

## Corrosie

Veldonderzoek uitgevoerd door het Zweedse Instituut voor Corrosieonderzoek

Het Zweedse Instituut voor Corrosieonderzoek heeft veldonderzoek uitgevoerd met verschillende onbehandelde metalen in de buitenlucht. Hieronder staan de gewichtsverliezen van niet-oppervlakte behandelde platen na een onderzoeksperiode van acht jaar. De gemiddelde diepte van de diepste putcorrosie bij aluminiumplaten bedroeg na acht jaar 70  $\mu\text{m}$  (0,07 mm).

Uit de tabel blijkt hoe sterk het gewichtsverlies van aluminium in de buurt van de zee is:

- ca. 1/100 van koolstofstaal (Fe).
- ca. 1/10 van gegalvaniseerd staal (zie Zn in de tabel).

De corrosiesnelheid neemt snel af met toenemende afstand tot de zee. Al op ongeveer 1 km afstand van de zee vertoont aluminium dezelfde eigenschappen als in het binnenland. De groeisnelheid van de putcorrosie neemt met de tijd af.



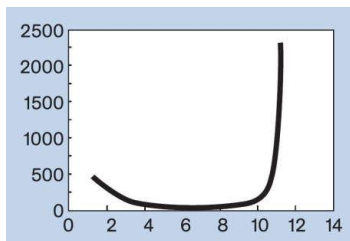
De afbeelding toont een onbehandeld proefstuk dat 20 jaar aan alle weersomstandigheden aan de zuidwestkust van Zweden is blootgesteld. UV-stralen, zwavel- en salpeterzuur in combinatie met chloriden hebben geen diepe sporen achtergelaten. Metingen van niet-oppervlaktebehandeld aluminium (legering 6063) na 22 jaar in een zeeklimaat lieten zo weinig corrosie zien dat de sterkte niet wordt aangetast (maximale putcorrosiediepte ca. 0,15 mm).

## Corrosie-eigenschappen van Aluminium

In de meeste omgevingen vertoont onbehandeld aluminium een zeer hoge corrosiebestendigheid. Dit is voornamelijk te danken aan het feit dat het metaal spontaan bedekt wordt met een dunne, maar effectieve oxidelaag die verdere oxidatie voorkomt. Aluminiumoxide is dicht en, in tegenstelling tot de oxidelaag op veel andere metalen, hecht het sterk aan het onderliggende metaal. Bij mechanische beschadiging van de oxidelaag wordt deze onmiddellijk vernieuwd. De oxidelaag is essentieel voor de goede corrosie-eigenschappen van aluminium en blijft stabiel bij pH-waarden tussen ongeveer 4 en 9. Alleen in sterk zure of alkalische omgevingen corrodeert aluminium normaal gesproken snel.

### Corrosiebestendigheid bij gangbare profiellegeringen

Er zijn slechts geringe verschillen in corrosiebestendigheid bij de door Sapa vaak gebruikte legeringen. Legeringen met meer dan 0,5% koper hebben echter over het algemeen een slechtere corrosiebestendigheid en moeten daarom niet onbeschermd worden gebruikt in sterk chloorhoudende omgevingen (bijvoorbeeld strooizout, zeewater).



Corrosiesnelheid van Aluminium ( $\mu\text{m}/\text{jaar}$ ) Het diagram toont de corrosiesnelheid (d.w.z. de gemiddelde corrosiediepte) van aluminium bij verschillende pH-waarden. (De pH-waarden werden bereikt met zoutzuur en natriumhydroxide.)

### De meest voorkomende soorten corrosie

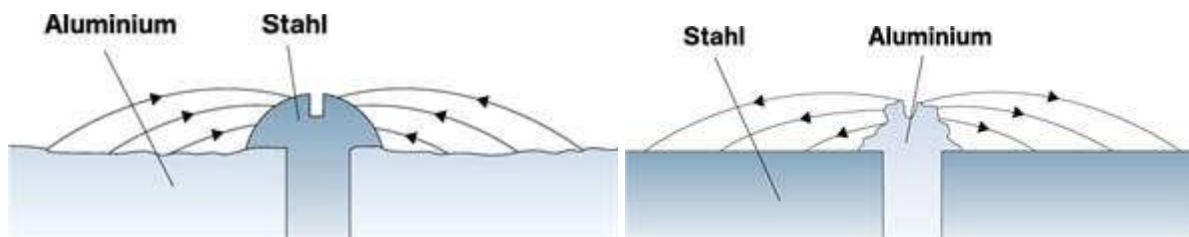
De meest voorkomende soorten corrosie bij aluminium zijn:

- galvanische corrosie
- putcorrosie
- spleetcorrosie

Een andere, zeer specifieke vorm van corrosie is scheurvorming door spanningscorrosie. Dit treedt vooral op bij zeer sterke legeringen (zoals AlZnMg-legeringen) wanneer deze lange tijd worden blootgesteld aan sterke trekbelastingen in de nabijheid van een corrosief medium. Deze corrosievorm komt niet voor bij de gangbare AlMgSi-legeringen.

### Galvanische corrosie

Galvanische corrosie kan optreden wanneer verschillende metalen contact met elkaar maken en tegelijkertijd een elektrolytverbinding tussen de metalen aanwezig is. Het minder edele metaal wordt de anode en corrodeert. Het edelere metaal wordt de kathode en is beschermd tegen corrosie. In de meeste combinaties met andere metalen is aluminium het minder edele metaal. Daarom is het risico op galvanische corrosie bij aluminium groter dan bij de meeste andere constructiematerialen. Over het algemeen is het risico echter kleiner dan vaak wordt aangenomen.



### Wanneer bestaat het risico op galvanische corrosie?



Galvanische corrosie van een aluminiumreling na 25 jaar

Het vierkante holle profiel is geplaatst op een bout van koolstofstaal. Het contactoppervlak tussen het staal en aluminium is lange tijd blootgesteld aan vocht. De corrosie werd verder verergerd door het strooien van zout in de winter.

Het risico op galvanische corrosie bestaat onder de volgende voorwaarden:

- Alleen bij metallisch contact met edelere metalen (of andere elektronen geleiders met een hoger chemisch potentieel dan aluminium, zoals grafiet).
- En wanneer er tegelijkertijd een elektrolyt (met goede geleidbaarheid) tussen de metalen aanwezig is en er zuurstoftoevoer is.

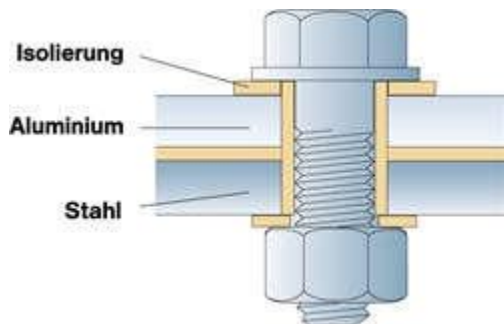
Het optreden van galvanische corrosie wordt vaak bevorderd door ongunstige profielconstructies.

Beide voorwaarden moeten aanwezig zijn!

Galvanische corrosie treedt niet op in droge binnenruimtes. Ook in een landklimaat is er nauwelijks risico op galvanische corrosie. Daarentegen is er in een chloride-rijke omgeving altijd gevaar voor galvanische corrosie, bijvoorbeeld aan of op zee. Hier kunnen koper en koolstofstaal, maar ook roestvrij staal, leiden tot galvanische corrosie. Problemen kunnen ook ontstaan bij de combinatie van verzinkt staal en aluminium. Aanvankelijk wordt het aluminium beschermd door de zinklaag van het staal, maar zodra deze is opgelost, kan de blootgestelde staaloppervlakte het aluminium aantasten. Gegalvaniseerd materiaal heeft een sterkere zinklaag dan verzinkt materiaal en biedt daarom een langere bescherming. Daarom moet aluminium in agressieve omgevingen gecombineerd worden met gegalvaniseerd materiaal.

## Maatregelen ter voorkoming van galvanische corrosie

Het risico op galvanische corrosie moet niet worden overschat. Galvanische corrosie treedt niet op in droge binnenruimten. Ook in een landklimaat is het corrosierisico zeer gering.



## Elektrische isolatie

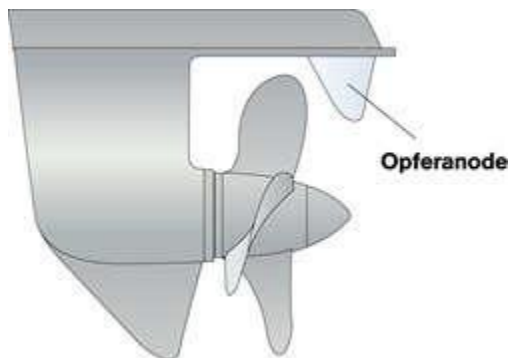
Door elektrische isolatie tussen de metalen kan in een combinatie van meerdere metalen galvanische corrosie worden voorkomen. De isolatie moet het metaalcontact volledig onderbreken. De afbeelding toont hoe dit kan worden opgelost in een schroefverbinding.

## Onderbreking van een elektrolytverbinding

In grote constructies, die moeilijk te isoleren zijn, kan in plaats daarvan de elektrolytverbinding tussen de twee metalen worden onderbroken, bijvoorbeeld door poedercoating. Het is meestal voordeliger om het kathodeoppervlak van het edelere metaal te coaten. Een andere oplossing is het gebruik van een isolatielaag tussen de metalen.

## Kathodische bescherming

Dit kan op twee manieren worden bereikt.



## Kathodische bescherming

Kathodische bescherming kan op twee manieren worden bereikt. Meestal worden anodes van minder edel metaal in contact gebracht met het te beschermen aluminiumoppervlak. Het minder edele metaal wordt hierbij "geofferd" voor het aluminium (d.w.z. het corrodeert) en wordt daarom een "offeranode" genoemd. Een andere voorwaarde voor corrosiebescherming is de aanwezigheid van vloeistofcontact tussen de beschermlaag en de anode. Voor aluminium worden meestal zink- of magnesiumanodes gebruikt. Kathodische bescherming kan ook worden bereikt door het aluminiumobject aan te sluiten op de negatieve pool van een externe gelijkspanningsbron. De afbeelding toont de kathodische bescherming van een buitenboordmotor.

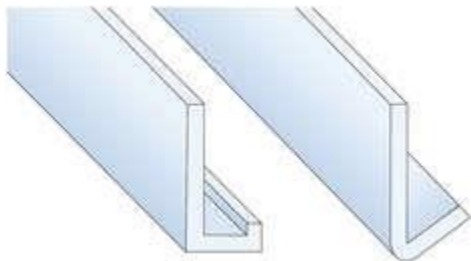
## Putcorrosie

Putcorrosie is de meest voorkomende vorm van corrosie bij aluminium. Het ontstaat alleen in aanwezigheid van een elektrolyt (water of vocht) met daarin opgeloste zouten, meestal chloriden. De resulterende putcorrosie is over het algemeen zeer klein en bereikt buiten een diepte van een fractie van de materiaaldikte van het metaal. In water en grond kunnen diepere putcorrosies ontstaan. Omdat de corrosieresten vaak de putjes bedekken, zijn aangetaste plekken op het aluminiumoppervlak zelden zichtbaar.

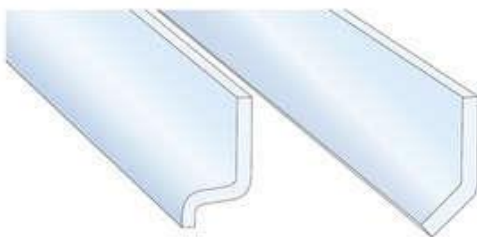
## Maatregelen ter voorkoming van putcorrosie

Afspoelen met water is vaak voldoende. Putcorrosie is in de eerste plaats een esthetisch probleem en heeft geen negatief effect op de sterkte. Onbehandeld aluminium is het meest gevoelig voor corrosie. Een oppervlaktebehandeling - zoals anodiseren, poedercoating en HM-wit - kan putcorrosie voorkomen. Het behandelde oppervlak moet worden gereinigd om het aantrekkelijke uiterlijk te behouden en corrosie te voorkomen. Afspoelen met water is vaak voldoende. Alkalische reinigingsmiddelen moeten met voorzichtigheid worden gebruikt. Tegenwoordig zijn milde alkalische reinigingsmiddelen beschikbaar. Deze worden onder andere gebruikt voor de industriële reiniging van aluminium.

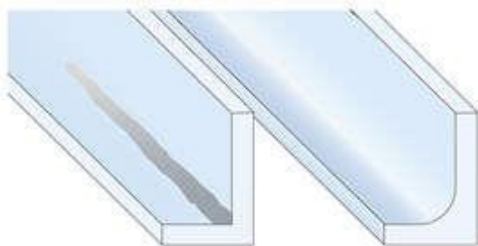
Putcorrosie kan ook worden voorkomen door kathodische bescherming (zie vorige pagina). Het profiel moet zo worden ontworpen dat het gemakkelijk kan drogen.



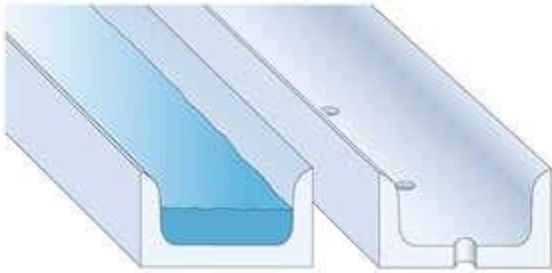
Hoeken en holtes vermijden waar water zich kan ophopen.



Kies in plaats daarvan een vorm die afvloeiing mogelijk maakt.

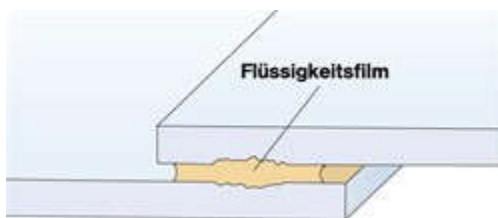


Het risico op vuilophoping wordt verminderd door afgeronde hoeken.

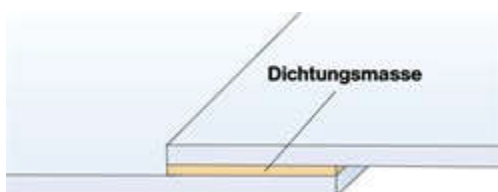


Stilstaand water kan worden vermeden door een aangepaste helling van de profielen en/of door afvoergaten van minimaal  $\text{Ø } 8 \text{ mm}$  of  $6 \times 20 \text{ mm}$ . Anders kan het water door capillaire werking niet wegstromen. Het ventileren van "gesloten" constructies vermindert de kans op condensatie.

### Spleetcorrosie



Spleetcorrosie kan ontstaan in smalle, met vloeistof gevulde spleten. De kans dat deze corrosievorm optreedt in profielconstructies is vrij klein. Sterkere spleetcorrosie kan echter voorkomen in een chloride-rijke zeelucht of aan de buitenkant van voertuigen. Bij transport en opslag kan het soms gebeuren dat zich water ophoopt in de spleten tussen aangrenzende aluminiumoppervlakken, wat leidt tot corrosie aan de oppervlakte (watervlekken). Regen- of condenswater wordt capillair tussen de metaaloppervlakken gezogen. Condenswater kan ontstaan wanneer koud materiaal in een warme omgeving wordt gebracht. Condenswater kan ook ontstaan door temperatuurverschillen tussen dag en nacht, vooral wanneer aluminium buiten goed afgedekt en afgesloten wordt opgeslagen.



### Maatregelen ter voorkoming van spleetcorrosie

Het gebruik van kit of dubbelzijdig plakband vóór het samenvoegen van twee componenten voorkomt dat water in de spleten dringt. Klinknagels of schroeven kunnen soms worden vervangen door lijm of daarmee worden gecombineerd. Op deze manier wordt de vorming van spleten voorkomen.

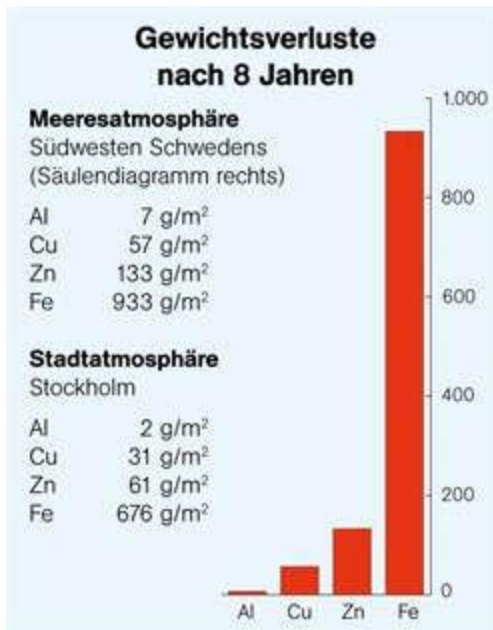


### **Aluminium in de open lucht**

Uitstekende bestendigheid in een normale landatmosfeer en matig zwavelhoudende atmosfeer.

De corrosie van metaal in de buitenlucht hangt af van de zogenaamde vochtige periode en de samenstelling van het elektrolyt op het oppervlak. Met vochtige periode wordt de tijd bedoeld waarin het metaaloppervlak zo vochtig is dat corrosie kan optreden. Een vochtige periode treedt op wanneer de relatieve vochtigheid meer dan 80% bedraagt en de temperatuur tegelijkertijd boven 0 °C ligt (bijvoorbeeld bij condensvorming). In een normale landatmosfeer en matig zwavelhoudende atmosfeer is de bestendigheid van aluminium uitstekend. In een sterk zwavelhoudende atmosfeer kunnen putjes aan het oppervlak ontstaan. De bestendigheid is echter over het algemeen beter dan die van koolstofstaal en gegalvaniseerd staal. Het voorkomen van zouten, vooral chloriden, in de lucht vermindert de bestendigheid van aluminium in vergelijking met andere constructiematerialen slechts minimaal.

De maximale putdiepte bedraagt meestal slechts een fractie van de materiaaldikte. De sterkte-eigenschappen blijven daarom vrijwel onveranderd. Dit is aanzienlijk anders bij koolstofstaal.



### Veldonderzoek uitgevoerd door het Zweedse Instituut voor Corrosieonderzoek

Het Zweedse Instituut voor Corrosieonderzoek heeft veldonderzoek uitgevoerd met verschillende onbehandelde metalen in de buitenlucht. Hieronder staan de gewichtsverliezen van niet-oppervlaktebehandelde platen na een onderzoeksperiode van acht jaar. De gemiddelde diepte van de diepste putcorrosie bij aluminiumplaten bedroeg na acht jaar 70 µm (0,07 mm).

Uit de tabel blijkt hoe sterk het gewichtsverlies van aluminium in de buurt van de zee is:

- ca. 1/100 van koolstofstaal (Fe).
- ca. 1/10 van gegalvaniseerd staal (zie Zn in de tabel).

De corrosiesnelheid neemt snel af met toenemende afstand tot de zee. Al op ongeveer 1 km afstand van de zee vertoont aluminium dezelfde eigenschappen als in het binnenland. De groeisnelheid van de putcorrosie neemt met de tijd af.



De afbeelding toont een onbehandeld proefstuk dat 20 jaar lang aan alle weersomstandigheden aan de zuidwestkust van Zweden is blootgesteld. UV-straling, zwavel- en salpeterzuur in combinatie met chloriden hebben geen diepe sporen achtergelaten. Metingen van niet-oppervlaktebehandeld aluminium (legering 6063) na 22 jaar in een zeeklimaat toonden een zo geringe corrosie dat de sterkte niet wordt aangetast (maximale putdiepte ca. 0,15 mm).





### Aluminium in de grond



Grond is geen homogeen materiaal, maar varieert in mineralensamenstelling, vochtgehalte, pH-waarde, zuurgraad, aanwezigheid van organische stoffen en elektrische geleidbaarheid. Deze verschillen maken het vaak problematisch om de bestendigheid van metalen in de grond nauwkeurig te voorspellen. Bovendien kunnen andere factoren de corrosiegevoeligheid en daarmee de bestendigheid beïnvloeden, zoals lekstromen van gelijkspanningsbronnen.

De corrosie-eigenschappen van aluminium in de grond zijn sterk afhankelijk van het vochtgehalte, de specifieke weerstand en de aanwezige pH-waarde. De huidige kennis over de corrosie-eigenschappen van verschillende grondtypen is helaas niet voldoende. Bij contact van aluminium met de grond wordt daarom een beschermende oppervlaktebehandeling aanbevolen, zoals een bitumenbekleding. Corrosie kan ook worden voorkomen door kathodische bescherming.

## Aluminium in water

De corrosie van metaal in water hangt sterk af van de samenstelling van het water. Bij aluminium beïnvloeden vooral chloriden en zware metalen de bestendigheid. In zoet- en drinkwater kunnen er putjes in aluminium ontstaan. Bij regelmatige droging en reiniging is het risico op corrosieschade echter gering. Pannen en andere huishoudelijke voorwerpen kunnen meestal tientallen jaren worden gebruikt zonder corrosieschade. De kans op dit soort schade neemt toe bij stilstaand water en langdurige vochtigheid.

Bescherming tegen putcorrosie kan worden bereikt door:

- Constructieoplossingen die mogelijke waterophopingen voorkomen.
- Kathodische bescherming.
- Chemische toevoegingen, zoals corrosie-inhibitoren die in autokoelers worden gebruikt.

De groeisnelheid van putcorrosie in zoet water neemt met de tijd sterk af en volgt de volgende formule:

Uitgebreid gebruik van aluminium in schepen en boten. Hierbij is "d" de maximale putdiepte, "k" een constante die afhankelijk is van de legering en de samenstelling van het water, en "t" de tijd.

De formule laat zien dat de dubbele diepte van een putcorrosie die binnen de eerste drie jaar is ontstaan, pas na 24 jaar te verwachten is. In zeewater vertonen vooral AlMg-legeringen met meer dan 2,5% Mg, maar ook AlMgSi-legeringen een goede weerstand. Koperhoudende legeringen moeten worden vermeden. Als ze toch worden gebruikt, moeten ze effectief tegen corrosie worden beschermd. In combinatie met andere metalen is aluminium bij correcte constructie een uitstekend materiaal in een zeeomgeving (het risico op galvanische corrosie moet echter niet worden genegeerd). Een voorbeeld hiervan is het uitgebreide gebruik van aluminium in schepen en boten. Voor het voorkomen van corrosie wordt vaak kathodische bescherming toegepast.



## Wateroppervlaktecorrosie

Aluminium dat zich slechts gedeeltelijk in water bevindt, kan direct onder het wateroppervlak corroderen. Dit wordt wateroppervlaktecorrosie genoemd. Deze vorm van corrosie, die alleen in stilstaand water voorkomt, kan worden voorkomen door het gebied rond het wateroppervlak te lakken.

## **Aluminium en alkalisch bouw materiaal**

Spatten van alkalisch bouw materiaal zoals mortel en beton veroorzaken zichtbare vlekken op het aluminiumoppervlak. Deze spatten zijn moeilijk te verwijderen. Daarom moet aluminium op bouwplaatsen worden beschermd. (Ook andere materialen hebben dezelfde bescherming nodig.) Zichtbare oppervlakken moeten worden beschermd.

In beton gegoten aluminium wordt op dezelfde manier aangetast en de hechting tussen de materialen neemt toe. Na het uitharden van het beton is er normaal gesproken geen corrosie te verwachten. Bij langdurige vochtigheid kan de corrosie echter doorgaan, waardoor de corrosieproducten scheuren in het beton kunnen veroorzaken. Deze vorm van corrosie kan effectief worden voorkomen door een bitumenlaag op het aluminiumoppervlak aan te brengen of door het te coaten met een alkalibestendige lak. Anodiseren verbetert de bestendigheid echter niet, omdat de oxidelaag in een alkalische omgeving niet stabiel is.

In een droge binnenomgeving hoeft het aluminiumoppervlak niet te worden beschermd als het beton uitgehard is.

## **Aluminium en chemicaliën**

Dankzij de beschermende eigenschappen van de oxidelaag heeft aluminium een goede bestendigheid tegen veel chemicaliën. Bij te lage of te hoge pH-waarden (onder 4 en boven 9) lost de oxidelaag echter vaak op en corrodeert het aluminium snel. Anorganische zuren en sterk alkalische oplossingen tasten dan gemakkelijk aluminium aan.

Goede bestendigheid tegen veel chemicaliën.

## **Uitzonderingen vormen geconcentreerd salpeterzuur en ammoniakoplossingen, die aluminium niet aantasten.**

In matig alkalische wateroplossingen kan door het gebruik van silicaten als corrosieremmers de corrosie worden beperkt. Dergelijke remmers zijn normaal gesproken ook aanwezig in afwasmiddelen. De meeste anorganische zouten vertonen geen uitgesproken corrosie-effect bij aluminium. Uitzonderingen vormen zware metaalzouten, die als gevolg van de reductie van zware metalen (zoals koper en kwik) sterke galvanische corrosie aan het aluminiumoppervlak kunnen veroorzaken. Aluminium is zeer bestendig tegen veel organische verbindingen. Installaties voor de productie en opslag van chemicaliën worden daarom vaak van aluminium gemaakt.

## **Aluminium en vuil**

Aanslag of vuilophopingen op het metaaloppervlak kunnen een zekere vermindering van de bestendigheid veroorzaken. Dit geldt meestal voor oppervlakken die gedurende een langere periode aan vocht worden blootgesteld. Afhankelijk van de mate van verontreiniging moeten vervuilde oppervlakken daarom één tot twee keer per jaar worden gereinigd.

## Aluminium en bevestigingsmiddelen

Als bevestigingsmiddelen samen met aluminium worden gebruikt, zijn speciale beschermingsmaatregelen tegen galvanische corrosie en spleetcorrosie nodig. Galvanische corrosie treedt bij aluminium op wanneer er contact is met een edeler metaal. In binnenruimtes en andere droge atmosferen kan aluminium echter permanent in contact staan met metalen zoals messing en koolstofstaal zonder dat er risico op galvanische corrosie bestaat.

De tabel toont enkele van de meest gebruikte oppervlaktebehandelingen voor bevestigingsmiddelen. De beoordelingen van oppervlaktebehandelingen zijn gebaseerd op de ervaring van leveranciers van bevestigingsmiddelen en coatings, evenals van Sapa en onze klanten, voornamelijk uit de bouw- en auto-industrie.

De tabel is bedoeld om te helpen bij de selectie van bevestigingsmiddelen. Vanwege de voortdurende ontwikkeling raadt Sapa aan om contact op te nemen met de leveranciers van bevestigingsmiddelen en coatings. Op de volgende afbeeldingen is het resultaat van een snelle corrosietest te zien (Volvo Indoor Corrosion Test; VICT). De testcyclus duurde 12 weken. Dit komt overeen met een voertuiggebruikstijd van vijf jaar in een stad met ongeveer 500.000 inwoners in de buurt van de zee.



Zink-/ijzer-gecoate stalen schroef en moer. Bevestigingsmiddelen: volledig verroest. Aluminium: er zijn putjes ontstaan met een diepte van 0,43 mm. Dacrolit-gecoate stalen schroef en moer. Bevestigingsmiddelen: geen roest. Aluminium: er zijn geen putjes ontstaan.