

# Elektrische aspecten bij corrosie van jachten

Door: ing. Albert de Roos

Senior Marine Surveyor

Dutch Marine Project BV



# DMP

## Inhoudsopgave

1 Inleiding .....	4
2 Corrosie.....	5
3 Verf systemen. ....	5
4 Galvanische Corrosie. ....	5
5 Metaal potentialen .....	6
6 Elektrolyt .....	7
7 Galvanische bescherming .....	9
8 Anode systemen.....	10
9 Anode selectie .....	13
10 Anode aantal berekenen .....	14
11 Het plaatsen van anodes.....	15
12 Galvanische isolators .....	17
13 Cathodische bescherming met opgedrukte spanning.....	18
14 Elektrolitische corrosie .....	19
15 Scheidings trafo's .....	20
16 Galvanische scheider gelijkstroom installatie .....	21
17 Lekkage inspectie bij staal en aluminium vaartuigen.....	22
18 Aanbevelingen voor corrosie bescherming.....	24

## 1 Inleiding

Elektrische installaties in jachten gebouwd na juni 1998 moeten voldoen aan de Richtlijn Pleziervaartuigen. Binnen die richtlijn zijn ISO 10133 voor laagspannings gelijkstroom installaties tot 50 volt en ISO 13297 voor laagspannings één fase wisselstroom installaties tot 230 Volt van toepassing. ( Voor drie fase wisselstroom is IEC 60092-507 van toepassing)

De CE regelgeving is opgezet als een minimum standaard. Bij bovenstaande normen wordt galvanische bescherming zijdelings vermeld maar er worden geen directe eisen aan gesteld. Het is zelfs zo dat b.v. ISO 13297 vereist dat de randaarde van de 230 V AC installatie wordt doorverbonden met het casco of alle metalen delen. Wettelijk gezien is het dus ook noodzakelijk dat de randaarde van de wal met het casco wordt doorverbonden. ISO 13297 geeft echter wel mogelijkheden in de vorm van een galvanische isolator of een scheidingstrafo om het probleem van galvanische corrosie te voorkomen.

Doordat de Richtlijn pleziervaartuigen slechts een minimum wettelijke eis is kan een werf zonder problemen een vaartuig op de markt zetten die wettelijk aan alle veiligheden voldoet maar waar in de praktijk in korte tijd de gaten in zullen vallen. In principe is hier de normale aansprakelijkheid nog van toepassing die ook voor juni 1998 van toepassing was. Landen binnen de Europese Unie mogen extra regels en wetten instellen maar mogen niet voorkomen dat CE gemarkeerde vaartuigen op hun interne markt worden geplaatst.

ISO 10133 en ISO 13297 zijn beide normen die in de praktijk goed te gebruiken zijn. Het is echter wenselijk dat er een extra ISO norm van kracht zou zijn om een minimale bescherming tegen galvanische corrosie in te bouwen. Het vergt echter een langdurige en bureaucratisch traject om dit te verwezenlijken.

Deze minimale regelgeving is ook uit concurrentietechnische en veiligheids overweging van belang omdat sommige werven dingen weglaten en daarmee geld besparen en andere werven juist extra geld aan deze zaken uitgeven en wellicht hun bestaansrecht verliezen omdat ze te duur zijn geworden.

## 2 Corrosie

Corrosie met betrekking tot jachten en elektrische systemen kan worden onderverdeeld in twee hoofd categorieën: galvanische corrosie en elektrolitische corrosie. Beide corrosie processen zullen resulteren in een elektrische stroom tussen de twee metalen in een elektrolyt. Het resultaat is een gecorrodeerde romp, schroeven, schroef assen, roeren, en huid doorvoeren.

## 3 Verf systemen.

Hoewel de romp van een vaartuig beschermd wordt door een uitgebreid verfsysteem, het metaal isolerend van het water, wordt de onterechte conclusie vaak getrokken dat corrosie niet kan plaatsvinden en cathodische bescherming niet nodig is. Maar luchtbellens, of kleine gebieden waar de verf niet perfect is aangebracht bevinden zich o.a. langs lasnaden en andere oneffenheden. En verflagen worden beschadigd door kleine en grote botsingen en andere uitwendige invloeden. Koper oxide gebruikt in antifouling kan omgezet worden in kopersulfaat en een galvanische cel creëren. En deze problemen kunnen al optreden voordat we verschillen in metalen en elektrische factoren er bij betrekken.

## 4 Galvanische Corrosie.

Wanneer twee verschillende metalen met verschillende potentialen elektrisch zijn verbonden en geplaatst wordt in de nabijheid of in het water ( het elektrolyt) wordt er een galvanische cel gecreëerd dat het corrosie proces van het basis metaal belangrijk versterkt. Corrosie kan ook optreden als een metalen romp microscopisch kleine verontreinigingen bevat welke lokale anodes en cathodes kunnen vormen. Dit proces veroorzaakt een meetbare elektrische stroom tussen de twee metalen en vormt een galvanische cel. Het gedeelte van de cel dat corrodeert wordt de anode genoemd, en is de meer positief geladen metaal en het andere gedeelte wordt de kathode genoemd en is de meer negatief geladen cel. Corrosie snelheden zijn direct gerelateerd aan de waarde van de veroorzaakte elektrische stroom.

## 5 Metaal potentialen.

Metalen met hogere negatieve potentialen (onedeler) zullen sneller corroderen dan metalen met lagere negatieve (edeler) potentialen.

Metaal	Spanning
Mangensium en legeringen	-1,65 V
zink laag op staal	-1,30 V
zink	-1,10 V
Gegalvaniseerd ijzer	-1,05 V
aluminium legeringen	-0,75 V
Scheepsbouw staal	-0,70 V
Giet ijzer	-0,70 V
Lood	-0,55 V
Mangaan Brons	-0,27 V
Koper, Messing en Brons	-0,25 V
Monel	-0,20 V
Roest vast staal	-0,20 V
Nikkel	-0,15 V
Zilver	0,00 V
Goud	0,15 V

Tabel 1 Metalen in volgorde van minst edele. Let op! Spanningen kunnen in de praktijk afwijkend zijn als gevolg van de samenstelling van legeringen. Deze reeks is slechts opgezet als een indicatie.

## 6 Elektrolyt

Wanneer twee verschillende metalen ( metalen romp en metalen onderwater huid, doorvoeren of de schroef) geplaatst zijn in zeewater of zoet water (beide een elektrolyt) zal het potentiaal verschil tussen beide metalen een elektrische stroom laten lopen. In principe is een batterij gecreëerd. Bestaande uit de twee verschillende polen en een elektrolyt.

Voor het begrip voor de verschillen in zee en zoetwater volgt hierbij een korte uitleg van het elektrolyt.

Zuiver water geleid geen elektrische stroom in principe zal b.v. een mobile telefoon of andere elektrische apparatuur die in een bak met zuiver water wordt gelegd zal gewoon zijn werk blijven doen. Voegen we echter wat normale keukenzout aan het water toe dan verandert de zaak en gaat het water de elektrische stroom geleiden. In principe hebben we daarmee zeewater gecreëerd.

Behalve keukenzout kunnen we ook diverse andere mineralen, metalen en chemicaliën aan het water toevoegen.

Zo geleid normaal leidingwater al een stuk beter dan zuiver water en geleid zoet oppervlakte vaak nog weer beter.

Omschrijving	Weerstand
Zuiver water	20 000 000 $\Omega/cm^3$
Gedestilleerd water	500 000 $\Omega/cm^3$
Regenwater	20 000 $\Omega/cm^3$
Leidingwater	5 000 $\Omega/cm^3$
Rivierwater	200 $\Omega/cm^3$
Zeewater (kustgebieden)	30 $\Omega/cm^3$
Zeewater (oceanen)	20-25 $\Omega/cm^3$

Tabel 2 Specifieke elektrische weerstand in ohm

Het zuur gehalte van zoet oppervlakte kan behoorlijk variëren. Dit is o.a. afhankelijk van de bodemsoort door toevoeging van mineralen e.d. maar ook chemische verontreinigingen door uitstoot van fabrieken of milieu ongelukken kunnen van invloed zijn.

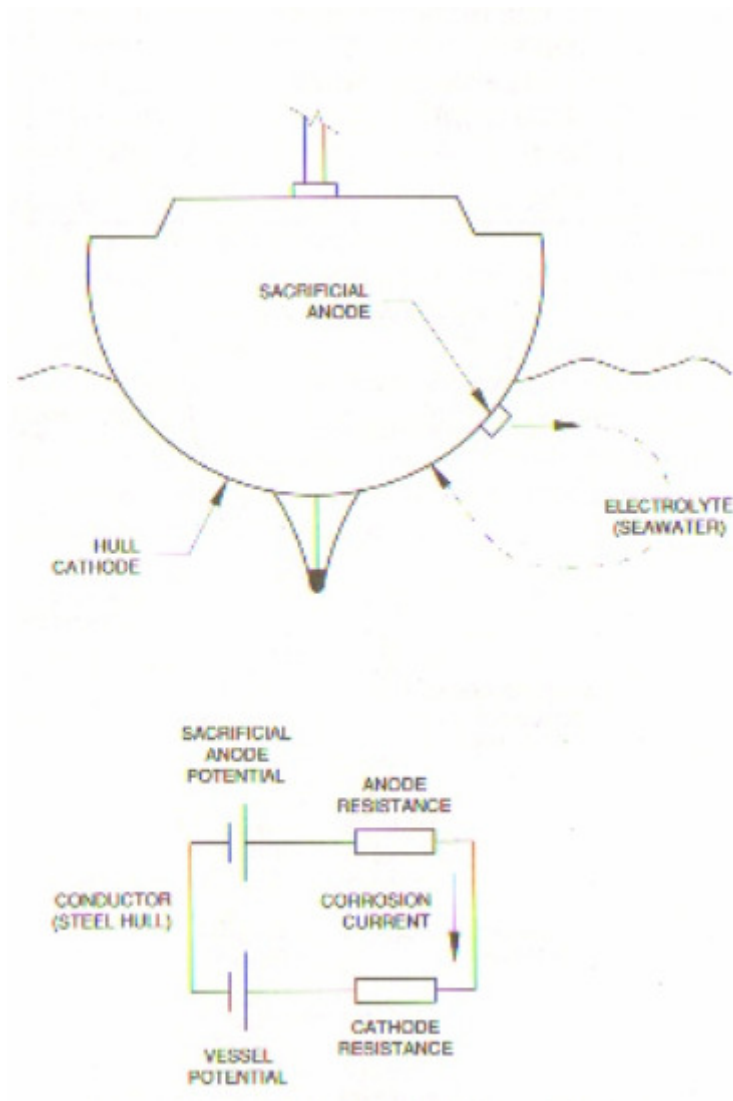
Het zoutgehalte van zeewater is hoog en bedraagt vrijwel overal ter wereld 3,5 %. Hierdoor wordt zeewater sterk geleidend en zal meer dan zoet water aanleiding tot corrosie geven.



De geleidbaarheid van het elektrolyt is niet alleen afhankelijk van de stoffen die zich in het water bevinden maar ook de temperatuur speelt een belangrijke rol. In zeer koud water zal er vrijwel geen stroom gaan lopen en is de corrosie veel minder. In zeer warm water bv in de tropen zal de geleidbaarheid echter groter zijn en zal er een grotere stroom lopen en dus meer corrosie gaan optreden. E.a. is ook afhankelijk van het zuurstofgehalte maar die factor wordt ook weer beïnvloed door de temperatuur.

## 7 Galvanische bescherming

In het ideale geval zou een vaartuig zo geconstrueerd moeten zijn dat de meeste metalen onderdelen hetzelfde potentiaal hebben. Als ze verschillend zijn moeten ze worden geïsoleerd of beschermd. Anodes zijn de normale beschermings manier. Anodes worden ook wel opofferings anodes genoemd omdat zij zichzelf opofferen in plaats van de romp, huiddoorvoeren of andere metalen onderdelen. Omdat ze hoog op de potentialen schaal staan met een lage spanning zullen ze sneller corroderen dan andere onderdelen zoals zacht staal, legeringen enz. De anode genereert een elektrische stroom en omdat de romp een hoger potentiaal heeft zal hij toestaan dat er een stroom door de anode vloeit door de daarmee verbonden onderdelen en terug naar de romp. Figuur 1 illustreert het proces van galvanische corrosie. Tijdens dit proces corrodeert de anode in het zelfde tempo als het niveau van de elektrische stroom, daarmee de romp en andere metalen delen beschermend.



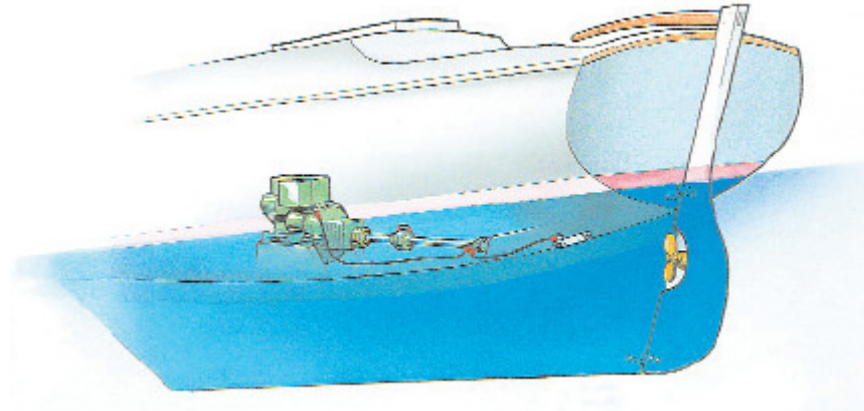
Figuur 1



## 8 Anode systemen

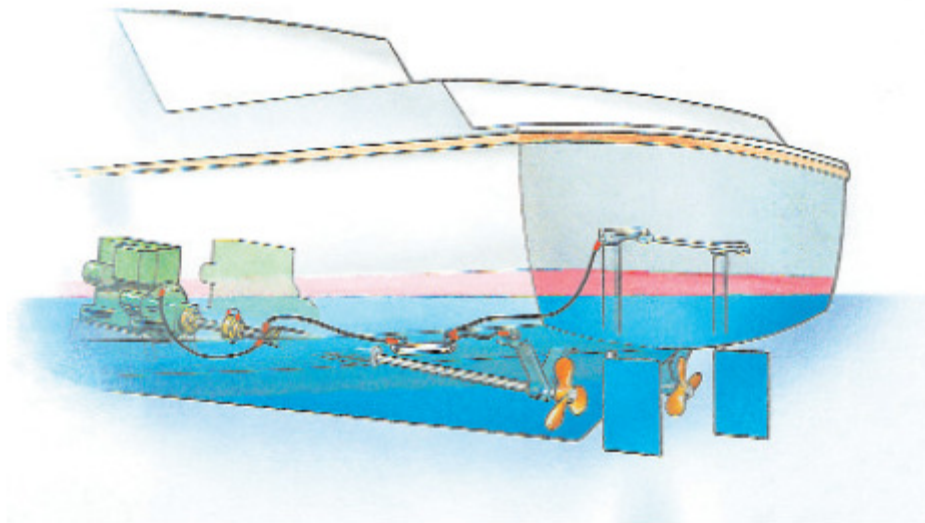
Het is belangrijk dat de anodes de correcte grote en de goede positie hebben. En dat het goede aantal is gemonteerd voor het gebied dat beschermd moet worden. Het is heel goed mogelijk om het vaartuig over te beschermen. Als gevolg daarvan zal door de negatieve potentiaal van de teveel geplaatste anodes juist weer een elektrische stroom gaan lopen. Als het vaartuig zich in water bevindt moeten de anodes vaker gecontroleerd worden. Onderstaand een aantal aanbevolen arrangementen voor het plaatsen van anodes op staal, aluminium, polyester en houten vaartuigen. De positie van anodes is niet kritisch maar ze moeten wel de delen kunnen zien die beschermd moeten worden. Ook moeten de anodes boven het interne lens niveau aangebracht worden en er moet een minimum lengte aan kabel aangebracht worden bij het intern doorverbinden van de diverse componenten. ( Dit laatste geldt voor niet metalen vaartuigen) Anode systemen zijn slechts zo goed als het verfsysteem en de antifouling op de romp en zijn dus zeker geen vervanging voor deze.

- a. Type A vaartuigen. Dit zijn in het algemeen enkelschroef vaartuigen met een schroefas die over een klein stuk aan het water blootgesteld is en een roer uit hout of composiet. Normaal is één anode vereist voor het beschermen van de schroef en schroefas. De belangrijkste anode moet aangebracht worden op gelijke afstand van de motor en het einde van de schroefas



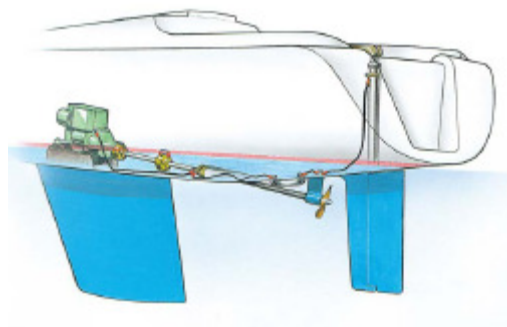
Figuur 2

- b. Type B vaartuigen. Deze vaartuigen hebben een enkele schroef of twee schroeven met een lange blootgestelde schroefas met zacht stalen roeren of roeren van hout of composiet met stalen beslag. Één anode is noodzakelijk voor het beschermen van elke schroef en schroefas met afzonderlijke anodes voor het beschermen van het roer indien dit een zacht stalen roer is. Roeren uit brons, roestvast staal of roeren uit polyester of composiet met metalen beslag kunnen aan de anode aangesloten worden.



Figuur 3

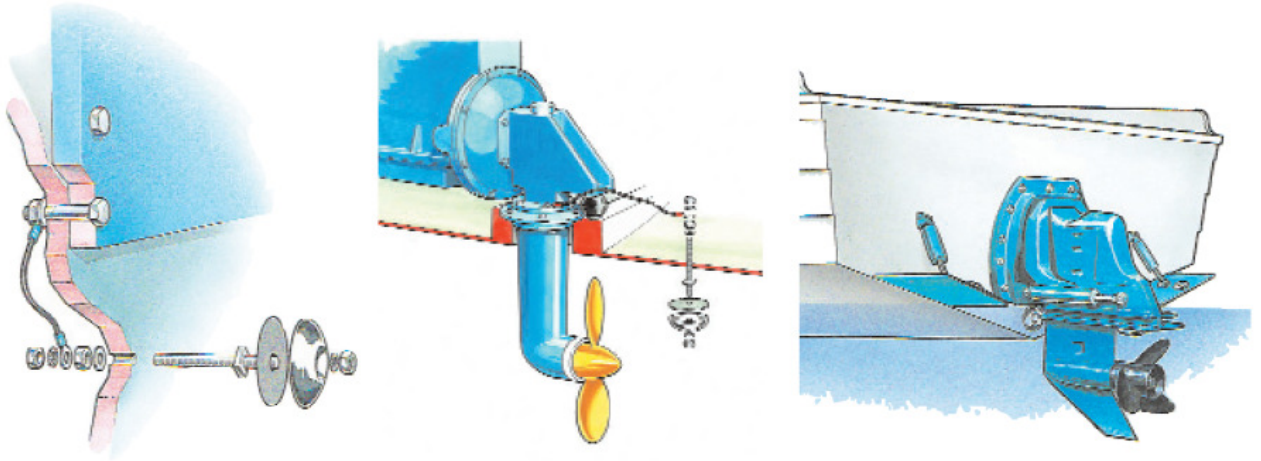
- c. Type C vaartuigen. Hebben een enkele aandrijving met een lang stuk schroefas bloot gesteld aan het water, een schroefas-steun, en polyester of composiet roerbladen met bronzen of RVS roerassen. Eén anode is nodig om de schroef, schroefas, schroefas-steun en roeren te beschermen. Ingelamineerde – of gegoten ijzeren kielen hebben geen aanvullende bescherming nodig, maar plaatstalen kielen dienen beschermd te worden net als stalen roeren



Figuur 4 Type C - vaartuigen

- d. Type D vaartuigen. Zijn vaartuigen uitgerust met een saildrive, hekdrive of buitenboordmotor. De meeste van deze vaartuigen zijn met speciaal voor deze vaartuigen ontwikkelde anodes uitgerust. Het is een aanbeveling om regelmatig visuele controles uit te voeren omdat het versluiten van de anodes door diverse factoren beïnvloed wordt:
- a. De hellingshoek van de aandrijving, de anodes moeten volledig onder water zijn,
  - b. Het vervangen van aluminium schroeven door roestvrijstaal,
  - c. Het plaatsen van extra roestvrijstaal als b.v. schroef beveiliging,
  - d. Het verlies van elektrische geleiding- Vele hekdrives zijn van kleine elektrische geleiders tussen de verschillende componenten voorzien. Deze moeten vervangen worden als ze beschadigd zijn.

Ook de anodes op zeiljachten kunnen van bronzen schroeven en touwsnijders uitroestvrijstaal beïnvloed worden. In die gevallen wordt het aanbevolen om extra anodes te plaatsen.



Figuur 6 – Type D vaartuigen

Indien een boegschroef of hekschroef geplaatst wordt moeten ook die delen voorzien worden van een geschikte anode.

## 9 Anode selectie

Verschillende factoren bepalen de keuze van de te monteren anodes. Ten eerste de omgeving waarin het vaartuig zich bevindt, ten tweede de constructie van het vaartuig en ten slotte de periode gedurende welke het vaartuig beschermd moet zijn. D.w.z. tot het vaartuig voor onderhoud uit het water komt.

Vaartuigen die zich verplaatsen tussen zoet en zout water moeten hiermee rekening houden bij de keuze van de anoden. Zoet water heeft een hogere weerstand dan zout water. In zoet water heeft men dus krachtiger anoden nodig d.w.z. anoden met een zeer laag potentiaal b.v. aluminium of nog later magnesium. Bovendien vormen zink anoden en in mindere mate aluminium in zoet water een witte corrosie korst op de anode die de werking volledig stopt zelfs bij terugkeer op zout water.

Een algemene keuze is zink voor zout water, aluminium voor zoet en brak water en een korte periode in zout water, magnesium uitsluitend voor zoet water.

Waarschuwing! Magnesium werken in zout water te goed en de anoden kunnen dan ook in een zeer korte periode opgelost zijn, bovendien kunnen ze het verfsysteem aantasten.



## 10 Anode aantal berekenen

Om te bepalen hoeveel anoden we nodig hebben dient het oppervlak van het onderwaterschip berekend te worden.

$$A = L_{wl} \times (B + D)$$

A = Natte oppervlak

Lwl = Lengte op de waterlijn bij geladen vaartuig

B = Breedte van het vaartuig

D = Diepgang (zonder aanhangsels als kiel e.d.)

Het zo gevonden nat oppervlak moet met de volgende factor vermenigvuldigd worden:

1,2 voor volle, zwaar gebouwde schepen

0,8 voor normale schepen

0.6 voor slanke licht gebouwde schepen.

Indien er een stalen kiel geplaatst is moet die bij het volume worden opgeteld

$$A_{kiel} = 2 \times (MLk \times Hk)$$

A kiel = Natte oppervlak kiel

MLk = Gemiddelde lengte kiel

Hk = hoogte van de kiel

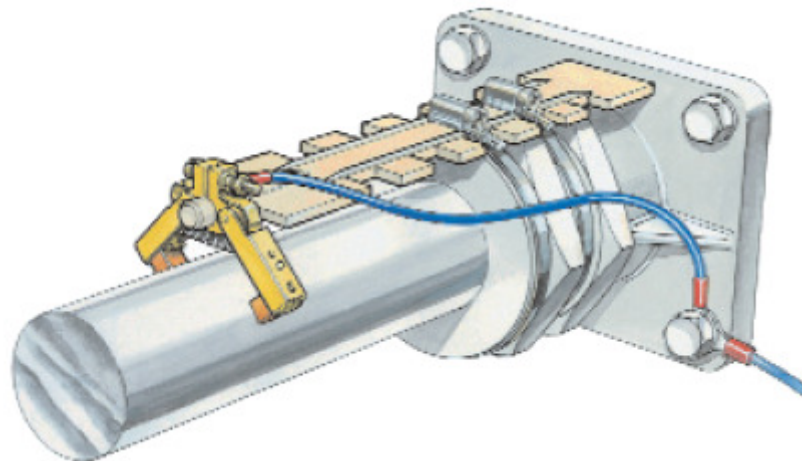
Benodigde anode gewicht ( kg - totaal )							
Natte oppervlak	Aantal	Znk		Aluminium		Magnesium	
		romp	roer	romp	roer	romp	roer
0-10 m <sup>2</sup>	2	5 tot 6	1,5	0,5	0,2	1	0,4
10-25 m <sup>2</sup>	2 tot 4	8 tot 10	2,2	1,5	0,4	2,5	0,4
25-45 m <sup>2</sup>	6	16 tot 20	2,5	2,2	0,4	4,2	0,6
145-70 m <sup>2</sup>	8	24 tot 28	3,5	3,6	0,6	6	0,8

## 11 Het plaatsen van anodes

Er zijn een aantal factoren die bij het plaatsen van anodes overwogen moeten worden.

- a. **Anode Bevestiging.** Anode verbindingbouten bij kunststof of houten vaartuigen moeten worden verbonden met andere delen via de kortste maar praktische route om weerstand in de geleiders te minimaliseren. Het is belangrijk dat deze verbindingen met minimale elektrische weerstand worden gelegd anders wordt de werking van het systeem ongunstig beïnvloed. Een draaddoorsnede van 4 mm<sup>2</sup> is het minimum.
- b. **Het verbinden van huiddoorvoer.** Ga niet elk metalen huiddoorvoer verbinden met elektrische geleiders en slangklemmen aan de anode. Een elektrische connectie is alleen te adviseren voor de koel water aanzuig huiddoorvoer. ( Dit omdat door een grotere en langdurige stroomsnelheid op daar sneller een elektrisch potentiaalverschil optreedt) Alle andere huiddoorvoeren verbonden met rubber of PVC slangen hoeven niet verbonden te worden. De elektrische stroom die in een verbinding circuit loopt is erg klein. Elke weerstand geïntroduceerd door slechte connecties en kabel weerstanden creëert een verschil in potentiaal dat elke preventieve maatregel teniet doet en in de praktijk zelfs vaak problemen veroorzaakt.
- c. **Verzamel strippen.** Een aanbeveling is om in polyester, composiet of houten vaartuigen verzamel strippen te gebruiken en daarvandaan naar de diverse te verbinden punten een elektrische verbinding te maken. Een ster arrangement geeft minder weerstand en bevordert dat als er een verbinding per ongeluk verbroken wordt een groot gedeelte van het netwerk blijft werken.
- d. **Schroef as anodes.** Als er schroefas anodes op schroefassen worden geplaatst wees er dan zeker van dat de schroefas schoon is en niet bedekt met antifouling. De anodes moeten zo dicht mogelijk bij de schroefas steun aan het einde van de schroefas worden gemonteerd. In principe op een afstand van 4-10 mm.
- e. **Annodes voor polyester, composiet of houten vaartuigen.** Er zijn een aantal zaken die in ogenschouw moeten worden genomen bij polyester, composiet of houten vaartuigen.
  1. **Verbinding.** Anodes op polyester, composiet of houten rompen moeten intern in het vaartuig doorverbonden zijn. Dit is een veelgemaakte fout. Het komt veel voor dat anodes niet zijn doorverbonden, dit onderbreekt het elektrisch circuit. Het gevolg is dat de anodes als nieuw zijn als het vaartuig weer uit het water komt. Dit is juist niet de bedoeling!
  2. **Schroefas verbinding.** Glij-ringen zijn niet de ideale oplossing voor korte schroefassen. Het is beter om de koppeling met de motor te overbruggen en een schroefas anode te plaatsen of een separate anode direct elektrisch verbonden met de motor.
  3. **Dicht gaten rond de anode bouten.** Dicht altijd het hout af rond anode bout gaten. Voorkom dat het hout in contact komt met de bouten want dit kan hout elektrolyse voorkomen als er een situatie is van overbescherming. Het hout zal dan zeer snel wegrotten.

- f. **Tijdelijke anodes. Sommige** aluminium en stalen schepen gebruiken zink anodes en elektrische geleiders terwijl ze in de haven liggen of voor anker liggen. Deze moeten goed geaard worden op de romp en moeten een kabel met zeer lage weerstand hebben voor de verbinding naar de anode. Er zijn speciale roestvrijstalen geleiders voor dit doel op de markt. Het nadeel van zelfgemaakte koperen kabels is dat deze zeer snel oplossen in zout water en daarmee hun werking verliest. Ook in een zoetwateromgeving zijn zoveel zuren aanwezig dat het koper vrij snel groen uitslaat en weggevreten wordt.
- g. **Schroefas koppeling verbinding.** Veel motor installaties bevatten flexibele koppelingen naar de Schroefas. De koppeling moet elektrisch overbrugd worden om zeker te zijn van een goede elektrische geleiding in het systeem. Of, waar en hoe
- h. **Schroefas verbinding. De** standaard methode om een Schroefas te verbinden met het anode systeem is het plaatsen van Schroefas geleider met koolborstels.



Figuur 7- Schroefas geleider voor een as kleiner dan 50 mm

## 12 Galvanische isolators

Deze apparaten zijn ontworpen voor het galvanisch scheiden van een AC aarde geleider van een DC negatieve geleider wanneer ze zijn doorverbonden. In principe wordt de rand aarde van de wal via de galvanische isolator doorverbonden met de randaarde van het vaartuig.

- a. Typen galvanische isolators. Er bestaat controversy tussen de ontwerpen van de verschillende typen galvanisch isolators. Er zijn vragen rondom de technische ontwerpen maar ook de plaats van deze apparaten is niet geheel duidelijk. Veel galvanische isolators voldoen niet aan de eisen gesteld in de Amerikaanse ABYC standaards en de wereld wijd gebruikte ISO standaarden. Op dit moment zijn er in Nederland ontwikkelde galvanische isolators op de markt die aan de richtlijnen gesteld in de Richtlijn Pleziervaartuigen voldoen. Deze worden o.a. geleverd door Victron.  
Veel van de vanuit Amerika aangeleverde galvanische isolators voldoen niet aan die eisen.
- b. Installatie. Wanneer een galvanische isolator wordt geplaatst is het belangrijk om de installatie instructies zorgvuldig te volgen. Wees er zeker van dat de galvanische isolator voor het interne aarding circuit aan boord van het vaartuig wordt geplaatst. Het apparaat mag absoluut niet in de interne verbinding tussen AC aarde en DC min geplaatst worden.
- c. Veiligheids waarschuwingen. Het is in Nederland en veel westeuropese landen niet toegestaan om deze galvanische isolators in een 230 V AC installatie op de wal te plaatsen. De elektrische installaties aanboord van jachten vallen buiten deze regels en moeten bij jachten gebouwd na juni 1998 voldoen aan de Richtlijn Pleziervaartuigen in dit geval aan ISO 13297 en ISO 10133. Daarin is het gebruik van galvanische isolators wel toegestaan.  
Het is vereist dat het aardings circuits aan de wal en die aan boord zeer goed zijn anders kunnen er gevaarlijke situaties optreden.



### 13 Cathodische bescherming met opgedrukte spanning.

Deze systemen worden over het algemeen gemonteerd op grotere stalen schepen maar ook bij damwanden en andere stalen constructies in het water kan deze techniek gebruikt zijn.

- a. Theorie. Een cathodische bescherming met opgedrukte spanning gebruikt een voedingsbron om een stroom door het elektrolyt te voeren naar de onderdelen die beschermd moeten worden. Beschermd gebied worden hierbij ongezegt van anodes in kathodes wat metaal corrosie voorkomt.
- b. Anodes. Bij een opgedrukte spanning systeem wordt gebruik gemaakt van een anode met een relatief edele samenstelling. Zoals zilver/lood legeringen, tantalium of platina. De spanning kan worden ingesteld waardoor de elektrische stroom geregeld kan worden en het proces precies gecontroleerd kan worden. Corrosie protectie is er zolang de beschermende stroom aanwezig is. Bij normaal gebruik zal een isolerende zoutlaag gevormd worden over een beschadigde of poreuze plek in de romp. Er zijn systemen beschikbaar voor kleine vaartuigen maar een groot bezwaar is het nodig hebben van een voeding. Een stalen vaartuig dat permanent in een haven verblijft en over een wal aansluiting beschikt kan echter goed met dit soort systemen beschermd worden.
- c. Cathodische bescherming problemen. Het is erg belangrijk om een vaartuig niet over te beschermen. Traditionele verfsystemen zullen zachter worden en gaan schilveren als zich blaasjes onder de verflaag vormen. Ook belangrijk is het voorkomen van het aantasten van het vaartuig van de buurman.

## 14 Elektrolitische corrosie

Elektrolytische zwerf stroom corrosie wordt veroorzaakt door extern opgewekte elektrische gelijkstroom die passeren door een metalen voorwerp ( anode), door een elektrolyt (vaarwater) en vervolgens door een ander metaal ( kathode ). Beschermings maatregelen tegen galvanische corrosie zijn slecht gedeeltelijk effectief tegen elektrolitische corrosie. Elektrolitische corrosie zal de snelheid van de corrosie behoorlijk opvoeren. Als fouten niet worden opgemerkt zal er een snelle degradatie van anodes gevolgd door het beschadigen van de antifouling en daarna de metalen delen plaatsvinden. In veel gevallen zijn er een veelheid aan oorzaken en alleen een zorgvuldige analyse zal je juiste oorzaken naar voren brengen.

- a. **Bronnen van elektrolitische corrosie.** Elektrolitische corrosie wordt veroorzaakt door een externe gelijkstroom bron.
  1. **Gelijkstroom lekkage circuits.** De meest algemene gelijkstroom lekkage zijn lekages veroorzaakt door condens of geleidende zouten in circuits met elektrische gelijkstroom verbindingen of verbindings boxen. En oppervlakte lekken langs de bovenkant van een accu naar de positieve pool veroorzaakt door vocht en stof. Dit kan rechtstreeks van de min naar de pluspool gaan en een snelle veroudering van de accu tot gevolg hebben maar de min kan ook overal elders in het vaartuig optreden en daarna een stroom door het gehele vaartuig laten lopen.
  2. **Gelijkstroom aardings fouten.** Aardings fouten in gelijkstroom geleiders vinden plaats wanneer de kabel isolatie wordt beschadigd en contact wordt gemaakt met de romp of andere daarmee verbonden metalen delen. In veel gevallen zal de fout niet groot genoeg zijn om circuit beveiligers in werking te doen treden en kan onopgemerkt blijven gedurende een zeer lange en misschien vernietigende tijd.
  3. **230 V AC wal stroom circuits.** Een probleem kan optreden als vaartuigen zijn gekoppeld aan de randaarde van de 230 V AC wal installatie door de randaarde in de walstroom kabel. Elke opgedrukte gelijkstroom op de wisselstroom zal corrosie veroorzaken. Als het de AC verbinding is uitgeschakeld blijft toch de randaarde verbinding in stand het daarmee voor zwerfstromen mogelijk maken om via de randaarde verbinding terug te gaan. Een ander probleem is het verwisselen van nul geleiders en randaarde dat maakt het mogelijk voor zwerfstromen om door gepolariseerde gelijkstroom installaties te gaan
  4. **Stroming in oppervlakte water.** Het is mogelijk dat er zich elektrische ladingsverschillen in het water rondom het vaartuig bevinden, Dit wil bijdragen aan corrosie en wordt veroorzaakt door verschillen in zoutgehalte en temperatuur. Als verf afgebladderd onder de boek kan een circuit gecreëerd worden met anodes of huiddoorvoeren in een ander gedeelte van het vaartuig in een gebied met water in verschillende elektrischeladings toestanden.

5. **Potentiaal van AC aardsystemen.** Het is mogelijk dat er variaties zijn in aard potentialen tussen diverse walaansluitingen in jachthavens.
  - b. **Corrigerende maatregelen.** Installeer een gelijkstroom lek tester zodat de romp continu gecontroleerd kan worden en op tijd tegenmaatregelen genomen kunnen worden.
    1. **Gelijkstroom lekkage.** Alle connecties moeten in passende waterdichte verbindingssystemen worden gemaakt. Ideaal zou zijn als er geen connecties zijn in natte omgevingen. Verbindingen moeten worden geplaatst in droge locaties weg van metalen delen die zwerfstromen kunnen geleiden naar de romp. Installeer een lekstroommonitor op stalen en aluminium vaartuigen.
    2. **Gelijkstroom aardfouten.** Wees er zeker van dat alle kabels dubbel geïsoleerd zijn. Controleer dat alle doorvoeren door metalen wanden beschermingen hebben tegen schavielen om ongewilde aard verbindingen te voorkomen.
    3. **230 V C wal stroom.** Stalen en zeker aluminium vaartuigen moeten een scheidingstrafo hebben in de walstroom voeding. Daarmee wordt een elektrische scheiding gemaakt tussen de wal installatie en de installatie aan boord. Een aparte aarde in het 230 V AC circuit aan boord wordt doorverbonden met de gearde DC installatie.

## 15 Scheidings trafo's

Een zeer goede manier voor het loskoppelen van de walaarde van die aan boord van het vaartuig is het toepassen van een scheidingstrafo. Deze ontkoppeld niet alleen de wal aarde maar ook nul en fase zijn niet rechtstreeks met het vaartuig verbonden. Het vermogen wordt via een transformator omgezet en kan ook naar een lager of hogere spanning getransformeerd worden. Dit is afhankelijk van het type en constructie van de scheidingstrafo.

## 16 Galvanische scheider gelijkstroom installatie

Indien men een volledig dubbelpolige gelijkstroom installatie wil maken krijgt men met b.v. een SSB ontvanger en de marifoon antenne problemen. Dit omdat de min dan in veel gevallen met de massa is doorverbonden. Ook onderdelen uit de auto industrie veroorzaken dezelfde problemen. Ook al deze apparaten hebben de min aan massa. B.v. autoradio's, acculaders, omvormers, lampen e.d. De laatste categorie is in principe niet geschikt en soms gevaarlijk om aan boord van een vaartuig te gebruiken.

Indien ze toch gebruikt worden kunnen ze doordat de min aan massa is gelegd elektrolytische problemen veroorzaken.

Indien de min aan massa gelegd moet worden zoals b.v. bij een SSB ontvanger kan men een speciaal voor dat doel ontworpen galvanische scheider toepassen. Dit apparaat krijgt voeding van het normale gelijkstroom net aanboord en voorziet de gebruiker van een volledig van het hoofdnet gescheiden spanning. Men moet zorgen dat de capaciteit van de galvanische scheider in overeenstemming is met verbruik.

Dit apparaat voorkomt door de volledige scheiding dat er elektrolitische corrosie kan optreden.

## 17 Lekkage inspectie bij staal en aluminium vaartuigen

Het is altijd moeilijk om een romp volledig boven het aardpotentiaal te houden. Vocht en olie restanten gemengd met zout aanslag verlaagt het isolatie niveau. Het is belangrijk om regelmatig de isolatie waarden te bekijken om zeker te zijn dat de isolatie nog in stand is.

- a. **Passieve test isolatie waarde.** Deze test meet simpel het niveau van de weerstand tussen romp en beide positieve en negatieve pool van de accu. Een multimeter op weerstand meten in een bereik van 0 – 100 k $\Omega$  is vereist. Te nemen stappen
  1. Schakel de hoofdschakelaar uit.
  2. Indien het een gepolariseerd systeem betreft met de min aan het casco verwijder dan indien mogelijk de verbinding tussen min en casco. Schakel alle schakelaars en zekeringen in om er zeker van te zijn dat alle elektrische circuits hetzelfde potentiaal hebben.
  3. Verbind de positieve meetpen met de positieve geleider en de negatieve met het casco of het verzamel punt van het anode systeem. Observeer en noteer de aanwijzing.
  4. Verbind de positieve meetpen met de negatieve geleider en de negatieve met het casco of het verzamel punt van het anode systeem. Observeer en noteer de aanwijzing.
- b. **Passieve test resultaten.** De bovenstaande test kan als volgt geïnterpreteerd worden:
  1. 10 k $\Omega$  of meer zegt dat de isolatie waarde boven het casco is acceptabel.
  2. Een resultaat in het bereik van 1 k $\Omega$  tot 10 k $\Omega$  betekend dat er een lekkage is en dat de isolatie niet volledig goed meer is. Hoewel er niet direct een kortsluiting is kan er lekkage zijn via vocht of een soortgelijke oorzaak. Met de meter aangesloten aangesloten kun je systematisch alle circuits aan en uit schakelen en daarmee proberen om de oorzaak te achterhalen. Een standaard probleemgebied is de omgeving van de startmotor
  3. Een resultaat minder dan 1 k $\Omega$  zegt dat er een serieus lekkage probleem aanwezig is. Behoorlijke corrosie kan het gevolg zijn.
- c. **Spannings isolatie test.** Terwijl een passieve meting zoals bovenstaande aan kan tonen dat alles in orde is kan de spanning op een systeem in werking de isolatie weerstand afbreken en een lekkage veroorzaken. Om de elektrische isolatie weerstand goed te testen moet een spannings test worden uitgevoerd. Bij 230 Volt C installaties moet de test worden uitgevoerd met een 500 volt isolatie tester. Alle resultaten moeten meer dan 1 M $\Omega$  aangeven. Dit wordt niet aanbevolen voor DC gelijkstroom installaties om dat de isolatie waardes van kabels niet altijd toereikend zijn. Een lage spannings DC tester op een waarde van 100 V DC zou gebruikt moeten worden. Een andere eenvoudiger test is als volgt

1. Indien aanwezig verwijder de verbinding tussen de min van de accu en het casco.
2. Schakel de elektrische DC installatie aan zodat alles onder spanning staat,
3. Gebruik een digitale multimeter in het DC bereik. Plaats de positieve meetpen op de plus van de voeding en de negatieve op het casco of het verzamelpunt van de anode.
4. Er zou geen meetwaarde moeten zijn als er een kleine spanning is dan is er lekkage aan de minzijde. Is er een spanning gelijk aan de accuspanning dan is er een volledige verbinding tussen min en het casco.
5. Met een digitale multimeter in het DC bereik. Plaats de negatieve meetpen op de min van de accu en de positieve meetpen op het casco of het verzamelpunt van de anodes.
6. In principe mag er geen spanning zijn. Is er een kleine spanning dan is er een lekkage op de positieve kant van de accu.
7. Schakel systematisch de diverse circuits uit om uit te zoeken waar de lekkage is.

## 18 Aanbevelingen voor corrosie bescherming

Hierbij een aantal aanbevelingen die gevolgd zouden moeten worden.

- a. **Polyester, composiet en houten vaartuigen.** In het algemene moeten de volgende maatregelen worden genomen.
  1. **Verbindingen.** Verbindingen moeten worden gemaakt boven het niveau van het lenswater en alle metalen delen die beschermd moeten worden moeten verbonden worden met het anode systeem. Alle verbindingen moeten minimaal 4 mm<sup>2</sup> dik zijn en vastgemaakt worden op het hoofd verdelingsblok. Verbind bronzen en andere huiddoorvoeren niet met het anode systeem, want normaal gezien zijn die geïsoleerd opgesteld door de kunststof slangen en PVC pijpen. Wanneer het vaartuig op de wal staat doe dan een test met een multimeter op het 1 Ω bereik en controleer de weerstand tussen anode en schroef, de maximale uitwijking mag 0,2 Ω zijn.
  1. **Min Kabels.** Installeer een aparte min kabel van de dynamo naar de accu en plaats ook een aparte min naar de startmotor indien er geen aparte min op de startmotor aanwezig is dan aansluiten op één van de bouten. Dit reduceert de zwerf stromen door het motorblok.
  2. **Bliksem afleider.** Verbind het verbindingblok van de eventueel aanwezige bliksem afleider niet door met de anodes. Dit is een apart systeem met een heel andere functie.
- b. **Stalen vaartuigen.** Stalen vaartuigen verdienen na aluminium de meeste aandacht met betrekking tot corrosie. De volgende voorzorgmaatregelen moeten worden bekeken om galvanische en elektrolytische corrosie te minimaliseren. Goede protectie van een stalen vaartuig hangt samen met een goed aangebracht en goed verfsysteem.
  1. **Verbindingen.** Hoewel het zeer gebruikelijk is om de romp als verbinding te gebruiken is het ook mogelijk om achter elke anode aan de binnenzijde van de romp een bout te monteren en vervolgens alle anodes intern door te verbinden met zeer goede elektrische geleiders. Het is belangrijk dat nergens in de romp verschillen in potentiaal optreden. Bovenstaande methode voorkomt dit zo veel mogelijk. Gebruik als het vaartuig gehellingd is een multimeter in het 1 Ω bereik en controleer de weerstand tussen anode

en schroef. De maximale waarde mag  $0,2 \Omega$  zijn. De maximale waarde tussen anode en het casco moet nul zijn.

2. **Kiel anodes.** Als een stalen kiel is geplaatst, moet een anode aan elke zijde worden geplaatst. Volg de berekeningsmethode voor natte oppervlakte zodat overbescherming niet gaat optreden.
  3. **Min kabels.** Installeer een geïsoleerde dubbelpolige startmotor, dynamo en sensoren Dit voorkomt dat er elektrische connecties zijn met het motorblok. Al de motor niet volledig geïsoleerd is zorg er dan voor dat de motor geïsoleerd is ten opzichte van het casco met isolerende koppelingen en motor steunen.
  4. **230 V AC aarding.** De 230 V AC aarde kan direct met de romp worden doorverbonden. Normaal gesproken loopt hier geen stroom tenzij er een aardlekfout in het systeem aanwezig is. Het is belangrijk dat de romp een onderdeel is van het 230 V AC aardingssysteem omdat bij een fout de romp onder spanning kan komen te staan en er grote gevaren kunnen optreden. Deze verbinding zal geen extra corrosie op de anodes tot gevolg hebben. Verbind de aarde van het 230 V AC systeem met hetzelfde punt als de andere aard verbindingen.
  5. **Scheidings transformator.** Installeer een scheidingstrafo in de 230 V AC voeding vanaf de wal. Dit is waarschijnlijk een van de grootste beschermings maatregelen.
  6. **Interactie tussen vaartuigen.** Vermijd afmeren naast vaartuigen met koperen bescherming of aluminium vaartuigen. Gebruik geen stalen kabels om af te meren.
- c. **Aluminium vaartuigen.** Aluminium vaartuigen hebben andere vereisten dan stalen vaartuigen en het is noodzakelijk dat zijn doeltreffend beschermd worden. Integenstelling tot stalen vaartuigen zullen aluminium vaartuigen niet alleen verf verliezen maar ze zullen vrij snel weggevreten worden. De aanbevelingen voor stalen schepen zijn in nog grotere mate van toepassing voor aluminium schepen.
1. **Materiaal compatibiliteit.** Isoleer of gebruik compatibele huid doorvoeren. Isoleer alle metalen die op een hogere plaats zijn op de edelheids schaal ten opzichte van aluminium. Vermijd bonzen huiddoorvoeren in het geheel.
  2. **Interactie tussen vaartuigen.** Vermijd het afmeren naast stalen of met koper beschermde vaartuigen. De interactie tussen deze vaartuigen en aluminium kan zeer ernstig zijn.
- d. **Ferro cement vaartuigen.** Vergeet de beton component en behandel ze als stalen vaartuigen. Wees er zeker van dat bronzen huiddoorvoeren geïsoleerd zijn opgesteld



