrikant waarbij minimaal dient te worden voldaan aan de eisen van ISO 10474.
- 4.4.3.2. **Anoden**  
Voor alle anoden zal voorafgaand aan de gieting de samenstelling van het smeltbad worden bepaald en de resultaten worden vastgelegd en opgenomen in een analyse rapport.  
Voor smeltbad afmetingen boven 2500 kg dient ook aan het eind van de gieting een analyse te worden gemaakt en de resultaten dienen te worden opgenomen in het analyse-rapport. Indien uit deze analyse blijkt dat de chemische samenstelling niet aan de specificatie voldoet, dan dient de fabrikant een nader onderzoek uit te voeren naar welke anoden na de eerste gieting zijn gefabriceerd en dient aangetoond te worden welke anoden wel aan de eisen voldoen. Indien hier niet voor wordt gekozen zal de gehele gieting worden afgekeurd.
- 4.4.4. **Bepaling van de elektrochemische capaciteit**  
Er bestaan meerdere beproevingsmethoden om de benodigde elektrochemische capaciteit van het anodemateriaal te bepalen.
- 4.4.4.1. **Product kwalificatie**  
Voorafgaand aan de opdrachtverstrekking dient een fabrikant door middel van een certificaat van een lange termijn test conform DNV RPB 401 Annex C, dat de aangeboden legering voldoet aan de eisen, genoemd in dit document.  
Deze test zal worden uitgevoerd door een onafhankelijk laboratorium of onder toezicht van een onafhankelijke partij.  
De aangetoonde capaciteit van een specifieke legering mag niet lager zijn dan de waarde gebruikt bij het ontwerp.
- 4.4.4.2. **Productie controle**  
Per levering en per 15 ton netto anodemateriaal dient een elektrochemische test conform DNV RP B401 Annex B te worden uitgevoerd.  
Indien deze test door de gieterij zelf wordt uitgevoerd, heeft de opdrachtgever het recht om tijdens deze test een inspectie uit te voeren.  
De laagste waarde welke is toegestaan voor een gehele opdracht is minimaal gelijk aan de waarde welke is gebruikt bij het ontwerp.  
Met inachtneming van de her-test mogelijkheden, zoals in Annex B van DNV RPB 401 beschreven, zal een partij waarvan het teststaafje niet voldoet aan de minimumeisen volledig worden afgekeurd. Het is de fabrikant toegestaan om onder toezicht van een onafhankelijke partij monsters te nemen van anoden van een andere gieting die tot dezelfde partij behoort om aan te tonen dat die gieting wel aan de eisen voldoet.
- 4.4.5. **Destructief onderzoek**  
Bij destructief onderzoek, zoals beschreven in 4.2.4. zullen de resultaten fotografisch worden vastgelegd. Hiertoe wordt elke doorsnede duidelijk en blijvend gemerkt met het nummer van de gieting en de anode, aangevuld met de aanduiding welke doorsnede het betreft en met een meetmiddel met schaalverdeling in beeld fotografisch vastgelegd.  
Deze foto's zullen onderdeel uitmaken van de rapportage.

## Bijlage 5 Omrekeningsfactoren referentie-elektroden voor saliniteit

Referentie-elektroden, zoals in deze bijlage beschreven, worden in het algemeen gebruikt voor het meten van metaal/elektrolyt potentialen van constructies of als meetelektroden in een monitoringsysteem.

Referentie-elektroden kunnen tevens worden gebruikt bij het opsporen van zwerfstromen. De voor kathodische bescherming meest gebruikte referentie-elektroden zijn:

- Zilver/ZilverChloride – zeewater en zink – zeewater referentie-elektroden.
- Zink – zeewater elektroden zijn zeer robuust en kunnen worden gebruikt als controle-elektroden voor opgedrukte stroomsystemen.
- Zilver/ZilverChloride – zeewater elektroden zijn voor hun potentiaal afhankelijk van het lokale chloridegehalte van het zeewater en zijn betrouwbaar bij toepassing in niet vervuild zeewater met een saliniteit van ongeveer 3,5% (= 35 ppt)

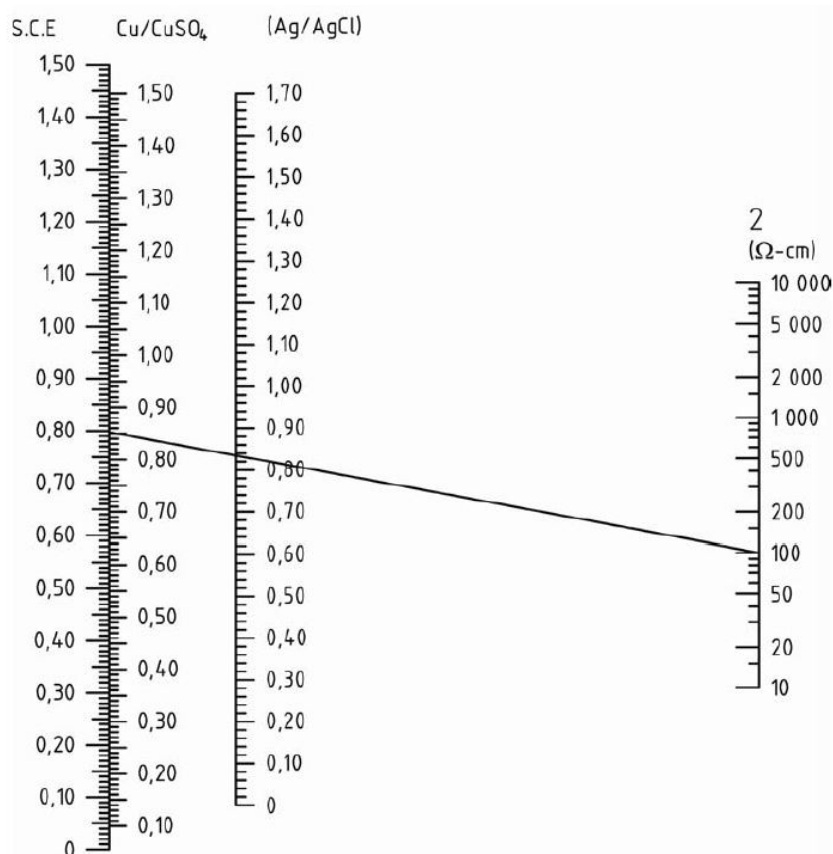
Voor gebruik van deze pseudo referentie-elektroden in brak en zoet water dienen de gemeten waarden daarom te worden gecorrigeerd voor de daar ter plaatse aanwezige saliniteit.

Een lagere saliniteit van het water, zoals in riviermondingen en havens waarop rivieren uitmonden of regenwater toevoeren, maken de potentiaal van de referentie-elektrode meer positief. Dat heeft tot gevolg dat de potentiaalwaarde van de constructie schijnbaar meer negatief is.

Bij een watertemperatuur van 25 °C en een saliniteit van 3,5 ppt (0.35%) bedraagt het verschil ongeveer 60 mV.

Figuur 2 geeft de verhoudingen aan ten opzichte van een SCE (Saturated Calomel Elektrode).

Bij gebruik in zeewater is de potentiaal gemeten met een SCE referentie-elektrode nagenoeg gelijk aan de waarde gemeten met een Ag/AgCl(-zeewater) elektrode.



Figuur 2

Zoals in het voorbeeld zichtbaar wordt gemaakt, geeft een specifieke weerstand van 100  $\Omega$ ·cm bij toepassing van een Ag/AgCl-water referentie-elektrode -0,84 V aan en niet de juiste waarde -0,80 V.

Wanneer er geen nauwkeurige informatie met betrekking tot de saliniteit of de specifieke weerstand van het water beschikbaar is, dient bij voorkeur een zogeheten Ag/AgCl/KCl referentie-elektrode te worden toegepast. Hierbij is een draad van Ag/AgCl geplaatst in een afgesloten reservoir voorzien van een poreuze plug waarin zich naast de elektrode ook kaliumchloride met een bekende en constante concentratie bevindt. De evenwichtspotentiaal van de Ag/AgCl/KCl referentie-elektrode is afhankelijk van de molariteit van de in het reservoir aanwezige KCl-oplossing. Bij de beoordeling van de gemeten potentialen van de beschermde staalconstructie dient met deze afhankelijkheid rekening te worden gehouden.

Als alternatief kan voor deze omstandigheden ook een Cu/CuSO<sub>4</sub> referentie-elektrode worden toegepast. Evenals de Ag/AgCl/KCl referentie-elektrode verandert de evenwichtspotentiaal van de Cu/CuSO<sub>4</sub> referentie-elektrode niet bij variërende saliniteit.

Zink-elektroden worden in 2 uitvoeringen toegepast, namelijk als *high purity* zink (gemaakt van een legering Z2 in Tabel 11 in Bijlage 4) en als anodemateriaal volgens Z1 in dezelfde Tabel.

Typische potentialen voor zink ten opzichte van Ag/AgCl/0.5KCl zijn: -1030 mV voor puur zink (Z2) en -1050 mV voor legering Z1.

Afhankelijk van de mate van vervuiling van het omringende water of oxidevorming kan dit bereik variëren tussen -1000 en -1060 mV.

Wanneer er continu een klein anodisch stroompje door de zink referentie-elektrode wordt geleid en deze stroom wordt alleen kort voor de meting onderbroken, zal deze range kleiner zijn.

Tabel 12 geeft de potentialen van referentie-elektroden t.o.v. een normale waterstof elektrode (NHE; bij 25 °C)

Elektrode	Potentiaal (V)
Zilver/Zilverchloride/verzadigd KCl	+ 0,20
Zilver/Zilverchloride – zeewater	+ 0,25 (ongeveer)
Calomel (verzadigd KCl)	+ 0,24
Cu/CuSO <sub>4</sub>	+0,32
Zink Z1 – zeewater	- 0,80 (ongeveer)
Zink Z2 – zeewater	- 0,78 (ongeveer)

Tabel 12: Overzicht van gangbare referentie-elektroden; potentiaalwaarden tov NHE

Compenseren voor een afwijkende temperatuur hoeft in de praktijk meestal niet te worden gedaan.

Ter informatie: de temperatuurcoëfficiënt voor een Ag/AgCl – zeewater referentie-elektrode bedraagt 0,33 mV/°C.