

.....

## BIJLAGE A CORROSIE

Corrosie is een begrip dat beperkt blijft tot metalen. Soms wordt wel eens geprobeerd het corrosiebegrip ook van toepassing te doen zijn op andere materialen, maar deze pogingen hebben vrijwel geen weerklank gevonden.

Het bestrijden van corrosie (Engels: corrosion, Duits: Korrosion, Frans: corrosion), is één van de voornaamste taken van de oppervlaktebehandelingen. Het nut van oppervlaktebehandelingen kan bij corrosiebestrijding als regel ook duidelijk worden aangetoond door een langere levensduur van de producten en daardoor een verminderd gebruik van grondstoffen.

Om een 'vijand' goed te kunnen bestrijden moet men hem kennen, zijn eigenschappen, zijn eigenaardigheden en vooral zijn zwakke plekken.

### A.1 WAT IS CORROSIE, DEFINITIES

Corrosie vindt zijn oorzaak in wezen in een foute materiaalkeuze.

Voor het vervaardigen van metalen voorwerpen en constructies worden over het algemeen onedele metalen gebruikt.

Deze moeten met moeite (energietoevoeging) uit hun ertsen worden vrijgemaakt. Alle onedele metalen zijn in de loop van de aardgeschiedenis overgegaan in chemische verbindingen. Treft men die verbindingen in voldoende (economisch winbare) concentratie aan, dan spreekt men van een erts.

Onedele metalen, die uit hun ertsen zijn gewonnen en voor technische doeleinden worden gebruikt, streven ernaar naar hun ertstoestand terug te keren, dat wil zeggen, chemische verbindingen aan te gaan met het milieu, waarin ze verkeren.

Hieraan ligt een algemeen principe ten grondslag:

Elk systeem in de natuur streeft naar een minimum energie-inhoud.

(Thermodynamisch gezegd: naar maximum entropie.)

Het systeem: onedel metaal + aards milieu, heeft een grotere energie-inhoud dan het systeem metaalverbinding.

Bij de bereiding van een onedel metaal uit zijn erts is immers energie toegevoegd. Deze energie komt bij corrosieverschijnselen weer vrij.

Aan het begin van deze paragraaf is gesproken over foute materiaalkeuze. Dit is uiteraard een gedwongen keuze, want de edele metalen zijn op aarde te zeldzaam, vaak niet voldoende sterk genoeg en voor de meeste gevallen te kostbaar voor algemene toepassing.

Gebruikt men ze toch -meestal als deklaag- dan springt men er zuinig mee om.

In verreweg de meeste gevallen is corrosie een ongewenst verschijnsel.

Het mechanisme van corrosieverschijnselen kan in twee groepen worden ondergebracht: chemisch en elektrochemisch.

.....

Het metaal dat door corrosie wordt aangetast gaat daarbij over in metaalverbindingen, de corrosieproducten.  
Corrosie verloopt altijd van buitenaf, vanaf het oppervlak, naar binnen.

Een definitie van corrosie, gebruikt door de VOM, die de bovenstaande punten omvat, is:

‘Corrosie is een ongewenste chemische of elektrochemische aantasting van een metaal, uitgaande van het oppervlak.’

Een definitie, opgesteld door het NCC, Nederlands Corrosie Centrum, luidt:

‘Corrosie is een ongewenste aantasting van een materiaal tengevolge van chemische of elektrochemische reacties met componenten uit de omgeving’.

## **A.2 CORROSIEKOSTEN**

De kosten van corrosie zijn enorm. Enige uitspraken daarover zijn:

In Engeland gaat circa 4,5% van het BNP (Bruto Nationaal Product) aan corrosie verloren.

Corrosie kost iedere Nederlander tien cent, 4,5 eurocent per uur.

In de Verenigde Staten gaat 4% van de jaarlijkse staalproductie verloren door corrosie.

Het NCC is van mening, dat van de 14 miljard gulden, 6,3 miljard euro per jaar corrosieschade in Nederland 15 à 20% kan worden voorkomen als de beschikbare kennis werkelijk wordt toegepast. Dat is circa 3 miljard gulden, 1,35 miljard euro per jaar.

Het is niet altijd duidelijk wat onder ‘corrosiekosten’ moet worden verstaan:

- het gecorrodeerde metaal, dat verloren is gegaan
- het gecorrodeerde metaal plus bewerkingen die eraan zijn uitgevoerd
- het opknappen van de gecorrodeerde metalen voorwerpen
- afkeur en vervanging van metalen voorwerpen
- vermindering van het esthetisch uiterlijk van de producten
- gevolgschade als:
  - bedrijfsstoringen door machinestilstand
  - verloren manuren
  - verontreiniging van producten
- het aanbrengen van beschermlagen of het nemen van andere corrosiebestrijdende maatregelen
- corrosie-onderricht en -voorlichting.

Al deze kosten zouden niet nodig zijn geweest als er geen corrosie was.



### A.3 CHEMISCHE CORROSIE

Chemische corrosie is aantasting van een metaal, zonder dat daarbij water aanwezig is, dat elektrochemische verschijnselen veroorzaakt. Men spreekt daarom ook wel van 'droge corrosie'. De meest bekende vorm van chemische corrosie is oxidatie bij verhoogde temperatuur.

De vorming van gloeihuid en hamerslag op staal, het 'zwart' oxideren van koper en de vorming van een oxidefilm op aluminium (meestal niet zichtbaar) zijn daarvan voorbeelden.

Toch speelt ook bij deze corrosieverschijnselen water een rol. In volkomen zuivere, watervrije zuurstof kan ijzer tot roodgloei-hitte worden verhit zonder te oxideren.

Naast zuurstof zijn er tal van andere chemische elementen en verbindingen, die onedele metalen aantasten. Voorbeelden zijn: chloor en zwavel. Die treft men echter minder aan in 'normale' milieus: lucht, water, bodem, maar meer in het milieu van de chemische industrie.

Er bestaan corrosietabellen, die daarover uitvoerige informatie geven.

### A.4 ELEKTROCHEMISCHE CORROSIE

Bij elektrochemische corrosie, die in de meeste gevallen verloopt bij omgevingstemperatuur, speelt water een rol. Daarom spreekt men ook van 'natte corrosie'.

Dit zijn als regel de corrosievormen, die men bedoelt, als men het zonder meer over 'corrosie' heeft.

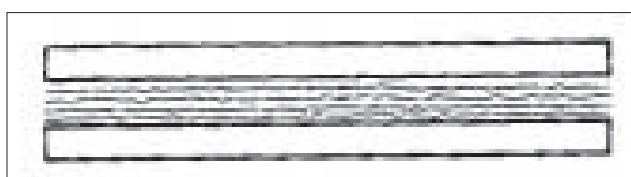
Elektrochemische corrosie speelt zich als regel in een aantal fasen af, waarvan alleen de eerste fase, het primaire corrosieverschijnsel, elektrochemisch verloopt.

De daarna volgende processen, de secundaire corrosieprocessen, zijn meestal zuiver chemische of fysische processen.

#### A.4.1 ELEMENT VAN VOLTA

Het primaire, elektrochemische corrosieverschijnsel is ontdekt door Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, een Italiaans natuurkundige, die leefde van 1745 tot 1827 in Como, Pavia en Padua.

Weliswaar was zijn voornaamste doel niet het verklaren van corrosieverschijnselen, maar het doen van algemene natuurkundige onderzoeken, waaruit

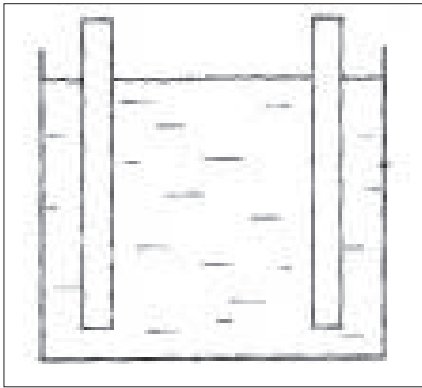


*Figuur A1. Element van Volta, originele*

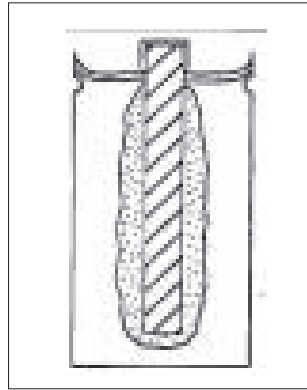
tenslotte een elektrische stroombron ontstond, het element van Volta, figuur A.1.

Dit is de voorloper van onze batterij, figuur A2.

Wat hij wèl waarnam was, dat het onedele metaal, zink, bij



*Figuur A2. Element van Volta, latere vorm.*



*Figuur A3 Zaklantaarnbatterij*

stroomlevering wordt aangetast en dat het meer edele metaal koper, onveranderd blijft. (Bij het oplossen van zink in het element van Volta komt de energie, die gebruikt is om het zink uit zijn erts vrij te maken, weer tevoorschijn, nu in de vorm van elektrische energie).

### A.4.2 ELEKTROCHEMISCHE CORROSIECEL

Een elektrochemische corrosiecel ontstaat, wanneer twee verschillende metalen met elkaar in contact zijn en wanneer een elektrolyet aanwezig is, figuur A.4.



*Figuur A4. Elektrochemische corrosiecel*

Uit deze schets blijkt, dat er een principieel verschil is tussen het element van Volta en een corrosiecel.

Het element van Volta is open, zink en koper zijn niet met elkaar in contact. Het levert alleen stroom als de elektrische stroomkring wordt gesloten.

In een corrosiecel zijn de twee verschillende metalen met elkaar in contact: het element is kortgesloten en het zal daarom de maximaal mogelijke stroomsterkte leveren.

Het minst edele van de twee metalen gaat als primaire corrosiereactie elektrochemisch in oplossing, waarbij elektriciteit wordt geleverd, in de vorm van elektronen:



### A.4.3 SPANNINGSREEKS

In het voorgaande is gesproken over het onedelste van de twee metalen, dat in een elektrochemische corrosiecel wordt aangetast. Voor de praktijk van de corrosiebestrijding is het erg belangrijk te weten welk metaal dat zal zijn. Wanneer men een metaal plaatst in een elektrolyet, zal een deel van de metaal-atomen zich als ion (geladen atoom) in de oplossing begeven (oplosdruk), figuur A.3. Dit proces stopt, omdat de plusgeladen metaal-ionen worden aangetrokken door de in het metaal achtergebleven (negatieve) elektronen. Zeer onedele metalen hebben een grotere oplosdruk dan minder edele metalen.





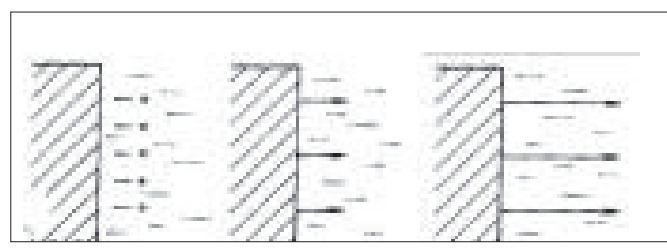
Het is mogelijk deze oplosdruk te meten als een elektrische potentiaal.

Als men nu de metalen rangschikt in volgorde van toenemende oplosdruk, krijgt men de spanningsreeks, tabel A.1.

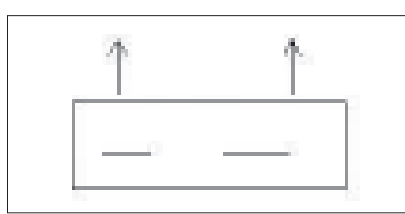
Geheel onderaan staan de edele metalen, die een negatieve oplosdruk hebben, op de plaats nul staat waterstof en daarboven staan de onedele metalen.

Deze metingen worden meestal uitgevoerd in een 1 N (normaal) oplossing van het eigen zout van het betreffende metaal ten opzichte van een referentie-elektrode.

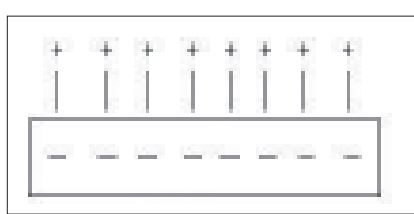
Dit is een situatie, die men in de normale corrosiepraktijk niet aantreft.



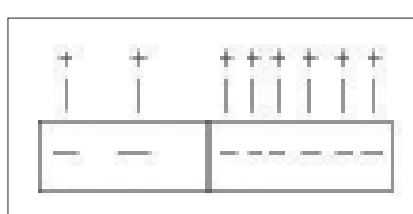
Figuur A5. Oplosdruk.



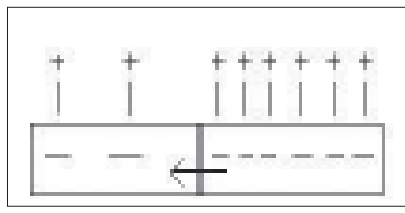
Figuur A6a. Een minder edel metaal heeft een geringere oplosdruk dan een sterk onedel metaal (zie fig



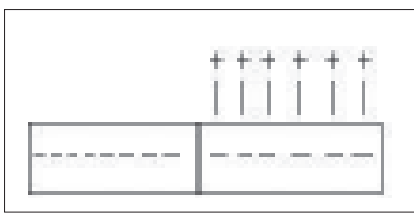
Figuur A6b.



Figuur A6c. Als deze twee metalen met elkaar in contact worden gebracht dan heerst er een potentiaalverschil tussen beide.



Figuur A6d. Elektronen van het sterk onedele metaal vloeien over naar het minder edele, dat daardoor beschermd wordt



Figuur A6e. Het sterk onedele metaal kan nu nieuwe ionen in oplossing brengen en wordt verder aangetast.

TABEL A.1 Elektrochemische spanningsreeks

K <sup>+</sup>	- 2,92 V	Ni <sup>++</sup>	- 0,25 V
Na <sup>+</sup>	- 2,75	Sn <sup>++</sup>	- 0,135
Mg <sup>++</sup>	- 2,34	Pb <sup>++</sup>	- 0,125
Al <sup>+++</sup>	- 1,67	H <sup>+</sup>	0,000
Mn <sup>++</sup>	- 1,05	Cu <sup>++</sup>	+ 0,345
Zn <sup>++</sup>	- 0,76	Hg <sup>++</sup>	+ 0,80
Cr <sup>++</sup>	- 0,71	Ag <sup>+</sup>	+ 0,80
Fe <sup>++</sup>	- 0,44	Pt <sup>++</sup>	ca.+ 1,2
Cd <sup>++</sup>	- 0,40	Au <sup>+++</sup>	+ 1,42



.....

Voor corrosiegebruik is daarom een praktische 'spanningsreeks' opgesteld, tabel A.2, waarin niet alleen zuivere metalen, maar ook legeringen voorkomen. Van sommige metalen en legeringen is zowel de passieve als de actieve toestand vermeld.

Opmerking: de spanningsreeks is ook van belang voor de elektrochemische metaalafscheiding, de galvanotechniek, en de stroomloze metaalafscheiding.

De in tabel A.2 gegeven rangschikking van onedel naar edel geldt voor normale atmosferische corrosie.

TABEL A.2 Praktische spanningsreeks

magnesium	messing
magnesiumlegeringen	koper
zink	brons
aluminium	koper-nikkellegeringen
cadmium	monel
aluminium, koperhoudend	zilversoldeer
staal of ijzer	nikkel (passief)
gietijzer	inconel (passief)
chromiumstaal (actief)	chromiumstaal (passief)
18-8 roestvast staal (actief)	18-8 roestvast staal (passief)
18-11-3 roestvast staal (actief)	18-11-3 roestvast staal (passief)
lood-tinsoldeer	zilver
lood	grafiet
tin	goud
nikkel (actief)	platina
inconel (actief)	

#### A.4.4 ACTIEF EN PASSIEF

Bij de in tabel A.2 genoemde metalen en legeringen zijn er enige, die twee keer vermeld worden; actief en passief. Het valt daarbij op dat deze metalen in passieve toestand een veel edeler plaats in de spanningsreeks innemen, dan in actieve toestand.

Passiviteit van bijvoorbeeld roestvast staal wordt veroorzaakt door een uiterst dunne oxidefilm, die zich hoofdzakelijk vormt als gevolg van het chroomgehalte van deze legering.

Deze oxidefilm veroorzaakt niet alleen een afdichting van het oppervlak, maar hij laat zich ook als edele potentiaal meten. Deze veelal gewenste passieve toestand kan men bijvoorbeeld door passiveringsbewerkingen verkrijgen.

Ongelegeerd staal en staal met een chroomgehalte lager dan 12% vormt bij blootstelling aan de lucht een oxidefilm die niet gesloten is, zodat de corrosie kan doorgaan.

Er zijn diverse metalen die een corrosiegedrag vertonen dat niet in overeenstemming is met hun mate van onedelheid, zoals aluminium en titaan. Ook dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van een oxidefilm.



.....

## A.4.5 DE ELEKTROLIET

Zuiver water is een elektrische isolator. De zeer geringe geleidbaarheid van zuiver water is het gevolg van het feit dat slechts één op de tien miljoen watermoleculen gesplitst is in ionen:



Het is deze uiterst geringe concentratie aan geladen deeltjes die zuiver water praktisch tot een isolator maakt. De geleidbaarheid wordt gemeten in  $\mu\text{S}$ .

Wanneer er zuren, basen of zouten in worden opgelost, stoffen die zich in oplossing in ionen splitsen, wordt water een elektrische geleider, een elektrolyet.

De ionenconcentratie speelt daarbij een grote rol: leidingwater is veel minder geleidend dan zeewater.

In de natuur is al het water in zekere mate verontreinigd. Dat komt door de natuurlijke luchtverontreiniging: zeezout, vulkanisch zwaveldioxide of stikstofoxiden uit hogere luchtlagen. Ook door menselijke activiteiten kan in de natuur voorkomend water verontreinigd worden: de Rijn, zure regen.

De aard en de mate, waarin natuurlijk water is verontreinigd, kan uiteraard door chemisch onderzoek worden vastgesteld, maar bij corrosie van metalen zijn deze gegevens als regel niet bekend. Natuurlijk water uit de lucht (neerslag), oppervlaktewater of grondwater moet daarom worden gezien als een niet-gedefinieerde elektrolyet, waarover alleen in algemene zin iets te zeggen is. Door indampen kan de concentratie van de onzuiverheden in de elektrolyet groter worden en daarmee de agressiviteit van de corrosieverschijnselen. Men treft dit niet alleen aan bij opdrogend regenwater, maar ook bij dauwdruppels, die eerst door stof, dat op oppervlakken hecht, zijn verontreinigd.

In de natuur voorkomend water is aan de kust door de verontreiniging met grotere hoeveelheden zeezout agressiever dan in het binnenland.

In industriegebieden treden sterkere corrosieverschijnselen op dan in een landelijke omgeving, behalve als daar intensieve veehouderij voorkomt, want ook daardoor wordt luchtverontreiniging veroorzaakt.

Droge oppervlakken blijken door condensatie van vocht uit de lucht toch vaak nat te zijn, zodat zich daarop corrosieverschijnselen kunnen afspelen.

Bij een relatieve vochtigheid boven 60% zijn oppervlakken gedeeltelijk met vloeibaar water bedekt, boven 80% RV is een ononderbroken bedekking met vloeibaar water aanwezig, hetgeen bijvoorbeeld het roesten van 'droog' ijzer verklaart. In al die gevallen zijn de oppervlakken bij visuele waarneming (bekijken) droog.

.....

### TABEL A.3 Indeling van klimaten

#### Binnenshuis

- droog, geen condens, minder dan 60% R.V.
- vochtig, meer dan 60% R.V.
- zeer vochtig, meer dan 80% R.V.
- nat, condens.

#### Buitenshuis

- landelijk
- stedelijk, verbrandingsgassen
- industrieel, verbrandingsgassen + verontreinigingen
- agressief industrieel, grote hoeveelheden verontreinigingen
- maritiem, chloride
- maritiem industrieel, chloride + verontreinigingen.

### TABEL A.4 ASTM klimaten

In ASTM B 633 en B 456 worden de volgende 'Service Conditions' onderscheiden, waarnaar vaak wordt verwezen:

#### Service Condition No. SC4 (Very Severe)

Beschadigingen kunnen optreden door indeuken, krassen of slijtage in een corrosieve omgeving.

#### Service Condition No. SC3 (Severe)

Nu en dan of herhaaldelijk nat worden door regen of dauw, scherpe reinigingsmiddelen en zoutoplossingen.

#### Service Condition No. SC2 (Moderate)

Binnenshuis, waarbij zo nu en dan condens kan optreden.

#### Service Condition No. SC1 (Mild)

Binnenshuis, droog, normaal verwarmd.

## **A.4.6 MACRO-ELEMENTEN EN LOKAALELEMENTEN**

Wanneer men in een technische constructie twee ongelijksoortige metalen met elkaar verbindt, waardoor corrosie ontstaat, spreekt men van een *macro-element*. Deze treft men bijvoorbeeld aan bij het verbinden van twee typen plaat aan elkaar, zoals lood tegen aluminium in de bouw, bij een koperen klinknagel in staal, bij bouten en moeren en bij tal van andere constructiedetails.

*Lokaalelementen*, die men ook micro-elementen zou kunnen noemen, worden veroorzaakt door fijn metaalstof, zoals koperslijpsel van de bovenleiding van tram of trein, dat zich afzet op zink of aluminium. Ook ander vuil, zoals kool (roet) op aluminium kan als zodanig werken. Tenslotte kan het metaal zelf onzuiver zijn, waardoor niet alle kristallen dezelfde samenstelling hebben, zie ook A.4.7. Ook dan heeft men te maken met lokaalelementen.



.....

Het verschil tussen een macro-element en een lokaalelement is niet principieel, maar slechts gradueel, het is een kwestie van afmetingen, maar de corrosieverschijnselen zijn in principe dezelfde.

#### **A.4.7 CORROSIE VAN TECHNISCHE METALEN**

In het voorgaande is steeds gesproken over corrosieverschijnselen, die ontstaan door het aan elkaar verbinden van twee ongelijksoortige metalen, maar deze situatie doet zich in de praktijk maar in beperkte mate voor.

Toch treedt corrosie op.

Dat komt omdat technische metalen niet zuiver zijn.

Aan hun oppervlak komen kristallen voor van uiteenlopende samenstelling, die op het oppervlak lokaalelementen vormen.

De gevolgtrekking, dat zuivere metalen dan minder gevoelig moeten zijn voor corrosie, wordt bevestigd door de praktijk.

Een fraai voorbeeld van de praktische toepassing van dit principe treft men aan bij de huidplaten van vliegtuigen. Deze zijn vervaardigd van geplateerd aluminium.

De kern bestaat meestal uit de legering 2024, die 4% koper bevat, wel sterk is, maar een minder goede corrosieweerstand bezit. Deze plaat is aan twee zijden bedekt met een laag zeer zuiver aluminium, aan elke zijde 5% van de totale plaatdikte. Deze bedekking heeft een zeer goede corrosieweerstand, zodat huidplaten ook na lange tijd vrij van corrosie zijn.

#### **A.4.8 SECUNDAIRE CORROSIEVERSCHIJSSELEN**

Bij de primaire corrosiereactie gaan metaalionen in oplossing. Deze in oplossing gegane ionen reageren echter verder met de omgeving. Bij deze secundaire corrosiereacties worden als regel onoplosbare corrosieproducten gevormd. Meestal betreft het hier een opeenvolging van corrosiereacties, die slechts voor enkele metalen, bijvoorbeeld ijzer, diepgaand zijn onderzocht.

Het blijkt dat deze reacties zeer gecompliceerd zijn, dat verschillende chemische reacties parallel verlopen en dat het aantal intermediaire corrosieproducten zeer groot is (bij ijzer bijvoorbeeld tenminste 17).

#### **A.4.9 CORROSIEPRODUCTEN**

Als gevolg van de primaire en secundaire corrosiereacties ontstaan corrosieproducten, die meestal mengsels zijn van verbindingen van het gecorrodeerde metaal.

Corrosieproducten nemen als regel een groter volume in dan het metaal waaruit ze zijn ontstaan, ze zijn meestal microporeus, waardoor ze een grote inwendige oppervlakte hebben, zodat ze allerlei stoffen gemakkelijk aantrekken en vasthouden (adsorptie).

Dit kan bijvoorbeeld zijn vocht, want de meeste corrosieproducten zijn hygroscopisch. Ook andere stoffen, zoals luchtverontreinigingen, kunnen worden opgenomen en geconcentreerd. In ijzerroest bijvoorbeeld kunnen de concen-

.....

traties aan zwavelverbindingen en stikstofoxiden wel het duizendvoudige bereiken van de concentratie in de omgevende lucht. Als gevolg daarvan zijn corrosieproducten als regel sterk corrosiebevorderend. Voor de oppervlaktebehandelingen heeft dit als consequentie, dat corrosieproducten volledig moeten worden verwijderd, omdat achtergebleven resten snel nieuwe corrosie veroorzaken. Het zijn niet de corrosieproducten zelf, maar de daarin geabsorbeerde verontreinigingen die corrosie bevorderend werken.

Vuistregel: Roest verwijderen is niet goed: men moet alle roest verwijderen.

*Corrosieproducten* zijn als regel slechte geleiders voor elektriciteit. De aanvankelijk snel verlopende primaire corrosiereacties worden, wanneer zich corrosieproducten vormen, vertraagd.

Contactcorrosie tussen twee verschillende metalen, die zich aanvankelijk voordeed op het grensvlak tussen de twee metalen, zal zich dan over een breder gebied gaan uitbreiden, omdat de corrosiestroom de weg van de minste weerstand zoekt.

#### **A.4.10 POLARISATIE**

Onder polarisatie verstaat men bij elektrochemische processen grensvlakverschijnselen, die zich uiten als een extra weerstand of als een tegenspanning. In het geval van corrosieverschijnselen zal polarisatie de corrosiesnelheid vertragen.

Polarisatie ontstaat bijvoorbeeld door aan het oppervlak geabsorbeerde waterstof. Door aanwezigheid van depolisatoren (in dit geval oxidatiemiddelen) kan deze polarisatie weer worden opgeheven.

Eén en ander houdt in, dat in de praktijk optredende corrosieverschijnselen over het algemeen een zeer gecompliceerd geheel vormen, waarover slechts in uitzonderingsgevallen kwantitatieve voorspellingen kunnen worden gedaan.

### **A.5 VERSCHIJNINGSVORMEN VAN CORROSIE**

Corrosie kan zich op vele manieren manifesteren.

Wanneer het gaat om zuivere corrosieverschijnselen, waarbij alleen corrosieve invloeden werkzaam zijn, is het aantal verschijningsvormen nog beperkt, maar wanneer corrosie gecombineerd met andere verschijnselen optreedt, kunnen er zeer veel corrosievormen ontstaan, waarvan wij in dit Vademecum slechts de voornaamste kunnen weergeven.

#### **A.5.1 OPPERVLAKTECORROSIE, OVERGAAND IN ALGEMENE CORROSIE**

Wanneer het gehele metaaloppervlak min of meer gelijkmatig wordt aangetast spreekt men van gelijkmatige corrosie (general corrosion). Nadere bestudering leert, dat het metaaloppervlak toch wel een zekere verruwing ondergaat, maar dat de aantasting nergens diep invreet.

Een glanzend metaaloppervlak wordt door de aantasting en door de gevormde

.....

corrosieproducten mat of het verkleurt, bijvoorbeeld bij de vorming van vlieg-  
roest op staal of bij het donker kleuren van koper en zilver.  
Deze corrosie is vooral om esthetische redenen nadelig.  
De sterkte van constructies wordt er weinig door aangetast.

Op *staal* is vliegroest de lichtste vorm van gelijkmatige corrosie. Men spreekt  
ook wel van oppervlaktecorrosie. Men kan door de corrosieproducten heen de  
kleur van het blanke metaal nog zien. Bij het voortschrijden van de corrosie  
ontstaat een over het gehele staaloppervlak bedekkende laag van corrosiepro-  
ducten die wordt aangeduid als algemene corrosie (Engels: general corrosion).  
Dit is klasse C corrosie. Na langere tijd wordt het staaloppervlak onregelmatig  
aangetast door kratervormige invretingen, klasse D volgens ISO 8501-1.

*Aluminium* vertoont een heel ander corrosiegedrag. Ongelegeerd en vooral  
zeer zuivere aluminium wordt in de atmosfeer snel bedekt met een geheel  
gesloten oxidehuid met een dikte van 50  $\mu\text{m}$  (0,05  $\mu\text{m}$ ) die verdere corrosie  
voorkomt. Gelegeerd aluminium, bijvoorbeeld vliegtuigaluminium met 4%  
koper, vormt aan het oppervlak lokaalelementen, waardoor snellere corrosie  
optreedt.

*Koper- en koperlegeringen* ondergaan slechts langzaam gelijkmatige corrosie  
die veelal veroorzaakt wordt door vervuiling, (vingerafdrukken of luchtveront-  
reiniging). Na jaren vormt zich een veelal fraaie groene patina, waarvan de  
kleur afhangt van de samenstelling van de aanwezige luchtverontreinigingen.

*Roestvast staal* ontleent zijn roestvastheid aan de aanwezigheid van een zich  
spontaan vormende oxidefilm, die door een passiveringsbewerking, in optimale  
vorm kan worden verkregen.

*Zink*, hoewel een onedel metaal, vormt in de atmosfeer meestal een tamelijk  
gesloten laag van corrosieproducten, ook wel zinkpatina genoemd, die verdere  
aantasting sterk vertraagt.

*Magnesium* is een zeer onedel metaal, dat bovendien snel poreuze vormt.  
Onbeschermd magnesium moet daarom direct van een goede corrosiewering  
worden voorzien, ook tussen twee bewerkingen in.

Van de *andere metalen* wordt het edele metaal zilver aangetast door zwavel-  
verbindingen. Veel metalen met een hoog smeltpunt (refractory metals) zoals  
titaan, zirkoon, niobium, tantaal, hafnium en vanadium ontleen hun corrosie-  
weerstand aan een gesloten oxidefilm, zoals bij aluminium.

## A.5.2 PUTCORROSIE

Putvormige corrosie (pitting) ontstaat wanneer het metaal alleen plaatselijk  
wordt aangetast en een groot deel van het oppervlak corrosievrij blijft. Deze  
corrosievorm ontstaat door plaatselijke beschadiging van de passieve  
beschermhuid.

Putcorrosieverschijnselen zijn intensief bestudeerd. Daarbij is gebleken dat bepaalde elektrolyetbestanddelen, zoals chloride en bromide, putvormige corrosie veroorzaken of tenminste bevorderen. Putcorrosie uit zich vaak als knobbels op het metaal, omdat de corrosieproducten een groter volume innemen dan het metaal, waaruit ze zijn ontstaan.

Putcorrosie is zeer verraderlijk en kan bij leidingen, tanks en plaatmateriaal leiden tot perforatie, waardoor lekkage kan ontstaan.

Putcorrosie kan ook veroorzaakt worden door vuildeeltjes die zich op een beschermd oppervlak afzetten, bijvoorbeeld bij geanodiseerd aluminium.

### A.5.3 INTERKRISTALLIJNE CORROSIE

Interkristallijne corrosie (intergranular attack), vaak afgekort tot IC., treedt alleen op bij gelegeerde metalen.

De oorzaak van interkristallijne corrosie is dat de samenstelling en/of structuur van de legering langs korrelgrenzen anders is dan in de rest van het metaal.

Twee voorbeelden kunnen dit verduidelijken:

De hardbare aluminiumlegering 2024 bevat 4% koper, dat bij omgevingstemperatuur in het metaal aanwezig is als kristallen van de verbinding koperaluminide,  $\text{CuAl}_2$ .

Bij circa  $500^\circ\text{C}$  lost  $\text{CuAl}_2$ , geheel op in de aluminiumkristallen; de legering bestaat nu niet meer uit twee fasen, maar uit slechts één fase. (Bij dispersieharding maakt men van dit verschijnsel gebruik om een fijne uitscheiding van koperaluminide te krijgen). Worden bij de warmtebehandeling fouten gemaakt, bijvoorbeeld te langdurig verhitten of verhitten bij te hoge temperaturen (ook lassen), dan vormen zich langs de korrelgrenzen  $\text{CuAl}_2$ -kristallen, die te groot zijn om volledig in oplossing te gaan.

Daar  $\text{CuAl}_2$  edeler is dan de aluminium matrix (grondkristal), ontstaat corrosie langs de kristalgrenzen.

De kristallen komen daardoor los van elkaar te liggen (het metaal 'valt als los zand uit elkaar').

Het is opvallend dat aan het metaaloppervlak weinig van deze interkristallijne corrosie te zien is. Er kan echter wel veel metaal worden aangetast, zodat sterktevermindering en breuk kunnen optreden.

Een tweede voorbeeld treft men aan bij het lassen van roestvast staal, dat niet een extra laag koolstofgehalte bezit en dat bovendien niet gestabiliseerd is. Dit is bijvoorbeeld het austenitische staaltype 304.

In een zone naast de lasnaad, waar temperaturen van rond  $500^\circ\text{C}$  hebben geheerst, verbindt de koolstof zich met chroom uit het staal tot chroomcarbidekristallen (er zijn diverse soorten chroomcarbide).

De kristallen vormen bij voorkeur kiemen op de korrelgrenzen (daar is de meeste ruimte en energetisch is de vorming van kristalkiemen daar het gemakkelijkst) en deze kiemen groeien uit tot grotere chroomcarbidekristallen.

Daarbij wordt koolstof, dat zich gemakkelijk verplaatst, aan de gehele matrix onttrokken, maar chroom, dat zich trager verplaatst, komt alleen van de korrelgrenzen.

Daardoor ontstaat een chroom-arme zone langs de kristalgrenzen. Het roest-

.....

vaste staal verliest daar zijn corrosieweerstand en langs de kristalgrenzen wordt het metaal aangetast.  
Dit verschijnsel, dat zich voordoet op enige afstand van de lasnaad, heet in het Engels/Amerikaans 'weld decay'. Het is een vorm van interkristallijne corrosie.

#### **A.5.4 BLADDERCORROSIE**

Bladdercorrosie is een speciale vorm van kristallijne corrosie. Het doet zich onder meer voor bij gewalste aluminiumlegeringen.  
Door het walsen (of smeden) zijn de kristallen langwerpiger uitgerekt. Bij interkristallijne corrosie worden ze door de corrosieproducten omhoog gedrukt, waarbij scherpe metaalbladders uit het oppervlak steken, waaraan men zich kan bezeren.

#### **A.5.5 CONTACTCORROSIE (GALVANISCHE CORROSIE)**

Wanneer twee verschillende metalen met elkaar worden verbonden en ze bevinden zich in een corrosieve (vaak alleen maar vochtige) omgeving, dan ontstaat er een corrosie-element (macro-element of lokaalelement).  
Contactcorrosie, vaak galvanische corrosie genoemd, manifesteert zich meestal als corrosieproducten op en later ook dichtbij het grensvlak tussen twee metalen.

In constructies kan men deze vorm van corrosie voorkomen door in kritische situaties de metalen elektrisch van elkaar te isoleren.

#### **A.5.6 SPLEETCORROSIE**

Wanneer twee metalen zodanig op elkaar rusten, dat daartussen een nauwe spleet aanwezig is, zal deze spleet zich bij buitentoeeping of in een vochtige omgeving snel vullen met vocht. Water aan de buitenzijde van de spleet wordt door capillaire opzuiging snel naar binnen gezogen.  
Als er corrosie optreedt, wordt daarbij zuurstof verbruikt.  
Aan de buitenzijde van de spleet, waar het water in contact is met de omgevingslucht, zal de verbruikte zuurstof snel worden aangevuld. Diep in de spleet gebeurt dit echter niet.  
De elektrolyet wordt dan over de spleetbreedte verschillend van samenstelling: van zuurstofrijk naar zuurstofarm (differential aeration).  
Er ontstaat daardoor een corrosiecel, niet door verschillende metalen, maar door verschil in de elektrolyetsamenstelling.  
In de beschreven situatie ontstaat corrosie op zuurstofarme plaatsen, diep in de spleet dus. Omdat aan de buitenzijde van de spleet geen corrosie optreedt neemt men deze corrosie niet waar.  
Deze situatie doet zich onder andere voor bij een stapel plaatmateriaal, waarbij men pas bij het wegnemen van platen tot de ontdekking komt dat corrosie is opgetreden.  
Ook bij bout- en flensconstructies kan dit verschijnsel optreden.



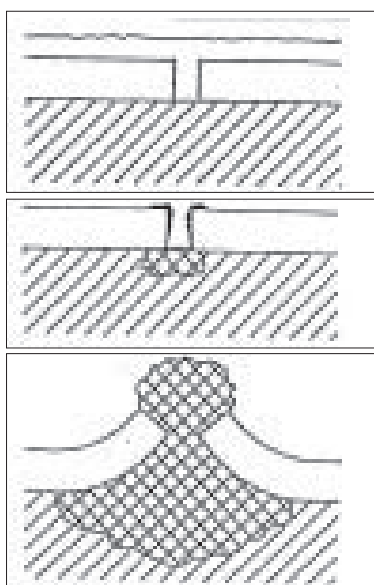
Spleten zijn bij oppervlaktebehandelingen, waarbij met vloeibare chemicaliën wordt gewerkt, zeer nadelig. Badvloeistoffen trekken capillair de spleet in en komen later op een ongewenst moment weer tevoorschijn, vaak met corrosieverschijnselen.

Een remedie voor deze moeilijkheid kan soms worden gevonden door voorwerpen met spleten eerst onder te dompelen in water met detergens (oppervlakteactieve stof).

Deze dringt gemakkelijk capillair diep in de spleten. Schadelijke badvloeistoffen kunnen de spleten nu nog maar oppervlakkig verontreinigen.

De kleine hoeveelheid, die is binnengedrongen kan gemakkelijk worden uitgespoeld.

### A.5.7 CORROSIE VAN POREUS MATERIAAL



*Figuur A7. Contactcorrosie bij fouten in een edeler deklaag op een onedeler*

Poreuze materialen, bijvoorbeeld gietwerk of gesinterd materiaal, kunnen op dezelfde wijze als beschreven bij spleetcorrosie capillair corrosie doen ontstaan. Het is geen aparte corrosievorm, maar een variant van spleetcorrosie.

De oorzaken kunnen zijn verontreinigd water of badvloeistoffen. Deze komen later, bijvoorbeeld als de oppervlaktebehandelingen voltooid zijn, naar buiten en veroorzaken dan schade.

Poreuze materialen moeten niet gebruikt worden voor natte oppervlaktebehandelingen. Treft men ze aan, dan dient een alternatieve, niet-natte methode van oppervlaktebehandelen te worden gekozen.

Voor kostbare onderdelen leent zich het impregneren van poreuze materialen met een geschikte kunsthars, zoals epoxyhars of fenolhars. Veelal past men dan vacuum-druk-impregneren toe.

### A.5.8 CORROSIE ONDER AFZETTINGEN

Wanneer zich in tanks, leidingen of constructies vuil verzamelt, kan daaronder corrosie optreden (deposit attack). Het mechanisme van die corrosie kan verschillend zijn.

Op roestvast staal is vooral de aanwezigheid van organische stoffen, die reducerend werken en daardoor de beschermende oxidefilm verstoren, aanleiding dat het roestvaste staal gaat corroderen.

Op andere metalen is het vooral de spleetwerking onder de afzetting, die nadelig is, zie spleetcorrosie, A.5.6.

Soms spelen zich in afzettingen microbiologische processen af, die agressieve stoffen doen ontstaan, zoals bijvoorbeeld bij de werking van sulfaatreducerende bacteriën.

.....

## A.5.9 SPANNINGSCORROSIE

Een metaal, dat onder mechanische spanning staat, inwendig of uitwendig, heeft een verminderde weerstand tegen corrosie.

Men merkt dit soms als oppervlaktecorrosie, maar veel gevaarlijker is het plotseling optreden van corrosiescheuren en breuk (stress corrosion cracking). De breuk kan zowel inter- als transkristallijn (dwars door de kristallen heen) verlopen. Dit verschijnsel, dat bij veel metalen kan voorkomen, is al zeer lang bekend bij messing.

Stafmessing, vooral zeskante staf en buis, vertoonde dit verschijnsel vaak. Men sprak toen van 'season cracking', omdat men dacht dat het scheuren werd veroorzaakt door de wisseling van de seizoenen. Later bleek, dat de combinatie van inwendige spanningen en een corrosieve omgeving (vochtig koolzuurgas en/of ammonium-verbindingen) deze scheuren veroorzaakten. Er zijn goede methoden om deze spanningscorrosie in messing te voorkomen: spanningsvrij gloeien (zonder verlies van hardheid) en legeren met kleine hoeveelheden arseen (giftig) of antimoon.

Spanningscorrosie is ook een gevreesd verschijnsel bij roestvast staal.

Ook hier is de combinatie van inwendige of uitwendige spanningen en een corrosief milieu de oorzaak van het verschijnsel.

Dit milieu kan zijn chloridehoudend, 'chloride cracking', maar ook geconcentreerde alkaliën bij hoge temperatuur veroorzaken spanningscorrosie, 'caustic cracking'.

Overigens kan deze spanningscorrosie ook bij gewoon koolstofstaal optreden.

Een algemene verklaring voor het verschijnsel van spanningscorrosie is de volgende.

In gekristalliseerde metalen zijn de atomen in een regelmatig patroon gerangschikt en het kost moeite om ze daaruit te verwijderen: mechanisch of chemisch.

Het metaal heeft derhalve een zekere weerstand tegen destructieve krachten. Wanneer een deel van die weerstand nodig is om inwendige of uitwendige spanningen het hoofd te bieden, zal minder weerstand overblijven om andere destructieve krachten tegen te gaan. De corrosieweerstand is dan geringer en het metaal corrodeert sneller.

De algemene theoretische verklaring van het verschijnsel van spanningscorrosie kan ook worden toegepast op andere omstandigheden, waarbij op een metaal, naast corrosie, ook andere invloeden inwerken.

## A.5.10 VERMOEIINGSCORROSIE

Het is bekend, dat metalen, die aan een wisselbelasting blootstaan, een geringere sterkte hebben dan wanneer ze eenmalig belast worden. Heel globaal kan men zeggen, dat bij een zeer groot aantal wisselingen (een miljoen of meer) de treksterkte ongeveer half zo groot is als normaal.

Metaal, dat aan een wisselbelasting blootstaat, heeft een geringere corrosieweerstand: het corrodeert sneller (corrosion fatigue). De verklaring daarvoor is



.....

overeenkomstig als beschreven onder A.5.9 bij spanningscorrosie. Ook kan door deze corrosie sneller een vermoeiingsbreuk ontstaan. Beschadigingen op het oppervlak, zoals krassen of corrosie (kerfwerking), kan bevorderlijk zijn voor het ontstaan van vermoeiingsbreuken.

#### **A.5.11 STRALINGSCORROSIE**

Bepaalde typen kernstraling, vooral neutronenstraling, kunnen diep in metalen binnendringen en daar veranderingen veroorzaken.

Deze stralingsbelasting kan worden gezien als een aantasting van de intergriteit van het metaal. In constructies van kernreactoren zijn extra corrosieverschijnselen geconstateerd, die het gevolg zijn van straling samen met een corrosief milieu.

Door het gebruik van geschikte materialen en deklagen heeft men dit verschijnsel thans grotendeels onder de knie.

#### **A.5.12 PASSINGROEST**

De Nederlandse term passingroest of wrijvingscorrosie staat in het Engels/Amerikaans bekend als 'fretting corrosion'.

Wanneer twee metalen onderdelen met een klempassing aan elkaar zijn bevestigd (bijvoorbeeld locomotiefwielen op hun assen) kan bij belasting toch een kleine onderlinge verplaatsing optreden. Dit heeft corrosie tot gevolg. (Door dun vertinnen van het betreffende oppervlak is dit verschijnsel op te heffen).

#### **A.5.13 ONDERCORROSIE**

Ondercorrosie, bij staal onderroest, treedt op wanneer zich onder een organische coating (verf, poedercoating of kunststofdeklaag) roest vormt die verder kruipt.

De oorzaak moet worden gezocht in een plaatselijke beschadiging of een foute behandeling: onvoldoende voorbehandeld, onvoldoende gespoeld, niet volkomen droog bij de verfapplicatie, onvoldoende uitgehard of doorgemofield, onvoldoende laagdikte enzovoort. Daarin liggen tevens de mogelijkheden besloten om ondercorrosie tegen te gaan, zie ook A.5.8.

#### **A.5.14 FILIFORME CORROSIE**

Filiforme of draadvormige corrosie vormt zich onder een organische deklaag op metalen als fijne slangetjes, die de laklaag optillen, maar die soms zo dun zijn dat ze nauwelijks te zien zijn. Deze corrosievorm gaat altijd uit van een scherpe rand of een beschadiging.

Het verschijnsel is reeds vele jaren bekend op staal, maar het wordt in toeneemende mate ook op aluminium geconstateerd.

Na verloop van tijd gaat filiforme corrosie over in ondercorrosie.

.....

Over de oorzaak van filiforme corrosie lopen de meningen nog uiteen, zodat een definitieve remedie niet voorhanden is.

#### **A.5.15 ONTZINKING**

Ontzinking is een corrosievorm die bij messing optreedt, wanneer dit in contact is met warm water. Doordat het metaal zink uit het messing preferent oplost blijft een zacht, sponsachtig koper over. Oorzaken zijn de messingkwaliteit en de hardheid van het water.

#### **A.5.16 GRAFITERING**

Bij (grijs) gietijzer kan door corrosieve invloeden het ijzer verdwijnen, waardoor een zeer zachte grafietmassa overblijft. Ook dit is een vorm van selectieve aantasting.

#### **A.5.17 EROSIEVE CORROSIE**

Erosieve corrosie treedt op, wanneer slijtageverschijnselen en corrosieve invloeden tegelijk optreden. Er ontstaat een synergetisch (elkaar bevorderend) effect, waardoor de aantasting sneller verloopt dan de som van de beide aantastingen apart. Een van de oorzaken is, dat de corrosieproducten die de elektrochemische corrosiestroom afremmen, voortdurend worden verwijderd, zodat de corrosie zich snel kan voortzetten. Een andere oorzaak is, dat het metaaloppervlak door de slijtage voortdurend wordt geactiveerd.

#### **A.5.18 CORROSIE DOOR FOUTEN IN OF AFBRAAK VAN DEKLAGEN**

Deklagen hebben vaak als taak de ondergrond tegen corrosie te beschermen. Bezit de deklaag fouten, of wordt hij door het milieu aangetast, dan wordt het metaal blootgesteld aan schadelijke invloeden, waardoor corrosie optreedt. Diverse verschijnselen kunnen dan optreden: ondercorrosie, filiforme corrosie, putcorrosie enzovoort.

### **A.6 PRINCIPES VAN CORROSIEBESTRIJDING**

De diepgaande kennis van corrosieverschijnselen, die men in de loop der jaren heeft opgebouwd, heeft geleid tot een aantal effectieve methoden van corrosiebestrijding.

#### **A.6.1 MATERIAALKEUZE**

Uitgaande van de stelling uit de inleiding tot dit hoofdstuk, dat corrosie eigen-

.....

lijk het gevolg is van een verkeerde materiaalkeuze, volgt daaruit de eerste belangrijke mogelijkheid van corrosiebestrijding: kies een ander materiaal. Let daarbij op de kosten van het eindproduct en let niet alleen op de prijs per eenheid of volume.

## **A.6.2 CONSTRUCTIE EN CORROSIE**

Een juiste constructie kan in veel gevallen de invloed van corrosie beperken.

## **A.6.3 BEINVLOEDEN VAN HET MILIEU**

Een tweede mogelijkheid voor corrosiebestrijding is te vinden in het milieu. Maak het milieu minder vochtig door dit te drogen of door de temperatuur te verhogen, waardoor de relatieve vochtigheid daalt. Door het voorkomen of regelmatig verwijderen van vervuiling kan corrosie sterk vertraagd worden..

## **A.6.4 INHIBITOREN**

Ook kan men in bepaalde gevallen -in afgesloten milieus- de hulp inroepen van inhibitoren, die de corrosie vertragen of zelfs geheel stoppen. Deze kunnen worden toegepast in oliën, in waterige vloeistoffen en in dampvorm.

Onder een inhibitor wordt verstaan een stof die aan een reagerend milieu wordt toegevoegd om de reactiesnelheid te vertragen. Dat kan zijn een verandering van de pH of een specifieke reactievertrager. De inhibitor neemt meestal zelf niet aan de reactie deel.

Tal van stoffen zijn -als regel onder handelsnaam- op de markt gebracht voor gebruik in diverse milieus, water (koelsystemen), olie (conserveerolie) of werkend in dampvorm (VPI of VCI).

Soms zijn inhibitoren giftig en schadelijk voor het milieu, zoals chromaten, zodat gepoogd wordt deze door andere te vervangen.

Men kan schadelijke, corrosieveroorzakende stoffen ook uit het milieu weren, door de uitstoot van agressieve gassen te verminderen. Van deze mogelijkheid wordt momenteel op uitgebreide schaal gebruik gemaakt voor industriële installaties en in het verkeer.

Vooraf zwavelverbindingen en stikstofoxiden worden op deze wijze aangepakt. Daardoor is in Nederland de aantasting van zink op straatmeubilair en vangrails aantoonbaar verminderd.

## **A.6.5 DEKLAGEN**

Een breed toepassingsgebied van corrosiebestrijding is weggelegd voor deklagen, waaraan een groot deel van dit Vademecum is gewijd. Men kan daarbij denken aan:

- .....
- organische deklagen: verf, poedercoatings, kunststof deklagen, bitumen en rubber, maar ook eenvoudig invetten voor tijdelijke bescherming
  - metaallagen, aangebracht op diverse manieren, soms in een combinatie van twee of meer metalen, vaak op zodanige wijze, dat extra corrosiewering wordt verkregen. Als voorbeeld: microgescheurde en microporeuze sierchroomlagen
  - conversielagen, anorganische deklagen, die door chemische inwerking op het metaal worden verkregen
  - door anodiseren verkregen oxidelagen
  - email en keramische deklagen.

## A.6.6 KATHODISCHE BESCHERMING

Een effectieve methode van corrosiebestrijding, die vaak in combinatie met verfsystemen wordt toegepast, is kathodische bescherming, waarbij de elektrolytische corrosiestroom door een tegengestelde elektrische spanning wordt opgeheven.

Deze methode is alleen werkzaam in waterige milieus: zoet en zout water en in de bodem, zolang deze vochtig is.

Vrijwel steeds is de corrosie die bij metalen optreedt, een elektrochemisch verschijnsel, waarbij aan het metaaloppervlak kathodische en anodische plaatsen optreden. De anodische plaatsen zijn die, waarin de metaalatomen overgaan in de ionvorm en daardoor in oplossing gaan. Dit is het primaire corrosieverschijnsel.

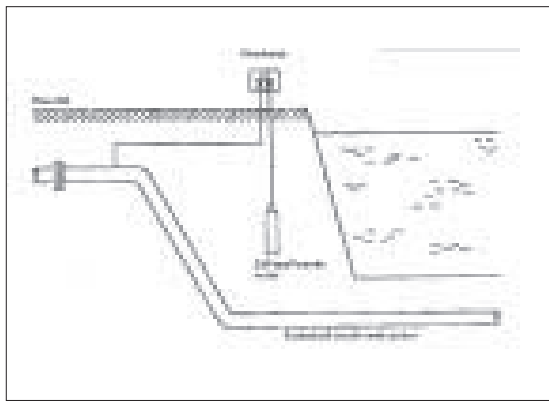
Door volgreacties, de secundaire corrosieverschijnselen, vormen zich uit het opgeloste metaal meestal onoplosbare verbindingen die neerslaan en zich als corrosieproducten afzetten. Tussen de kathodische en anodische plaatsen van het metaal bestaat een elektrische spanning, die een elektrische stroom, de corrosiestroom veroorzaakt. Door het aanleggen van een tegengesteld gerichte spanning is het mogelijk het gehele metaal kathodisch te maken, waardoor geen metaalatomen meer in oplossing kunnen gaan. Het corrosieverschijnsel stopt dan. Dit is kathodische bescherming.

Kathodische bescherming wordt vooral toegepast voor staalconstructies die ondergedompeld zijn in water of voor ondergrondse structuren. Men past kathodische bescherming ook toe voor het inwendige van tanks en chemische installaties, als de daarin aanwezige vloeistoffen zich voor deze beschermingsmethode lenen. Kathodische bescherming kan op twee manieren worden uitgevoerd:

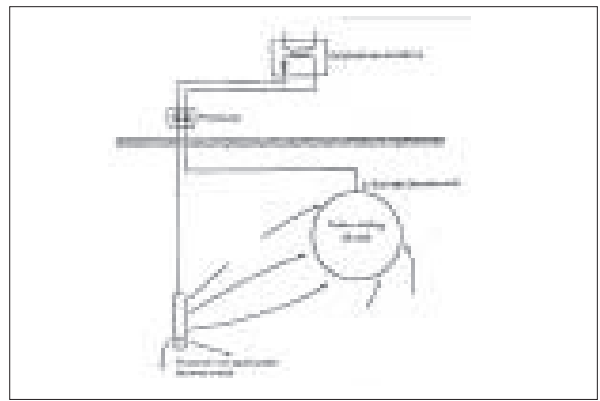
- met opofferende anoden
- met opgedrukte gelijkspanning.

Deze twee methoden zijn weergegeven in figuur A.15 en A.16.

*Opofferende anoden.* Onedele metalen, zoals zink en magnesium, worden in het corroderende medium in elektrisch contact gebracht met het te bescher-



*Figuur A8a. Kathodische bescherming met opofferende anoden*



*Figuur A8b. Kathodische bescherming met opgedrukte spanning*

men staaloppervlak. Deze onedele metalen vormen een corrosie-element met het staal dat zij moeten beschermen. De anoden gaan in oplossing; het staal blijft beschermd.

Bij de praktische uitvoering van dit systeem gebruikt men blokken die direct op het metaaloppervlak zijn aangebracht (bijvoorbeeld op de buitenwand van schepen) of blokken die op enige afstand van de constructie zijn ondergedompeld of begraven en met het metaal in elektrisch contact worden gebracht. Dit gebeurt bij de bescherming van ondergrondse staalconstructies en pijpleidingen.

*Opgedrukte spanning.* Bij een andere methode van kathodische bescherming maakt men gebruik van een gelijkrichter voor het leveren van de nodige gelijkspanning en men gebruikt onoplosbare anoden. Deze methode maakt regeling van de spanning nodig, terwijl de onoplosbare anoden niet vervangen behoeven te worden. Als anoden bij kathodische bescherming met opgedrukte spanning gebruikt men vaak geplatineerde titaananoden, die praktisch geen onderhoud vergen.

Kathodische bescherming wordt nooit voor het gehele staaloppervlak gebruikt; dit zou veel te kostbaar zijn. Alleen die gedeelten welke, door beschadigingen of andere oorzaken bloot komen te liggen, worden op deze wijze beschermd. Kathodische bescherming komt derhalve nooit in de plaats van een verfsysteem; het vormt er een aanvulling op.