



## Voorwoord

Corrosie is een alomtegenwoordig natuurlijk proces. Bijna iedereen heeft ooit te maken gehad met het effect van corrosie op staal, in de vorm van roest. Corrosie heeft een enorme economische impact. Ongeveer een vijfde van de jaarlijkse staalproductie in de wereld is bedoeld voor de vervanging van stalen onderdelen die beschadigd zijn door corrosie. Hoewel het aanvankelijk meer kost, kan een correcte en doeltreffende bescherming tegen corrosie op lange termijn geld en middelen besparen. Voor bevestigingssystemen is dat des te belangrijk, omdat veiligheid hier op de eerste plaats komt. Een breuk door corrosie kan namelijk dramatische gevolgen hebben.

Met deze brochure willen wij uitleggen wat corrosie precies is en wat er allemaal bij komt kijken. U vindt er basisinformatie over corrosie en over het gedrag van de materialen die wij gebruiken om onze producten te beschermen tegen corrosie.

Hilti is zich bewust van zijn verantwoordelijkheden en voert daarom uitgebreide testen uit in het laboratorium en op het terrein om de corrosiebestendigheid van zijn producten te testen. Sommige langetermijntesten gingen van start in de jaren 1980 en lopen nog steeds. Dankzij zijn interne onderzoek en nauwe samenwerking met vermaarde universiteiten en laboratoria, kan Hilti de juiste oplossingen bieden met de beste corrosiebescherming voor de meest uiteenlopende omgevingen.

Toch blijft de gebruiker zelf verantwoordelijk voor de keuze van het materiaal of de methode van corrosiebescherming voor een specifieke toepassing. Uw plaatselijke contactpersoon van Hilti zal u met plezier bijstaan. Hij of zij kan indien nodig ook een beroep doen op de specialisten van onze afdeling Onderzoek & Technologie. Op die manier profiteert u mee van al hun diepgaande knowhow.

## Sommaire

<b>Voorwoord</b>	<b>2</b>
<b>1. 1. Basisprincipes van corrosie</b>	<b>5</b>
1.1. Wat is corrosie?	5
1.2. Vormen van corrosie	7
1.2.1. Gelijmatige corrosie/oppervlakkige putcorrosie	7
1.2.2. Putcorrosie	8
1.2.3. Spleetcorrosie	9
1.2.4. Barstvorming onder invloed van de omgeving	10
1.2.5. Interkristallijne corrosie	12
1.2.6. Galvanische corrosie (contactcorrosie)	13
<b>2. Beoordeling van corrosiebestendigheid en methode voor productkwalificatie van Hilti</b>	<b>14</b>
2.1. Doel van corrosietesten	14
2.2. Laboratoriumvoorzieningen/testen	14
2.3. Veldtesten buiten	18
<b>3. Oplossingen voor corrosiebescherming van Hilti</b>	<b>20</b>
3.1. Corrosie en corrosiebescherming van koolstofstaal	21
3.2. Corrosiegedrag van roestvrij staal	25
3.3. Preventie van galvanische corrosie	29
<b>4. Corrosie beoordelen in een specifieke omgeving/toepassing</b>	<b>31</b>
4.1. Factoren van atmosferische corrosie	31
4.2. Beoordeling van de corrosiviteit van verzinkte producten	34
4.3. Beoordeling van de corrosiviteit van roestvrij stalen producten	36
<b>5. Een gepast bevestigingsmiddel of installatiesysteem kiezen</b>	<b>39</b>
5.1. De juiste corrosiebescherming kiezen voor ankerbouten, kruitaangedreven bevestigingsmiddelen en schroeven	42
5.2. De juiste corrosiebescherming kiezen voor houten spijkers	43
5.3. Het juiste installatiesysteem kiezen	44
<b>6. Referenties</b>	<b>45</b>
<b>7. Afwijzing van aansprakelijkheid (bij te werken)</b>	<b>47</b>



# 1. Basisprincipes van corrosie

## 1.1. Wat is corrosie?

Corrosie is een fysisch-chemische interactie tussen een metaal en zijn omgeving, waarbij de eigenschappen van het metaal veranderen en de functionaliteit van het metaal, de omgeving of het technisch systeem waar zij deel van uitmaken, kan worden aangetast (zie ISO 8044:2010).

Technisch gezien is er enkel sprake van corrosie wanneer er zich in de eigenschappen van het metaal of het systeem een verandering voordoet die tot ongewenste gevolgen kan leiden. Dat kan gaan van gewone visuele aantasting tot de volledige uitval van technische systemen, met grote economische schade en gevaar voor personen tot gevolg.

Voor de metalen die het meest aangewend worden in de techniek, zoals koolstofstaal, roestvrij staal, zink, koper en aluminium, kunnen we het typische corrosieproces beschouwen als de thermodynamisch bevorderde omgekeerde reactie van het metaalwinningsproces (zie afbeelding 1).

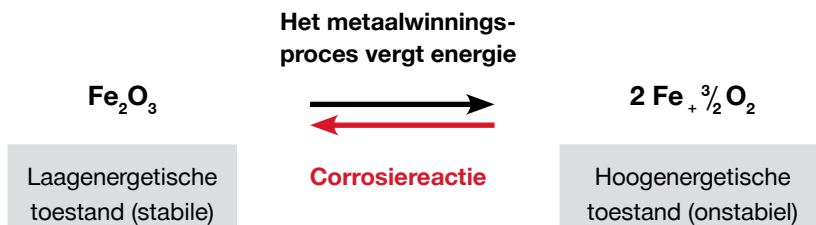


Fig. 1: Chemische reacties van ijzer tijdens de corrosie en het metaalwinningsproces

### Soorten corrosiereacties

Zoals alle chemische reacties, vindt corrosie plaats wanneer de omstandigheden gunstig zijn voor de overeenkomstige chemische reacties (thermodynamica).

Andere factoren kunnen de reacties versnellen (kinetica).

We maken een onderscheid tussen verschillende soorten corrosie naargelang de interactie tussen het metaal en de omgeving, en verschillende vormen van corrosie naargelang het fenomenologische verschijnsel.

#### Chemische reactie

Een typische chemische reactie doet zich voor bij hoge temperaturen, wanneer het metaal reageert op hete gassen en een oxidelaag vormt.

#### Metaalfysische reactie

Een voorbeeld hiervan is metaal dat bros wordt en kan breken wanneer er zich waterstof in verspreidt.

Die verbrossing kan het gevolg zijn van een onzorgvuldig productieproces, bv. wanneer oppervlaktecoatings zoals elektrochemische verzinking niet correct worden toegepast op producten van hogesterktestaal. Het proces kan ook in gang gezet worden door corrosie (oplossing van het metaal). Voor het tweede geval verwijzen we naar scheurvorming ten gevolge van corrosie veroorzaakt door waterstof.

### Elektrochemische reactie (meest voorkomende soort corrosie)

De meest gebruikelijke corrosiereactie is de elektrochemische reactie in de natuur. Dergelijke reacties bestaan uit een elektrische uitwisseling door middel van elektronen in het metaal en ionen in een geleidende elektrolyt, zoals een waterfilm op het oppervlak.

De algemene reactie kan worden opgedeeld in twee deelreacties:

- De oplossing van het metaal, ook oxidatie of anodereactie genoemd  
 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^-$
- Reductie of kathodereactie, een reactie waarin vooral de zuurstof in de lucht en water een rol spelen  
 $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$

Beide deelreacties kunnen redelijk homogeen verdeeld zijn op het metaaloppervlak met een gelijkmatige aantasting tot gevolg (zie hoofdstuk 1.2.1) of kunnen plaatselijk en gescheiden plaatsvinden. In het laatste geval krijgen we plaatselijke vormen van corrosie, zoals putcorrosie.

Het mechanisme en de elektrochemische aard van de corrosiereactie bepalen de voorwaarden opdat er corrosie plaatsvindt:

- een geleidend metaal
- een elektrolyt (een dunne laag vocht op het oppervlak volstaat)
- zuurstof voor de kathodereactie

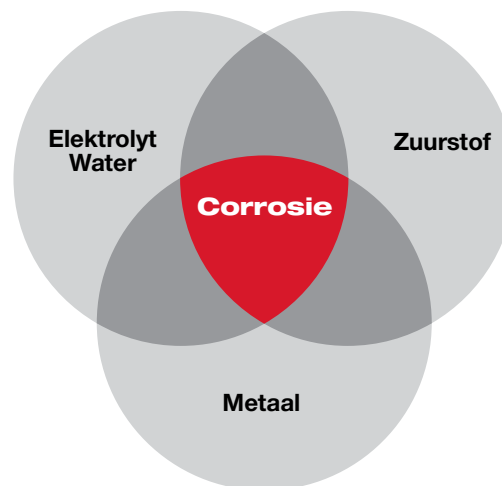


Fig. 2: Afb. 2. Voorwaarden voor de atmosferische corrosiereactie

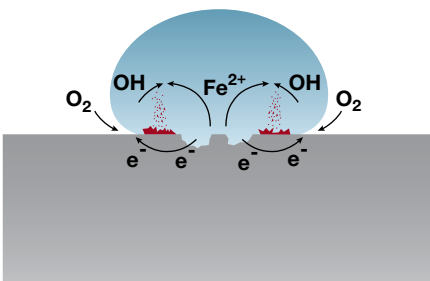


Fig. 3: Corrosie van ijzer onder een druppel water, met de oplossing van het metaal, de zuurstofreductie en de roestvorming

Afb. 2 toont het basismechanisme van de corrosie van ijzer onder een druppel water. Zowel de oplossing van het metaal als de zuurstofreductie vinden licht gescheiden van het oppervlak plaats. De producten van beide reacties (Fe-ionen en OH-ionen) vormen samen rode roest in de druppel.

Hetzelfde principe geldt voor andere metalen zoals zink of aluminium, maar met iets andere chemische reacties in de elektrolyt.

Met dit eenvoudige schema kunnen we vele vormen van corrosie verklaren en tegelijkertijd methodes uitwerken om diezelfde corrosie te bestrijden. Door een van de deelreacties te verhinderen of te vertragen, kunnen we de algemene corrosie beperken.

## 1.2. Vormen van corrosie

### 1.2.1. Gelijkmatische corrosie/oppervlakkige putcorrosie



Gelijkmatische corrosie is een vorm van corrosie waarbij het oppervlak overal tegelijk verwijderd wordt.

De deelreacties (metaaloplossing en zuurstofreductie) zijn gelijkmatig verdeeld over het oppervlak, waardoor het metaal op min of meer homogene manier oplost en de corrosieproducten gelijkmatig verdeeld worden (bv. rode roest op staal).

De ernst van deze vorm van corrosie kan meestal goed geschat worden op basis van vorige ervaringen. Corrosiesnelheid wordt gewoonlijk in micrometer per jaar ( $\mu\text{m/a}$ ) uitgedrukt. Aan de hand van deze gemiddelde waarden, is het mogelijk om de levensverwachting van een onderdeel te berekenen en dus ook om die levensverwachting te verhogen door het onderdeel dikker te maken. Gelijkmatische corrosie doet zich bijvoorbeeld voor op onbeschermd koolstofstaal en op verzinkt staal onder atmosferische omstandigheden.

In werkelijkheid komt zuiver homogene corrosieaantasting zelden voor. Vooral op complexe metalen onderdelen zijn er altijd zones die sneller corroderen dan andere, zodat het oppervlak niet overal even ruw is en de corrosieproducten onregelmatig verdeeld worden (zie afbeelding 4).



Fig. 4: Corrosie van stalen onderdelen

## 1.2.2. Putcorrosie



Fig. 5: Fasen van putcorrosie op roestvrij staal

Putcorrosie is een plaatselijke vorm van corrosie met kleine gaten of putten in het metaal tot gevolg (zie afbeelding 4). Deze vorm van corrosie komt vooral voor op passieve metalen. Passieve metalen en legeringen, zoals aluminium, titaan en roestvrij staal, zijn corrosiebestendig dankzij een dunne oxidelaag van enkele nanometers op hun oppervlak. Wanneer die passieve barrière plaatselijk doorbroken wordt, start het corrosieproces.

Plaatselijke corrosieaantasting kan in gang gezet worden door bijvoorbeeld chloride-ionen op roestvrij staal.

Afbeelding 5 toont de belangrijkste fasen in dit corrosieverschijnsel op roestvrij staal.

Putcorrosie kan redelijk problematisch zijn. Terwijl gelijkmatige corrosie duidelijk zichtbaar is op het volledige oppervlak, verschijnt putcorrosie enkel als kleine speldenprikken. Meestal is het moeilijk vast te stellen hoeveel materiaal verloren gegaan is onder de speldenprikken, omdat er onzichtbare holtes kunnen ontstaan. Daarom is putcorrosie moeilijker te detecteren en te voorspellen. Technisch gezien bestaat er geen redelijke manier om putcorrosie te controleren. Deze vorm van corrosie moet van meet af aan uitgesloten worden door voor een goed ontwerp en de juiste materialen te kiezen.

Bovendien kan putcorrosie de aanzet zijn tot ernstigere vormen van corrosie, zoals spanningscorrosie (zie hoofdstuk 1.2.4).

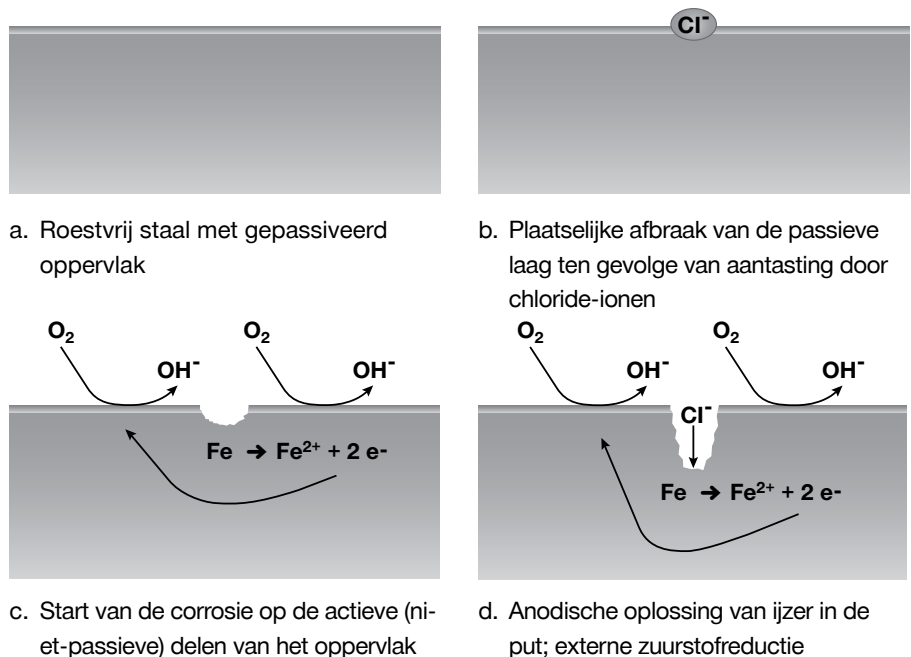


Fig. 6: Voorbeeld van putcorrosie op een product van roestvrij staal



### 1.2.3. Spleetcorrosie



Spleetcorrosie is corrosie in barsten of spleten tussen twee oppervlakken (van hetzelfde metaal, van verschillende metalen of zelfs van een metaal en een niet-metaal). Dit soort corrosie ontstaat wanneer de zuurstof in de lucht minder goed kan doordringen tot het metaal in de spleet. Er ontstaan dan verschillende concentraties van opgeloste zuurstof in de gemeenschappelijke elektrolyt (zogenaamde differentiële beluchting). De twee deelreacties zullen ook hier op verschillende delen van het oppervlak plaatsvinden. De zuurstofreductie vindt plaats op de buitenste zones met een hogere zuurstofconcentratie, namelijk de zones die gemakkelijk bereikbaar zijn voor de omringende lucht, terwijl de anodische metaaloplossing plaatsvindt in de spleet, met plaatselijke aantasting tot gevolg (bv. putcorrosie). Dit kan ook voorkomen aan sluitringen of pakkingen waar water onder binnendringt (zie afbeelding 6). Spleetcorrosie treedt op in spleten van bepaalde afmetingen. Als de spleet te smal is, kunnen de elektrolyten die nodig zijn voor corrosie er niet in. Als de spleet te breed is om de toegang van de zuurstof te beperken, kan er geen differentiële beluchting ontstaan en zijn er dus ook geen verschillende zuurstofconcentraties. De kritieke spleetbreedte hangt echter af van verschillende factoren, zoals het type metaal, de corroderende omgeving en de natte/droge cycli.

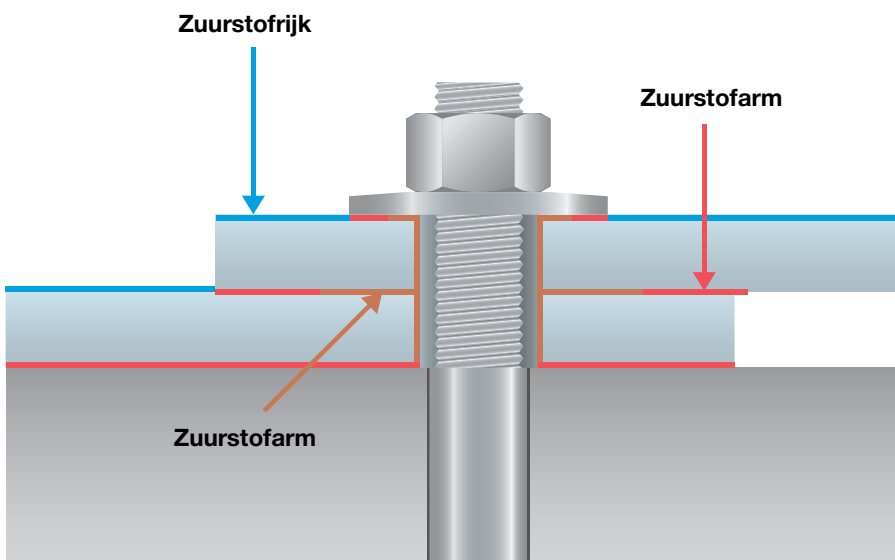
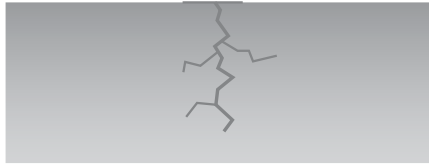


Fig. 7: Mogelijke zones voor spleetcorrosie in een bevestigingsstructuur

### 1.2.4. Barstvorming onder invloed van de omgeving



#### Barstvorming door spanningscorrosie (SCC)

Spanningscorrosie is een combinatie van mechanische en elektrochemische corrosie die tot barstvorming leidt in bepaalde materialen. Dit kan een plotselinge brose breuk van normaal geleidende metalen teweegbrengen, bij een spanning waartegen ze in theorie bestand zijn. Interne spanningen in een materiaal kunnen volstaan om spanningscorrosie op gang te brengen.

Spanningscorrosie is niet gewoonweg het gelijktijdig optreden van corrosie en mechanische spanning, maar kan beschouwd worden als een autokatalytisch, zelfversnellend proces dat tot een snelle metaaloplossing (anodereactie) leidt. Eerst vormt zich een kleine put, die uitgroeit tot een barst door de toegepaste of restspanning in het materiaal. Langs de barst ontstaat een nieuw actief (niet-passief) metalen oppervlak, dat op zijn beurt zeer gemakkelijk zal corroderen. Daardoor breidt de barst uit en worden er weer nieuwe uiterst actieve metalen oppervlakken blootgesteld. De metaaloplossing in de barst zal snel vorderen totdat een mechanische breuk optreedt.

Spanningscorrosie is een uiterst specifieke vorm van corrosie, die enkel voorkomt wanneer tegelijkertijd aan de volgende drie voorwaarden wordt voldaan (zie afbeelding 9).

- Mechanisch (belasting, spanning)
- Materiaal (vatbare legering, bv. austenitisch roestvrij staal)
- Omgeving (sterk corrosief, chloriden)

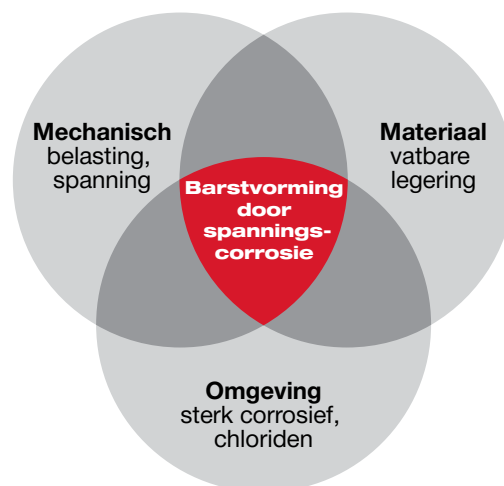


Fig. 8: Spanningscorrosie in een klamp gemaakt van 1.4301 materiaal (A2, 304), na vier jaar gebruik in een overdekt zwembad

Fig. 9: Noodzakelijke factoren voor barstvorming door spanningscorrosie

Het is algemeen geweten dat bepaalde soorten austenitisch roestvrij staal vatbaar zijn voor spanningscorrosie in agressieve omgevingen, zoals overdekte zwembaden. In de meeste gevallen komt de corrosie op gang doordat de chloriden de passieve laag aantasten.

## Waterstofscheuren

Waterstofscheuren ontstaan door de verspreiding van waterstofatomen in het metaal. De aanwezigheid van waterstof in de metaalrooster verzwakt de mechanische integriteit van het metaal en leidt tot barsten en brosse breuk bij een spanning onder de treksterkte.

Net als bij spanningscorrosie kan dit aanleiding geven tot de plotselinge breuk van metalen onderdelen, zonder waarneembare waarschuwingssignalen.

In de meeste toepassingen is waterstofscheuren enkel relevant voor hogesterktestaal met een treksterkte van ongeveer 1000 N/mm<sup>2</sup> of meer.

Net als bij spanningscorrosie moet aan drie verschillende voorwaarden tegelijk voldaan worden (zie afbeelding 10) :

- Mechanisch (belasting, spanning)
- Materiaal (hardheid van de structuur)
- Omgeving (externe, interne waterstof)

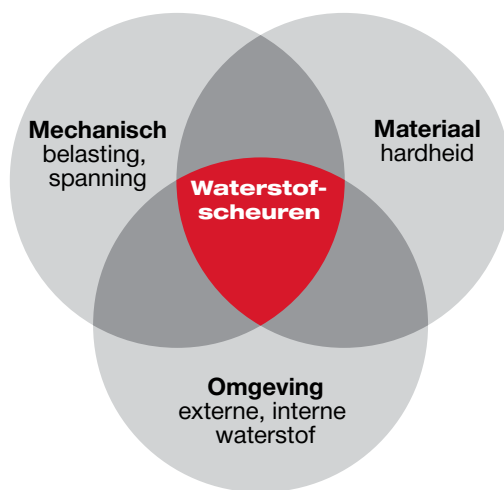
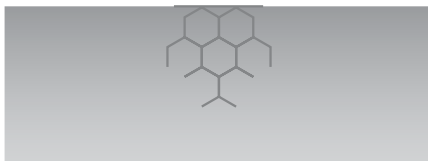


Fig. 10: Noodzakelijke factoren voor waterstofscheuren

De waterstof kan afkomstig zijn van het productieproces, zoals staalproductie, afbijten en elektrolytisch galvaniseren (primaire waterstof). Een mogelijke secundaire bron is de waterstof die gevormd wordt tijdens een corrosieproces. Tijdens de corrosie wordt waterstof gevormd en in het materiaal verspreid. Die waterstofopname leidt tot een daling in de taaiheid of buigbaarheid van het metaal.

### 1.2.5. Interkristallijne corrosie



Interkristallijne corrosie is een bijzondere vorm van plaatselijke corrosie, waarbij de corrosieve aantasting zich voordoet in een tamelijk smal pad, bij voorkeur langs de korrelgrenzen in de metaalstructuur. Het meest voorkomende effect van deze vorm van corrosie is een snelle mechanische afbraak (verlies van buigbaarheid) van het materiaal. Dit kan meestal voorkomen worden door het juiste materiaal en productieproces te gebruiken.

Een bekend voorbeeld uit de bouwsector is de zogenaamde sensibilisering van roestvrij staal. Wanneer bepaalde soorten van dit materiaal gedurende aanzienlijke tijd worden blootgesteld aan een temperatuur tussen 500°C tot 800°C, bv. tijdens het lassen, vormen er zich chroomrijke carbiden, met chroomverarming aan de korrelgrenzen tot gevolg. De korrelgrenzen zijn dan minder bestand tegen corrosie dan het restmateriaal, wat leidt tot plaatselijke corrosieve aantasting (zie afbeelding 11).

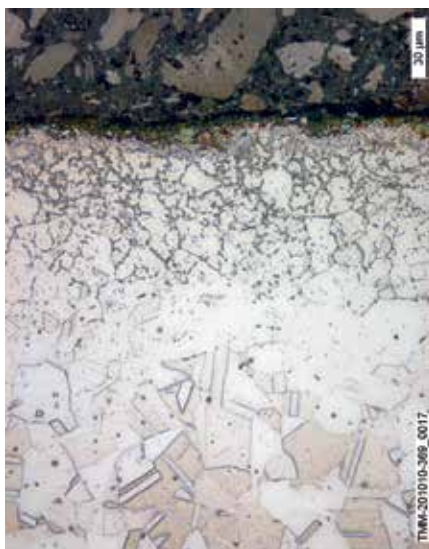


Fig. 11: Beeld verkregen met een elektronenmicroscop van een selectieve aantasting (gelaste zone van 1.4401 materiaal (A4, 316))

## 1.2.6. Galvanische corrosie (contactcorrosie)



Galvanische corrosie is corrosieve schade waarbij twee verschillende metalen een elektrisch geleidende verbinding vormen en in contact staan met een gewone corrosieve elektrolyt.

In het elektrochemische corrosiemodel vindt een van de twee deelreacties (anodische metaaloplossing of kathodische zuurstofreductie) bijna exclusief op één metaal plaats.

Doorgaans zal het minst edele metaal oplossen (anodische metaaloplossing), terwijl het meest edele metaal niet wordt aangetast door corrosie (dient enkel als kathode voor de zuurstofreductie). Bij galvanische corrosie corrodeert het minst edele metaal sneller dan in een vrije corrosieve omgeving zonder contact met een ander metaal.

Aan de hand van thermodynamische gegevens en op basis van ervaringen met typische toepassingen is het mogelijk om te voorspellen welke materiaalcombinaties getroffen zullen worden door galvanische corrosie (zie hoofdstuk 3.3).

Een positieve toepassing van het galvanisch corrosieverschijnsel dat we hier beschreven hebben, is de manier waarop zink koolstofstaal en laaggelegeerd staal beschermt. Zink is het minst nobele metaal en beschermt het staal actief door zelf te corroderen (zie afbeelding 12).



Fig. 12: Dit is een typisch geval van contactcorrosie. Verzinkt koolstofstaal (ring) en roestvrij staal (schroef en onderdeel) werden samen gebruikt. Het oppervlak van het edelste metaal – het roestvrij staal – is groter, met sterke corrosie van de ring tot gevolg

## 2. Beoordeling van corrosiebestendigheid en methode voor productkwalificatie van Hilti

Hilti voert uitgebreide testen uit in het laboratorium en op het terrein om de corrosiebestendigheid van zijn producten te testen. Dankzij het interne onderzoek beschikt Hilti over een brede waaier van beproefde oplossingen voor corrosiebescherming in verschillende omgevingen.

Heel wat testmethodes voor corrosiebestendigheid zijn specifiek voor bepaalde materialen en zijn gebaseerd op de omstandigheden die overheersen in bepaalde omgevingen. Een groot aantal factoren beïnvloedt het corrosiegedrag. Daarom bestaat er geen unieke en universele corrosietest voor alle aspecten van de gebruikte materialen. De meest betrouwbare indicator voor corrosiegedrag is de onderhoudsgeschiedenis, maar die informatie is niet altijd voorhanden. Daarom zijn andere testen nodig, van versnelde laboratoriumtesten tot veldtesten. Verder moeten de producten getest worden onder dezelfde omstandigheden als die waaraan ze zullen worden blootgesteld in de concrete toepassing. De corrosiebescherming van onze bevestigingsmiddelen wordt daarom ook getest in installaties op staal of in beton, om mogelijke schade tijdens het installatieproces te simuleren.

Corrosietesten zijn een geschikte methode om nieuwe producten te beoordelen en ze te vergelijken met bestaande systemen voor corrosiebescherming. Die testen alleen zijn echter niet voldoende om een product goed te keuren voor een bepaalde toepassing, omdat de corrosiviteit van de omgeving sterk zal variëren van het ene project tot het andere. Uiteindelijk is het de verantwoordelijkheid van de gebruiker om de juiste corrosiebescherming te kiezen op basis van de gedetailleerde informatie over de toepassing, zijn langetermijnervaring en zijn fundamentele kennis ter zake.

### 2.1. Doel van corrosietesten

Versnelde corrosietesten in het laboratorium zijn een uitstekend middel om de prestaties van materialen te evalueren, omdat ze gestandaardiseerde en herhaalbare omstandigheden creëren en reeds na een korte testperiode (enkele dagen tot weken) tot een diagnose leiden.

Dit soort testen wordt vaak gebruikt voor de kwaliteitscontrole van coatings voor corrosiebescherming. Om te slagen voor de kwaliteitscontrole, moeten de producten blijf geven van de vereiste prestaties (bv. twee dagen zonder rode roest). Verder zijn deze testen erg handig bij productontwikkeling. De screening en classificatie van de coatings en materialen voor nieuwe producten is namelijk cruciaal.

## 2.2. Laboratoriumvoorzieningen/testen

In zijn eigen onderzoeksinstallaties voert Hilti de meest relevante laboratoriumtesten uit om zijn producten te testen op corrosiebestendigheid (zie afbeelding 13).

### Neutrale zoutsproeitest: EN ISO 9227

De zoutsproeitest is een van de oudste en meest gebruikte versnelde corrosietesten. De stalen worden permanent blootgesteld aan een zoutnevel gemaakt met een oplossing van vijf procent natriumchloride. De zoutsproeitest is niet geschikt om corrosiebescherming in een reële omgeving te simuleren en te beoordelen, omdat de chlorideconcentratie hoog is en er geen droogperiodes zijn. Toch is het een praktische test om bepaalde systemen voor corrosiebescherming te onderzoeken. Hilti gebruikt de zoutsproeitest om de homogeniteit van de zinkcoatings op zijn bevestigingsmiddelen na te gaan, bij wijze van kwaliteitscontrole tijdens de productie (zie afbeeldingen 14 en 15).



Fig. 13: Ons corrosielaboratorium met kasten voor zoutsproeitesten en cyclische corrosietesten

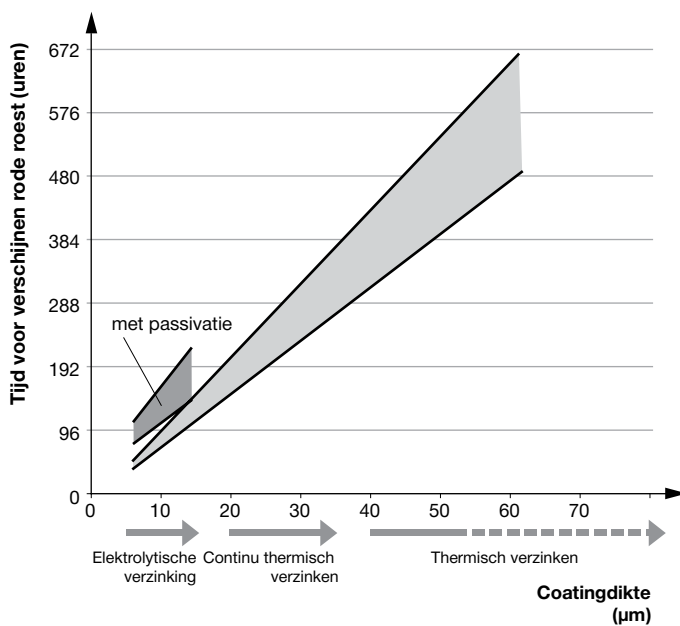


Fig. 15: Typische tijd tot de eerste verschijning van rode roest (corrosie van het stalen substraat) in de zoutnevel voor verzinkte producten van verschillende diktes



Fig. 14: Elektrolytisch gegalvaniseerde schroeven met een zinkcoating van ongeveer 5 µm na 48 u (bovenaan) en 96 u (onderaan) in de zoutsproeitest.

### Cyclische corrosietest: EN ISO 16701

In de cyclische corrosietest volgens EN ISO 16701 variëren de temperatuur en relatieve vochtigheid om de natte/droge cycli, die typisch zijn voor de natuurlijke omstandigheden in open lucht, na te bootsen. Bovendien worden de stalen tweemaal per week besprenkeld met een natriumchlorideoplossing van 1% om corrosie uit te lokken. Door de natte/droge cycli en de lagere chlorideconcentratie is deze test veel beter geschikt om natuurlijke corrosieprocessen op gang te brengen dan de gewone zoutspoeitest. Er is evenwel meer tijd voor nodig (meerdere weken) (zie afbeeldingen 16 en 17).

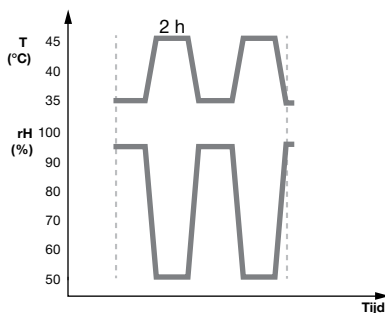


Fig. 16: Dagelijkse temperatuur- en vochtigheidscyclus van de cyclische corrosietest volgens ISO 16701: tweemaal per week wordt een NaCl-oplossing van 1% over de stalen gespreid gedurende 3x15 minuten

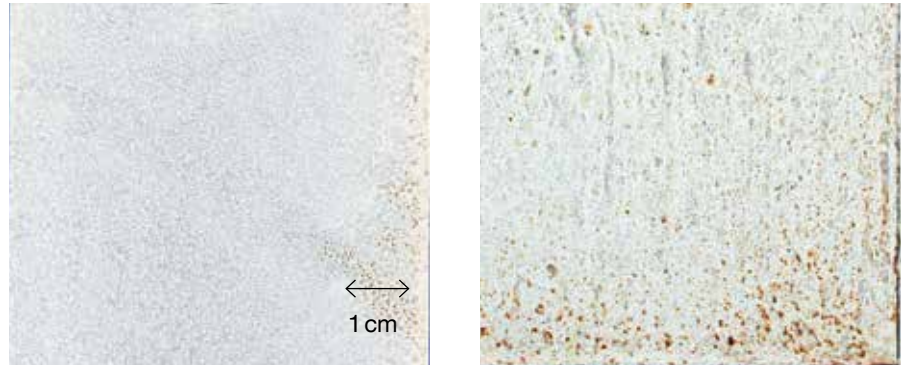


Fig. 17: Verzinkt staal (thermisch verzinkt) na een jaar in een tropisch kustklimaat (links) en na 12 weken in de cyclische corrosietest volgens ISO 16701 (rechts). In de veldtest en de cyclische corrosietest werd vergelijkbaar gedrag vastgesteld.



Fig. 18: Deel van een connector met meerlagige coating (deklaag van organische vlokken) na tien weken in de ISO 20340-test met UV-bestraling

### Cyclische corrosietest met blootstelling aan uv-straling: ISO 20340

Deze test stelt de stalen bovendien bloot aan hoogenergetische ultravioletstraling. Dit wordt gecombineerd met watercondensatie, blootstelling aan chloride en een vriesperiode (zie afbeelding 19). Organische polymeren zoals verf en vernis kunnen aangetast worden door zonlicht. Deze test wordt vooral aangewend voor producten met een organische coating (zie afbeelding 18).

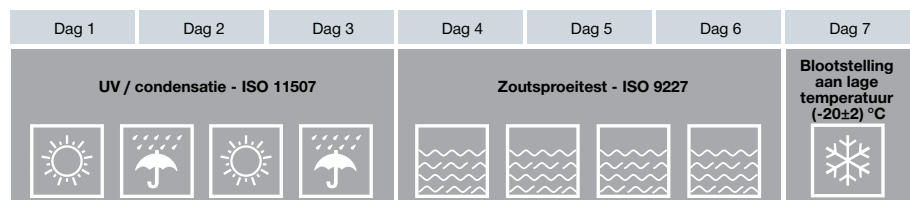


Fig. 19: Cyclische corrosietest in combinatie met blootstelling aan uv-straling, zoutbesproeiing en vriescyclus volgens ISO 20340



**E Vochtigheidstest: EN ISO 6270 en Kesternichtest (zwaveldioxide); EN ISO 6988**

In de vochtigheidstest worden de stalen blootgesteld aan een atmosfeer met een relatieve vochtigheid van 100%. Deze test kan gecombineerd worden met de toevoeging van een bepaalde hoeveelheid zwaveldioxidegas. Dat creëert een uiterst corrosieve en zure omgeving om het effect van zware industriële verontreiniging te simuleren (zie afbeelding 20).

**Elektrochemie**

Gezien de elektrochemische aard van het corrosieproces zijn elektrochemische technieken nuttige instrumenten in het onderzoek naar de corrosiereacties van bepaalde materialen. Ons laboratorium is niet alleen uitgerust voor versnelde corrosietesten, maar ook voor elektrochemische testen. Die apparatuur (potentiostaat) wordt vooral gebruikt om putcorrosie en de repassivering van roestvrij staal te onderzoeken.

**Metallografisch laboratorium**

Zowel versnelde corrosietesten als veldtesten moeten ondersteund worden door verschillende analysemethoden voor een correcte interpretatie van de resultaten. In het metallografische laboratorium gebruiken we een ultramoderne rasterelektronenmicroscop plus elementaire analyse voor een grondiger onderzoek van onze producten (zie afbeelding 21, 22 en 23).



Fig. 20: VSchroeven met een meerlagige, uiterst corrosiebestendige coating na 15 cycli van de corrosietest met zwaveldioxide (corrosievrij)



Fig. 21: Rasterelektronenmicroscop (SEM).

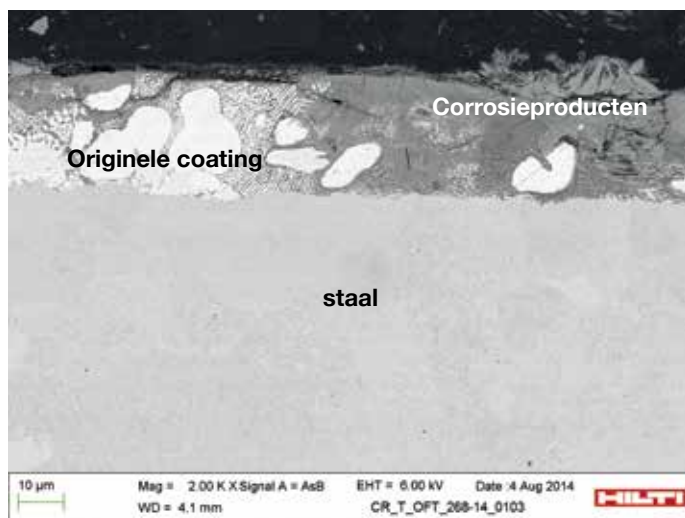


Fig. 22: Metallografische doorsnede in de rasterelektronenmicroscop van een Zn-legeringcoating na drie jaar blootstelling aan een kustklimaat



Fig. 23: Uitrusting van het metallografisch laboratorium (slijpen en polijsten)

### 2.3. Veldtesten buiten

De corrosiebescherming van producten kan het nauwkeurigst beoordeeld worden door stalen en producten bloot te stellen aan reële atmosferische omgevingsomstandigheden. Daartoe voert Hilti met zijn producten verschillende doorlopende veldtesten in openlucht uit, op verschillende plaatsen overal ter wereld, in omstandigheden die gaan van koude tot tropische temperaturen en van een kustklimaat tot een industriële omgeving en zelfs testen in zee (zie afbeelding 24).

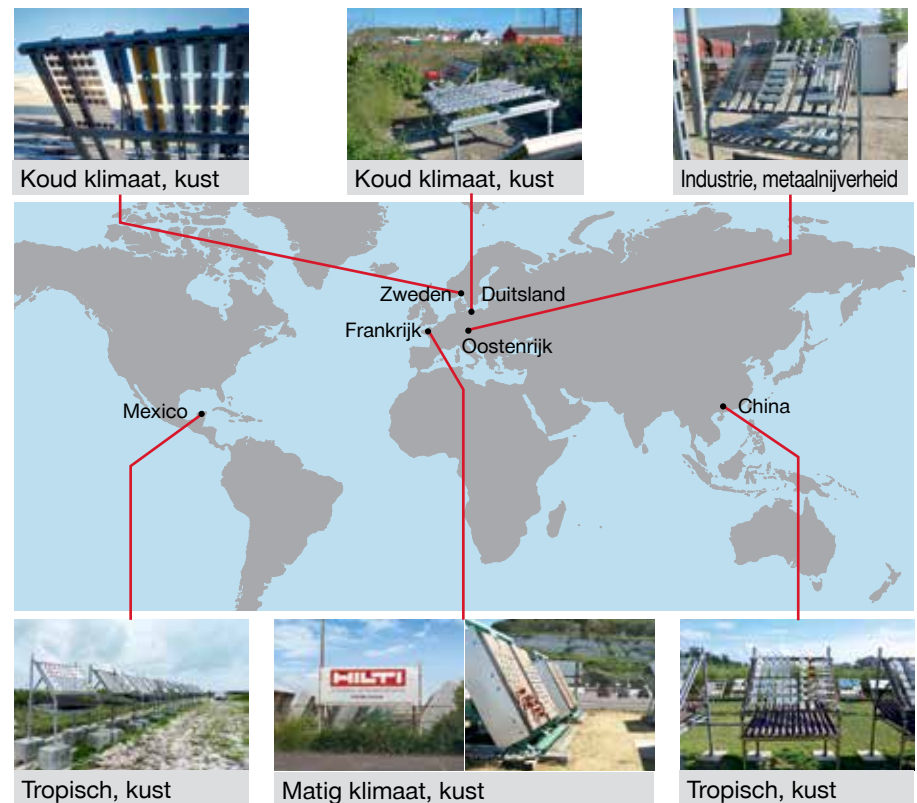


Fig. 24: Kaart met de verschillende testlocaties voor producten van Hilti

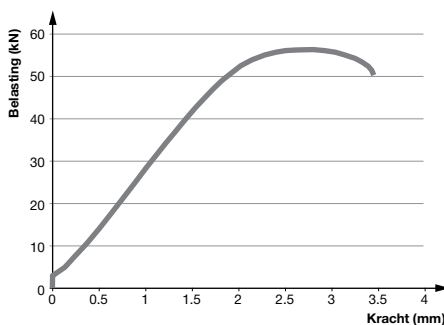


Fig. 25: Typisch resultaat van kracht-verplaatsingmetingen voor een geïnstalleerde ankerbout na 16 jaar blootstelling aan het kustklimaat

De locatie nabij Le Havre aan de Franse Atlantische kust gebruikt Hilti al sinds de jaren 1980. Hier testen we niet alleen het corrosiegedrag van onze bevestigingsproducten, maar ook hun functionaliteit op lange termijn. De bevestigingsmiddelen, vooral ankerbouten, worden in beton aangebracht. Na een bepaalde periode worden de resterende belastingswaarden gemeten in trektesten (zie afbeelding 25).

Vanaf het begin van de jaren 1980 tot 2005 heeft Hilti ook uitgebreid onderzoek gedaan naar het corrosiegedrag van verschillende materialen in wegtunnels in de Alpen. Deze langetermijnwaarnemingen stelden ons in staat om de prestaties van onze producten in deze extreem corrosieve omgevingen te verbeteren en zo onze klanten uiterst betrouwbare bevestigingsystemen te bieden voor gebruik in dergelijke omstandigheden. Het hooggeleegde roestvrije staal 1.4529 (HCR) bleek het enige materiaal te zijn dat geen tekenen van corrosie vertoont. De resultaten van dit onderzoek beïnvloedden ook de normen en voorgeschreven praktijken voor producten en bevestigingsmiddelen van roestvrij staal gebruikt in tunneltoepassingen (zie afbeelding 26).

Onze bevestigingsmiddelen en installatieproducten zijn niet de enige producten die grondig werden getest. Ook het elektrisch gereedschap van Hilti ondergaat heel wat werkingstesten onder typische corrosie-omstandigheden. Zo garanderen wij topprestaties, zelfs in de meest barre omstandigheden (zie afbeelding 27).



Fig. 26: Wegtunnels vormen een erg corrosieve omgeving (dooizout en uitlaatgassen van het verkeer).

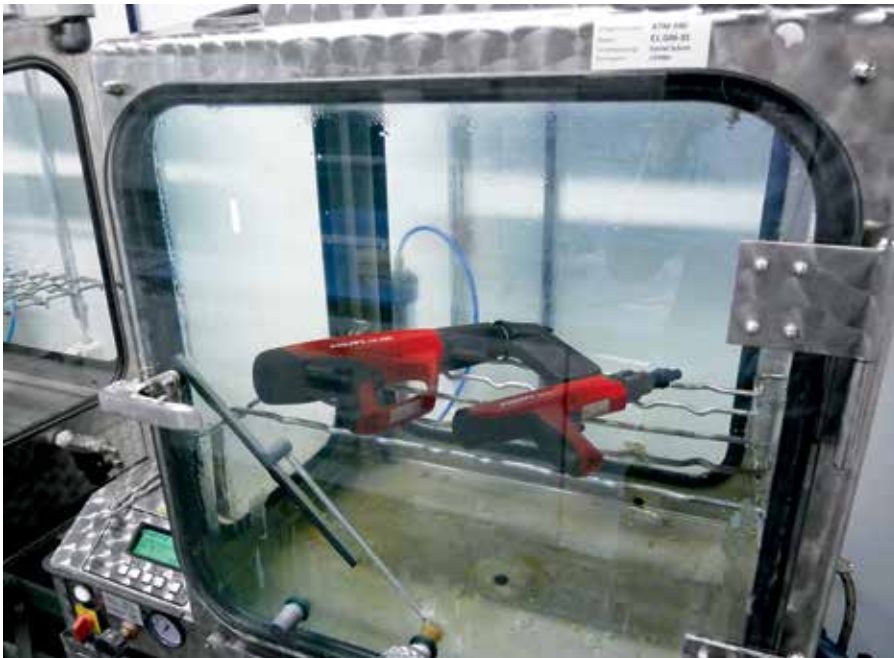
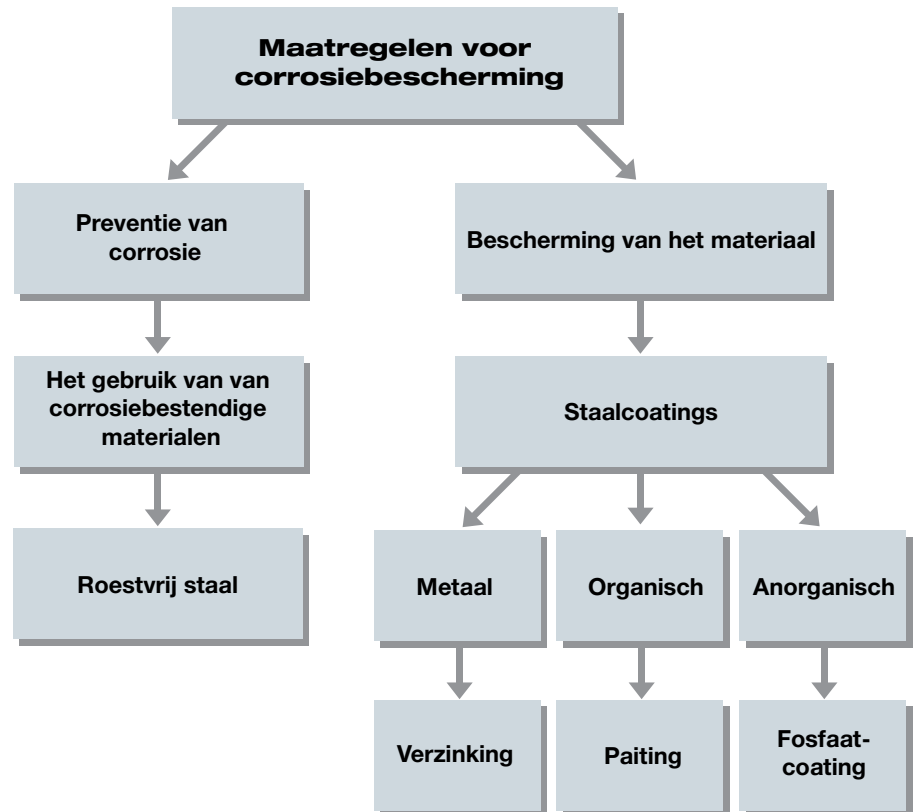


Fig. 27: Bevestigingsgereedschap in een vochtigheidskast

### 3. Oplossingen voor corrosiebescherming van Hilti

In dit hoofdstuk leggen we uit welke oplossingen voor corrosiebescherming Hilti toepast op zijn producten, wat hun typisch corrosiegedrag is en voor welke toepassingen ze geschikt zijn.

#### Classificatie van maatregelen voor corrosiebescherming



Onderstaande tabel geeft een overzicht van de corrosiebeschermende coatings die Hilti toepast op zijn producten

Tabel 1: Corrosiebeschermende coatings die Hilti toepast op zijn producten

Hilti – Oplossingen voor de corrosiebescherming van koolstofstaal	Coatingdikte	Voorbeelden producten
Fosfateren		Schroeven
Elektrolytisch galvaniseren	Van 5 tot 20 µm	Spijkers, ankerbouten, schroeven
Thermisch verzinken	Van 35 tot 100 µm	Installatiekanalen
Continu thermisch verzinken/ Sendzimir verzinken	Van 20 tot 40 µm	Ankerbouten, installatiekanalen
Sherardiseren/diffusieverzinken	Tot 45 µm	Ankerbouten
Meerlagig (Zn plus bijkomende organische coating – verf)		Ankerbouten en installatieonderdelen

### 3.1. Corrosie en corrosiebescherming van koolstofstaal

Het ongelegeerde staal (zacht staal of koolstofstaal) waarvan de meeste van onze bevestiging- en installatieproducten vervaardigd zijn, moet steeds beschermd worden tegen corrosie. De corrosiesnelheid van koolstofstaal is meestal te hoog voor een veilig gebruik zonder corrosiebescherming (rond 20 micrometer per jaar ( $\mu\text{m/a}$ ) in openlucht op het platteland en tot meer dan 100  $\mu\text{m/a}$  in een kustklimaat). Het ontwerp van de producten kan niet uitgaan van een dergelijk snel materiaalverlies. Daarom biedt Hilti een brede waaier gepaste, kostenefficiënte oplossingen voor de corrosiebescherming van koolstofstaalproducten.

In alkaline omgevingen blijven ijzer en staal doorgaans wel stabiel. Dat verklaart waarom koolstofstalen wapeningsstaven reeds zeer goed beschermd zijn tegen corrosie in de alkaline omgeving van het beton.

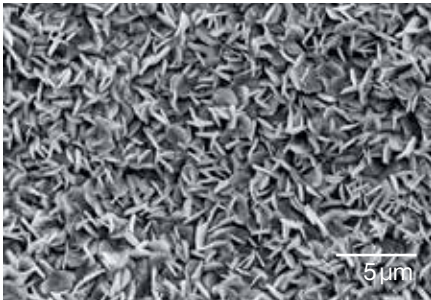


Fig. 28: Fosfaatkristallen op een stalen oppervlak, 3000X vergroot in de raster-elektronenmicroscop

#### Fosfateren

<p>Beschrijving van het proces</p>	<p>Het staal wordt in een zure oplossing met metaal-(Zn, Fe) en fosfaat-zouten gedompeld. De oplossing reageert met het staal en vormt een microkristallijne fosfaatlaag op het oppervlak (zie afbeelding 27). Het resultaat is een ruw oppervlak dat erg goed oliën kan vasthouden.</p>
<p>Corrosiegedrag en verdere informatie</p>	<p>De olie die wordt aangebracht om te beschermen tegen corrosie, hecht zich aan het oppervlak en biedt zo bescherming tijdens het transport. Bovendien komt dit de algemene corrosiebescherming ten goede. Dergelijke producten kunnen enkel in droge binnenomgevingen gebruikt worden. Hilti gebruikt fosfatering voor gipsplaatschroeven.</p>

#### Zinkcoatings

Zink is een uitstekende optie voor de corrosiebescherming van koolstofstaal. Om stalen onderdelen, van kleine schroeven tot meterslange kanalen, van een zinkcoating te voorzien, zijn er verschillende mogelijkheden. Zink corrodeert ruim tien keer trager dan staal, namelijk 0,5  $\mu\text{m/a}$  in de stad of op het platteland en tot 5  $\mu\text{m/a}$  in een kustklimaat. Afbeelding 28 geeft een overzicht van de gemiddelde levensduur van verzinkt staal onder verschillende omstandigheden.

De corrosie blijft beperkt door de vorming van stabiele lagen corrosieproducten die carbonaten (uit de  $\text{CO}_2$  in de lucht) en chloriden (indien aanwezig in de atmosfeer) bevatten. Wanneer wegens omstandigheden de vorming van die onoplosbare corrosieproducten niet mogelijk is, zal de corrosiesnelheid sterk toenemen. Zink is in dat geval minder geschikt als beschermende coating. We bedoelen hier permanent vochtige omgevingen of blootstelling aan hoge concentraties industriële verontreiniging, zoals zwaveldioxide. In dergelijke omgevingen worden vooral oplosbare corrosieproducten gevormd, die kunnen wegspoelen met de neerslag.

Zink vertraagt niet alleen de corrosie, maar biedt ook kathodische bescherming van het staal. Wanneer de zinkcoating gekrast geraakt, afschilfert of andere schade oploopt en het staal wordt blootgesteld, treedt een speciale vorm van galvanische corrosie op (zie hoofdstuk 1.2.7). Omdat zink een minder edel metaal is dan staal, corrodeert het eerst en beschermt het zo het blootgestelde stalen oppervlak.

Zinkcoatings verdwijnen redelijk gelijkmatig bij atmosferische corrosie. Daarom zal een dubbel zo dikke coating een bepaalde toepassing doorgaans ook tweemaal zo lang beschermen tegen de verschijning van rode roest op het stalen substraat.

Zink is niet stabiel in alkaline omgevingen en wordt gemakkelijk aangetast in oplossingen met een pH-waarde van 10 of hoger. Verzinkte bevestigingsmiddelen worden daarom beter niet in erg vers beton geplaatst (minder dan 28 dagen oud), omdat de zinkcoating anders aangetast wordt, vooral in de overgangszone met de atmosfeer. Op de bouwplaats moet ook het contact tussen verzinkte producten in het algemeen en gewone bouwmaterialen zoals cement of beton vermeden worden.

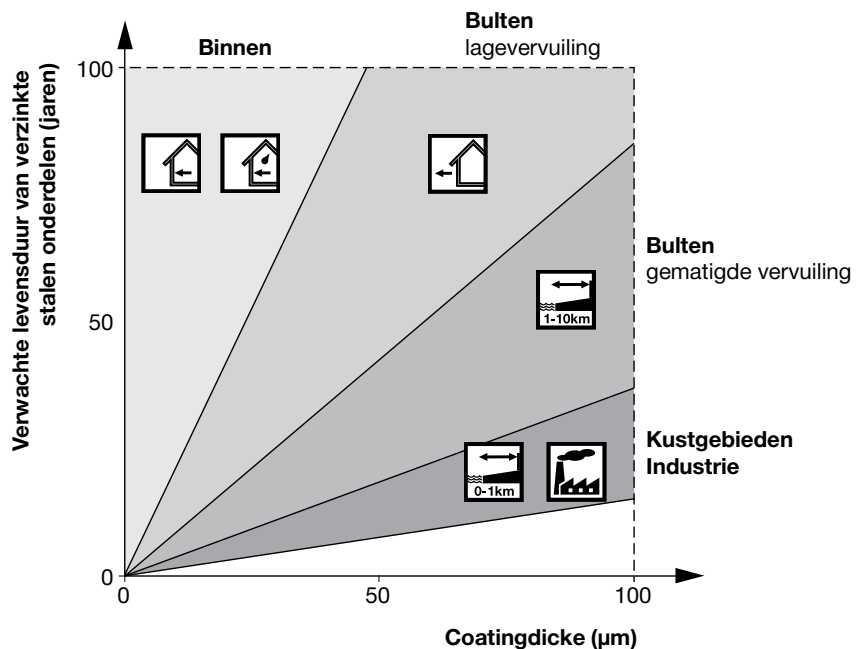


Fig. 29: Levensduur van verzinkt staal in verschillende omgevingen

#### Elektrolytisch galvaniseren

Beschrijving van het proces	Men stuurt elektrische stroom door een waterachtige oplossing met zinkionen, zodat er zinkmetaal neerslaat op het stalen substraat. Meestal worden de onderdelen eerst gereinigd en afgebeten. Na de zinkafzetting worden ze gepassiveerd. Dit is een uitstekende manier om kleine onderdelen met schroefdraad te beschermen, omdat er zich een homogene en dichte coating vormt.
Coatingdikte	De specificaties variëren meestal van 5 tot 15 µm.



<p>Corrosiegedrag en verdere informatie</p>	<p>Omdat de coatingdikte beperkt is, mogen elektrolytisch verzinkte onderdelen zonder verdere corrosiebescherming enkel in droge binnenomgevingen gebruikt worden. Aan de hand van elektrolytische galvanisering is het ook mogelijk om Zn-legeringen aan te brengen, zoals ZnNi-coatings.</p> <p>Bij elektrolytisch galvaniseren is het mogelijk dat waterstof opgenomen wordt. Daarom worden de hogesterktebevestigingen van Hilti, zoals spijkers voor directe bevestiging, na de elektrolytische galvanisering gebakken (24 u bij een temperatuur rond 180°C) om de waterstof te verwijderen en een betrouwbaar product te verkrijgen.</p>
---	--



Fig. 30: Microscoopbeeld van thermisch verzinkt staal

**Thermisch verzinken**

<p>Beschrijving van het proces</p>	<p>Tijdens het proces worden de stalen onderdelen in een bad van gesmolten zink gedompeld. Met deze techniek is het ook mogelijk om grote onderdelen van meerdere meters lang te coaten. Kleine onderdelen, zoals bouten en ankerbouten, worden gecentrifugeerd na het thermisch verzinken, om het overtollige zink van de schroefdraden te verwijderen.</p>
------------------------------------	--



Fig. 31: Bruine roest op een thermisch verzinkt kanaal na 200 u in de zoutsproeitest. Nog geen corrosie van het staal

<p>Coatingdikte</p>	<p>De dikte bedraagt meestal 35 tot 100 micron, naargelang de dikte van het materiaal en de samenstelling van het staal. Het onderdompelen duurt meestal enkele minuten.</p>
---------------------	--

<p>Corrosiegedrag en verdere informatie</p>	<p>Het gesmolten zink reageert met het stalen substraat en vormt een laag van ZnFe-legering met daarboven een dunnere, zuivere Zn-laag (zie afbeelding 30).</p> <p>De corrosieproducten van thermisch verzinkte onderdelen kunnen bruinachtig zijn, door het Fe in de zinkcoating. Dit betekent echter niet noodzakelijk dat het stalen substraat aan corrosie onderhevig is (zie afbeelding 31).</p>
---	---

**Continu thermisch verzinken/Sendzimir verzinken**

<p>Beschrijving van het proces</p>	<p>Tijdens dit proces wordt het plaatmetaal van spoelen continu door een bad van gesmolten zink getrokken, nadat het oppervlak werd gereinigd en onderworpen aan een speciaal uitgloeiproces (hittebehandeling). Het zinkbad bevat een kleine hoeveelheid Al. Het Al reageert met het stalen oppervlak en vormt een zogenaamde inhibitie laag van enkele nanometer dik, wat de vorming van ZnFe-fasen verhindert. De coating bestaat hoofdzakelijk uit puur zink.</p>
------------------------------------	---

<p>Coatingdikte</p>	<p>De dikte kan variëren van 10 tot 70 micron aan beide zijden en wordt geregeld door het overtollig zink weg te blazen met lucht.</p>
---------------------	--

Corrosiegedrag en verdere informatie	Met continu thermisch verzinken kunnen niet alleen zuivere Zn-coatings aangebracht worden, maar ook coatings van Zn-legeringen, zoals ZnAl en ZnAlMg. De meeste coatings bevatten ongeveer 2-4% Al en Mg en beschermen dubbel zo goed tegen corrosie dan een Zn-coating van hetzelfde gewicht.
<b>Sherardiseren/diffusieverzinken</b>	
Beschrijving van het proces	Sherardiseren is verzinken met een thermisch diffusieproces. De stalen onderdelen worden in een vat met Zn-poeder gelegd en vervolgens verhit tot meer dan 320 °C. Het zink is niet vloeibaar en de coating komt tot stand door thermische diffusie van het Zn-poeder in de stalen onderdelen.
Coatingdikte	Een coatingdikte tot 45 micron is mogelijk.
Andere kenmerken	Deze coatings bestaan voornamelijk uit een ZnFe-legering die een uitstekende bescherming tegen corrosie biedt, te vergelijken met thermisch verzinken. Zelfs op complexe onderdelen met schroefdraad vormt dit proces een harde en uniforme coating.

### Meerlagige coatings

Wanneer de corrosiebescherming van de metalen coating onvoldoende is, kunnen de onderdelen verder beschermd worden met bijkomende coatings, meestal organische verf met of zonder metalen vlokken.

Een goed voorbeeld hiervan is de meerlagige coating op bevestigingsmiddelen, die bestaat uit een elektrolytisch aangebrachte coating van Zn-legering en een bijkomende organische deklaag (zie afbeelding 32).



Fig. 32: Illustratie van een meerlagige coating op bevestigings- en verbindingmiddelen



### 3.2. Corrosiegedrag van roestvrij staal

Een legering van staal met minstens 10% chroom wordt roestvrij staal genoemd. Door het chroom vormt zich een stabiele, erg dunne (enkele nanometer) oxidelaag (passieve laag) op het oppervlak. Daarom zal roestvrij staal niet zo gemakkelijk corroderen als koolstofstaal wanneer het in contact komt met water.

Onder bepaalde omstandigheden kan de passieve laag echter stukgaan en kan er plaatselijke aantasting ontstaan, zoals putcorrosie (zie 1.2.2). Putcorrosie is de meest voorkomende vorm van corrosie op roestvrij staal. Daarom is de levensduur minder voorspelbaar dan met zinkcoatings. In het algemeen moet voor een bepaalde toepassing een soort roestvrij staal gekozen worden die stabiel is en geen corrosie vertoont in de gegeven omstandigheden.

De weerstand van roestvrij staal tegen putcorrosie kan bij benadering geschat worden aan de hand van de PREN-waarde (pitting resistance equivalent number). De PREN-waarde is gebaseerd op de chemische samenstelling van het staal en houdt rekening met de hoeveelheid chroom, molybdeen en stikstof. In het voorlichtingsmateriaal worden verschillende formules gehanteerd voor die berekening. Dit zijn de vaakst toegepaste formules:

$PREN = \%Cr + 3.3 \times \%Mo$   
(voor roestvrij staal  $Mo < 3\%$ )

$PREN = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 30 \times \%N$   
(voor roestvrij staal  $Mo \geq 3\%$ )

Een andere ernstige vorm van corrosie bij roestvrij staal is spanningscorrosie.

Austenitisch roestvrij staal kan gevoelig zijn voor deze vorm van corrosie onder specifieke, uiterst agressieve omstandigheden, zoals overdekte zwembaden. In dergelijke gevallen moeten voor sommige toepassingen uiterst corrosiebestendige soorten roestvrij staal gebruikt worden, bv. soorten met meer dan 6% molybdeen.

In hoofdstuk 4 geven we meer informatie over de keuze van de juiste soort roestvrij staal.

### Soorten roestvrij staal

Er bestaan verschillende soorten roestvrij staal, de ene al stabielier dan de andere. De meest voorkomende soort is een legering met ongeveer 18% Cr en 10% Ni (zie afbeelding 32). Door van bepaalde elementen meer of minder hoeveelheid aan het staal toe te voegen, veranderen de corrosie-eigenschappen, de mechanische kenmerken en bepaalde verwerkingskenmerken, zoals de lasbaarheid. Met een sterk beperkte hoeveelheid nikkel is de legeringsfase niet langer zuiver austenitisch, maar een combinatie van austenitische en ferritische fasen (duplex roestvrij staal).

### Benamingen van roestvrij staal

Bovenstaande afbeelding geeft de benaming weer van de drie meest voorkomende soorten roestvrij staal.

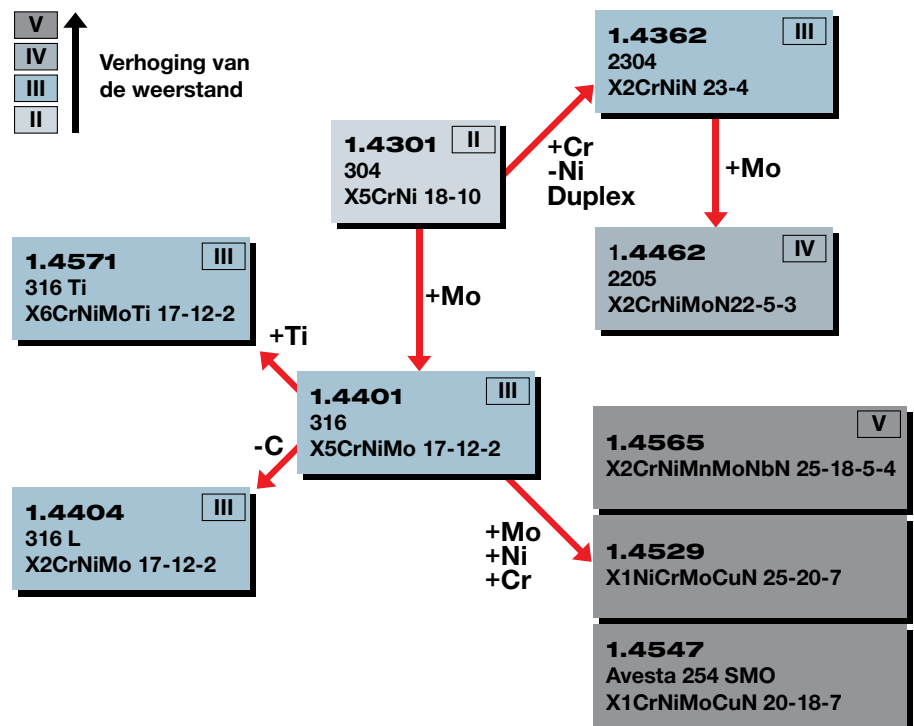


Fig. 33: Classificatiediagram voor de meest gebruikelijke soorten roestvrij staal

## Materiaalnummer

### Beschrijving

Het systeem om materialen te nummeren volgens EN 10088-1:2014 wordt in verschillende landen gebruikt. Elk nummer bestaat uit vijf getallen, zoals 1. 4404

Het eerste getal 1 betekent staal, het tweede en derde getal 44 wijst op chemisch resistent staal met Mo en zonder Nb of Ti. Buiten het getal 44 bestaan de volgende benamingen voor roestvrij staal:

“41” = met Mo, zonder Nb en Ti, Ni < 2,5 %

“43” = zonder Mo, Nb en Ti, Ni ≥ 2,5 %

“44” = met Mo, zonder Nb en Ti, Ni ≥ 2,5 %

“45” = met bijkomende elementen

De laatste twee getallen 04 verwijzen naar de exacte legering.

## AISI-benaming (bv. 316)

### Beschrijving

Het benamingssysteem van het AISI (American Iron and Steel Institute) wordt wereldwijd gebruikt. Het bestaat uit een nummer waar verschillende letters aan toegevoegd kunnen worden, naargelang de samenstelling.

200 – austenitisch staal met chroom, nikkel en mangaan

300 – austenitisch staal met chroom en nikkel

400 – ferritisch en martensitisch chroomstaal

De bijkomende letters (soms in onderschrift) betekenen het volgende:

L = lage koolstof

Ti = titaan

De nieuw ontwikkelde soorten duplex roestvrij staal hebben een benaming van vier getallen (bv. 2205 voor 1.4462).

**Afgekorte benaming****Beschrijving**

X= Hooggelegeerd staal

2= Koolstofinhoud in 1/100%, in dit geval: C= 0,02%

Cr= Chroom, in dit geval: 17%

Ni= Nikkel, in dit geval: 12 %

Mo= Molybdeen, 2%

De staalsoort in het voorbeeld komt overeen met de AISI-benaming 316 L en het DIN-materiaal 1.4404.

**Termen V2A en V4A – benaming volgens EN ISO 3506-1:2009****Beschrijving**

De termen V2A en V4A zijn meer dan 100 jaar oud en dateren van de eerste proefproducties van roestvrij staal. De V staat voor 'Versuch', Duits voor 'test of proef', en de A voor 'austeniet'. V2A is een Cr/Ni-legering en V4A een CrNiMo-legering. De termen worden in sommige landen nog steeds gebruikt als synoniem voor roestvrij staal.

De norm EN ISO 3506-1:2009 (mechanische eigenschappen van corrosiebestendige roestvrij stalen bevestigingsmiddelen, bouten, schroeven en spijkers) hanteert de benamingen A1 tot A5 voor austenitisch roestvrij staal. Dit is gebaseerd op de samenstelling van de legering en zegt niets over het corrosiegedrag. De soort 1.4401 behoort bijvoorbeeld tot de groep A4 en 1.4571 tot de groep A5. Beide roestvrij stalen legeringen hebben echter praktisch hetzelfde corrosiegedrag.

De termen A2 en A4 worden vaak gebruikt voor een groep van soorten roestvrij staal met een bepaalde corrosiebestendigheid. Dit is echter niet helemaal juist, omdat uit deze termen geen specifieke informatie over de legeringsamenstelling kan worden afgeleid en dus ook niet over bepaalde eigenschappen zoals de lasbaarheid.

### 3.3. Preventie van galvanische corrosie

Galvanische corrosie (zie hoofdstuk 1.2.7) kan vermeden worden door de juiste materiaalcombinaties te kiezen. Dat is echter niet altijd mogelijk en soms moeten andere maatregelen overwogen worden. Een voorbeeld daarvan is galvanische scheiding van de verschillende materialen, zoals op afbeelding 34.

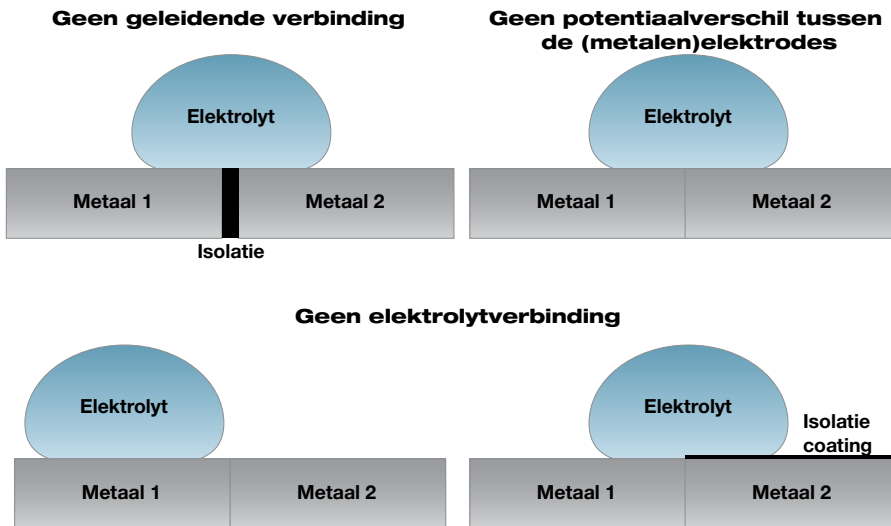


Fig. 34: Voorwaarden voor metaalcombinaties zonder risico op galvanische corrosie.

Om galvanische corrosie te vermijden, moet het verschil in vrije corrosiepotentiaal tussen de materialen zo laag mogelijk zijn en/of de oppervlakteverhouding van het minst edele materiaal tot het edelste materiaal erg groot zijn. De vrije corrosiepotentiaal hangt af van de standaardpotentiaal, een gegeven thermodynamische waarde voor elk metaal en de corrosieve omgeving.

Afbeelding 35 geeft de vrije corrosiepotentiaal weer van verschillende materialen bij onderdompeling in zeewater. Hoe hoger de potentiaal, hoe edeler het metaal. Contact met een metaal met een lagere potentiaal leidt tot de galvanische corrosie van dat metaal.

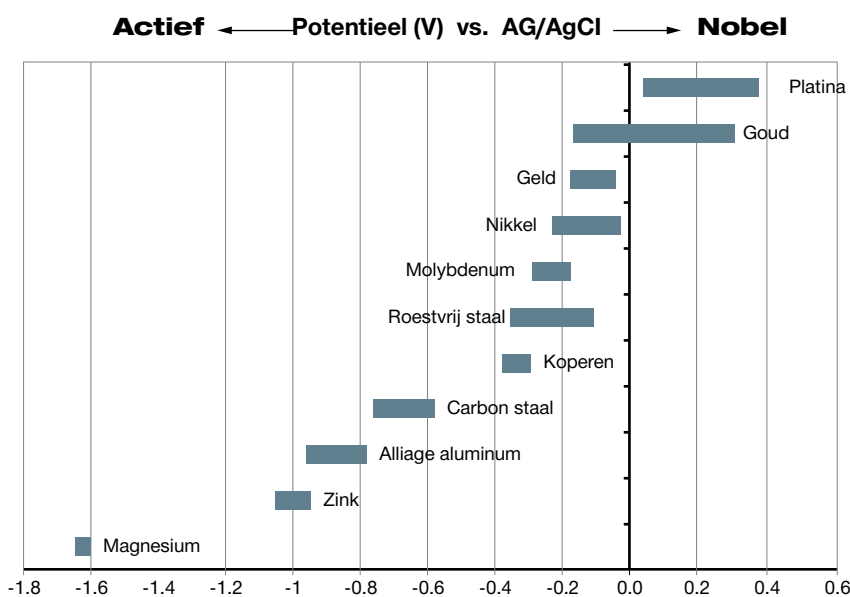


Fig. 35: Corrosiepotentiaal van verschillende metalen in zeewater

Voor een bevestigingsmiddel geldt de vuistregel dat het altijd vervaardigd moet zijn van hetzelfde of een edeler metaal dan het bevestigde onderdeel.

Tabel 2 toont de impact van galvanische corrosie onder **atmosferische omstandigheden in openlucht** voor verschillende materiaalcombinaties.

Tabel 2: Impact op levensduur van bevestigingsmiddelen door galvanische corrosie (contactcorrosie)

Bevestigd onderdeel (grote oppervlakte)	Bevestigingsmiddel (kleine oppervlakte)			
	Elektrolytisch gegalvaniseerd	Duplex gecoat koolstofstaal	Thermisch verzinkt	Roestvrij staal
Elektrolytisch gegalvaniseerd	□	□	□	□
Thermisch verzinkt	□	□	□	□
Aluminium	■	■	■	□
Constructiestaal of gietstaal	■	■	■	□
Roestvrij staal (CrNi of CrNiMo)	■	■	■	□
Tin	■	■	■	□
Koper	■	■	■	□
Messing	■	■	■	□

- Geen impact op levensduur
- Matige impact op levensduur, in veel gevallen technisch aanvaardbaar
- Sterke impact op levensduur

In **droge binnentoepassingen** is contactcorrosie verwaarloosbaar en zijn er gewoonlijk geen gevoelige materiaalcombinaties.

In de meeste toepassingen met materiaalcombinaties binnen of buiten moet men rekening houden met de algemene richtlijnen en beperkingen voor bepaalde materialen. De galvanische corrosie van zink in contact met aluminium, bijvoorbeeld, verloopt meestal erg traag. Toch is de coatingdikte van elektrolytisch verzinkte bevestigingsmiddelen doorgaans onvoldoende voor een betrouwbaar gebruik buiten, met een aanzienlijke levensduur.

In de selectietabellen van hoofdstuk 5 wordt rekening gehouden met galvanische corrosie, door twee verschillende rijen te geven voor het bevestigde onderdeel (verdeeld in 'staal', 'aluminium' en 'roestvrij staal').

## 4. Corrosie beoordelen in een specifieke omgeving/toepassing

In dit hoofdstuk beschrijven we hoe we de corrosiviteit van bepaalde omgevingen kunnen beoordelen. Enkel specialisten die plaatselijk aan een specifiek project werken, kunnen de parameters die de corrosie beïnvloeden, vaststellen. De gebruiker en/of ontwikkelaar is dan ook verantwoordelijk voor de uiteindelijke keuze in functie van de gekozen materialen en producten. De medewerkers van Hilti kunnen u wel de nodige basisinformatie verstrekken over onze producten. De ingenieurs van Hilti kunnen de verwachte corrosiviteit van de gewenste toepassing echter niet volledig controleren.

### 4.1. Factoren van atmosferische corrosie

Onder bepaalde omstandigheden kan de corrosiviteit en bij gevolg de corrosiesnelheid van zinken en stalen producten geschat worden, wanneer de typische atmosferische parameters van een bepaalde toepassing bekend zijn (zie afbeelding 36).



Fig. 36: Factoren van atmosferische corrosie

Dit zijn de belangrijkste variabelen voor atmosferische corrosie:

<b>Temperatuur</b>	
<b>Algemene invloed</b>	Bij hogere temperaturen versnelt de chemische reactie en dus ook de corrosie. Dit geldt vooral bij een constante relatieve vochtigheid.
<b>Aanvullende informatie</b>	Anderzijds zal een nat oppervlak sneller drogen bij een hogere temperatuur, wat de corrosie kan vertragen. Bij temperaturen onder het vriespunt is corrosie verwaarloosbaar. De invloed van de temperatuur op corrosie kan dus in beide richtingen gaan.
<b>Voorbeelden</b>	In vergelijkbare omgevingen, zoals kustzones, met een doorgaans hoge vochtigheidsgraad, zal een stijging van de gemiddelde temperatuur de corrosie versnellen. Daarom zijn zones aan de kust of in zee met een tropisch klimaat veel corrosiever dan vergelijkbare zones in koudere gebieden.
<b>Vochtigheid</b>	
<b>Algemene invloed</b>	Atmosferische corrosie doet zich enkel voor wanneer er een dunne vochtfilm aanwezig is op het metalen oppervlak. Zonder vocht zouden de meeste verontreinigende stoffen weinig of geen corrosief effect hebben. De periode waarin de vochtfilm aanwezig is, wordt ook time of wetness (duur van de bevochtiging) genoemd. Volgens de norm ISO 9223:1998 is de time of wetness de periode waarin de relatieve vochtigheid meer dan 80% bedraagt. Dit is slechts een ruwe schatting, aangezien de vorming van een vochtfilm op het oppervlak ook afhangt van de aanwezigheid van hygroscopische zouten (bv. corrosieproducten of zoutafzetting). In een kustklimaat met chloriden zal condensatie dan ook plaatsvinden bij een lagere relatieve vochtigheid. De berekening van de corrosiesnelheid volgens de laatste norm ISO 9223:2012 houdt enkel rekening met de gemiddelde relatieve vochtigheid van een jaar (zie hoofdstuk 5.2).
<b>Aanvullende informatie</b>	Water in de vorm van regen verhoogt niet altijd de corrosiviteit. Regen kan zelfs een gunstig effect hebben, omdat chloriden en verontreinigende stoffen worden weggespoeld. In meestal droge en matig corrosieve omgevingen kan regenwater echter het nodige vocht aanbrengen om een corrosiereactie op gang te brengen.
<b>Voorbeelden</b>	In landelijke/stedelijke omgevingen vertonen beschutte elementen meestal minder corrosie dan elementen die blootgesteld zijn aan de regen. In kustzones kan het gebrek aan spoeleffect dan weer tot sterkere corrosie leiden.



<b>Chloriden</b>	
<b>Algemene invloed</b>	<p>Een hoog atmosferisch zoutgehalte versnelt de corrosie.</p> <p>Chloriden hebben verschillende schadelijke effecten op de corrosie van metalen. Het betreft:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Daling van het verzadigingsvocht: de aanwezigheid van zout vergemakkelijkt de condensatie bij een lagere relatieve vochtigheid. Daardoor zijn de metalen oppervlakken langer vochtig.</li> <li>• Vorming van oplosbare corrosieproducten: de opgeloste metaalionen vormen metaalchloriden, die meestal onvoldoende bescherming bieden tegen verdere corrosie.</li> <li>• Vernietiging van passieve films: chloriden tasten de oxidefilms op passieve metalen aan, zoals op roestvrij staal en aluminium.</li> </ul>
<b>Aanvullende informatie</b>	<p>Het corrosiegedrag van een bepaald metaal in chloridehoudende omgevingen hangt sterk af van zijn capaciteit om stabiele en onoplosbare corrosieproducten te vormen, samen met de aanwezige chloriden. Dat is bijvoorbeeld het geval voor zink, wat verklaart waarom zink veel trager corrodeert dan staal.</p>
<b>Voorbeelden</b>	<p>Aan de kust is het zeewater de voornaamste bron van chloriden. Het bevat vooral natriumchloride (meer dan 90% van het zout), naast calcium- en magnesiumchloriden. De voornaamste bron van antropogene chloriden is het gebruik van dooizout op wegen tijdens de winter.</p>
<b>Zwavel dioxide</b>	
<b>Algemene invloed</b>	<p>Van alle atmosferische verontreinigende stoffen afkomstig van industriële processen, zoals brandstofverbranding en metaal smelten, is zwavel dioxide de belangrijkste in termen van concentratie en zijn effect op de corrosiesnelheid. Zwavel dioxidegas in de atmosfeer verzuurt de elektrolyt op het oppervlak en leidt tot de vorming van oplosbare corrosieproducten. Daardoor versnelt de corrosie op heel wat metalen, zoals zink, staal, aluminium en roestvrij staal.</p>
<b>Aanvullende informatie</b>	<p>De uitstoot van zwavel dioxide daalt in grote delen van de geïndustrialiseerde wereld en heeft in vele stedelijke en zelfs industriële gebieden een verwaarloosbaar peil bereikt (minder dan 10µg/m<sup>3</sup> of zelfs lager). Er bestaan echter nog steeds zwaar verontreinigde plekken op de wereld, waar men voor de materiaalkeuze rekening moet houden met een toegenomen corrosie door SO<sub>2</sub>.</p>
<b>Voorbeelden</b>	<p>De norm ISO 9223:2012 beschouwt omgevingen met een SO<sub>2</sub>-concentratie boven de 50µg/m<sup>3</sup> (jaarlijks gemiddelde) als zwaar verontreinigd.</p>

## 4.2. Beoordeling van de corrosiviteit van verzinkte producten

Dit hoofdstuk beschrijft hoe we de verwachte corrosie van verzinkte producten in een bepaalde omgeving kunnen beoordelen en schatten. Merk op dat dit enkel geldt voor zuivere atmosferische corrosie, waarbij het artikel volledig blootgesteld is aan de weersomstandigheden. Toepassingen waarbij het artikel bijvoorbeeld in contact staat met de bodem, ondergedompeld is in zeewater of zich in de spatzone bevindt, zijn uitgesloten, net als bijkomende effecten ten gevolge van galvanische corrosie, erosie of blootstelling aan chemische stoffen.

De corrosiviteit van de toepassing kan op twee manieren geschat worden volgens de norm ISO 9223:2012 (zie afbeelding 37).

1. De corrosiviteit schatten aan de hand van de classificatie van ISO 9223:1998 of de dosis-responsfunctie in de nieuwe versie van deze norm (ISO 9224:2012).
2. Het te gebruiken materiaal/product gedurende een jaar blootstellen en de corrosie meten.

Voor de meeste projecten is het niet mogelijk om een blootstellingstest van een jaar uit te voeren. Daarom wordt doorgaans met schattingen gewerkt. Voor de schatting worden de hierboven beschreven klimaat- en omgevingsparameters gebruikt. Dat zijn meer bepaald de gemiddelde temperatuur, de gemiddelde relatieve vochtigheid, de chlorideafzetting en de SO<sub>2</sub>-concentratie.

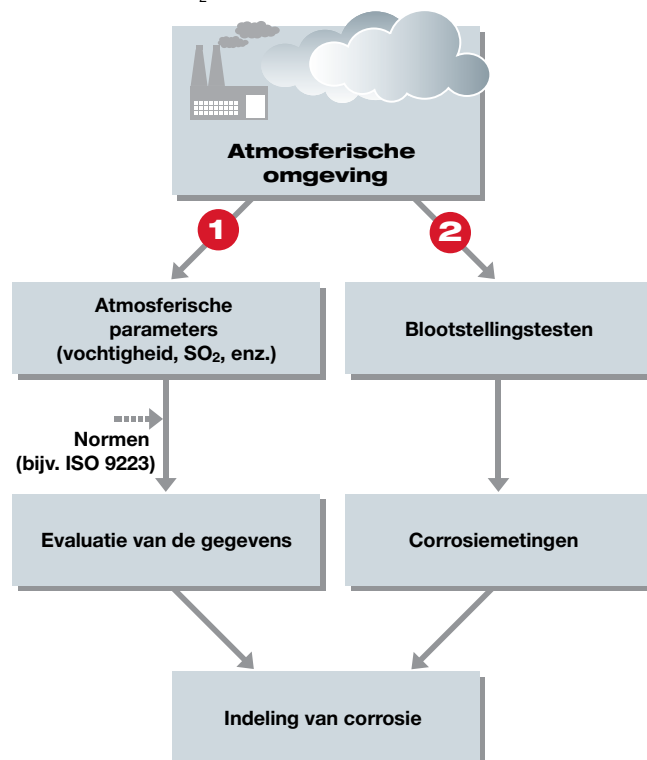


Fig. 37: Methodes voor de beoordeling van atmosferische corrosiviteit

Het resultaat van deze aanpak is een geschatte corrosiesnelheid van zink of staal in een bepaalde omgeving. Die corrosiesnelheid bepaalt de corrosiviteitscategorie (C-klasse, zie tabel 3).

Zoals vermeld in de norm, kan de afwijking bij gebruik van de omgevingsdata en de dosis-responsfunctie tot 50% bedragen. De resultaten gelden enkel voor macroklimatische en volledig blootgestelde (onbeschutte) omstandigheden. Deze aanpak houdt geen rekening met factoren zoals de accumulatie van corrosieve stoffen of galvanische corrosie. Toch zijn de resultaten van deze berekening meestal nauwkeurig genoeg om het juiste materiaal te kunnen kiezen.

Corrosie is een natuurlijk proces dat beïnvloed wordt door verschillende omgevingsfactoren, die niet voor de volledige levensduur voorzien kunnen worden. Het is daarom raadzaam om steeds met de nodige omzichtigheid te werk te gaan bij het gebruik van bevestigings- en installatieproducten.

Tabel 3: Corrosiviteitscategorieën en beschrijving van typische omgevingen in overeenstemming met de norm ISO 9223.

Corrosiviteit categorie C	Corrosie-niveau	Typische omgevingen	
		Binnen	Buiten
C1	Erg laag	Verwarmde ruimten met een lage relatieve vochtigheid en onbeduidende verontreiniging, bv. kantoren, scholen, musea.	Droge of koude zone, atmosferische omgeving met erg weinig verontreiniging en korte time of wetness, bv. bepaalde woestijnen, centraal noordpoolgebied/ Antarctica.
C2	Laag	Onverwarmde ruimte met een wisselende temperatuur en vochtigheid. Lage frequentie van condensatie en lage verontreiniging, bv. opslagplaatsen, sportzalen.	Gematigde zone, atmosferische omgeving met weinig verontreiniging ( $SO_2 < 5 \mu g/m^3$ ), bv. landelijke zones, kleine steden.  Droge of koude zone, atmosferische omgeving met korte time of wetness, bv. woestijnen, subarctisch gebied.
C3	Matig	Ruimten met gematigde frequentie van condensatie en matige verontreiniging door productieprocessen, bv. voedselverwerkende fabrieken, wasserijen, brouwerijen, zuivelbedrijven.	Gematigde zone, atmosferische omgeving met matige verontreiniging ( $SO_2: 5 \mu g/m^3$ tot $30 \mu g/m^3$ ) of enig effect van chloriden, bv. stedelijke gebieden, kustgebieden met lage afzetting van chloriden.  Subtropische en tropische zone, atmosfeer met weinig verontreiniging.
C4	Hoog	Ruimten met hoge frequentie van condensatie en sterke verontreiniging door productieprocessen, bv. industriële verwerkingsbedrijven, zwembaden.	Gematigde zone, atmosferische omgeving met sterke verontreiniging ( $SO_2: 30 \mu g/m^3$ tot $90 \mu g/m^3$ ) of aanzienlijk effect van chloriden, bv. verontreinigde stedelijke gebieden, industriële gebieden, kustgebieden, zonder besproeiing met zeewater of blootstelling aan een sterk effect van < dooizout.  Subtropische en tropische zone, atmosfeer met matige verontreiniging.
C5	Erg hoog	Ruimten met erg hoge frequentie van condensatie en/of zeer sterke verontreiniging door productieprocessen, bv. mijnen, grotten met industriële doeleinden, onverluchte schuren in subtropische en tropische zones.	Gematigde en subtropische zone, atmosferische omgeving met zeer sterke verontreiniging ( $SO_2: 90 \mu g/m^3$ tot $250 \mu g/m^3$ ) en/of significant effect van chloriden, bv. industriële zones, kustgebieden, beschutte plekken langs de kust.
CX	Extreem	Ruimten met bijna permanente condensatie of lange periodes van blootstelling aan extreme vochtigheid en/of met sterke verontreiniging door productieprocessen, bv. onverluchte schuren in vochtige tropische gebieden met penetratie van openluchtverontreiniging, zoals door de lucht verspreide chloriden en corrosiestimulerend fijn stof.	Subtropische en tropische zone (erg hoge time of wetness), atmosferische omgeving met erg sterke $SO_2$ -verontreiniging (hoger dan $250 \mu g/m^3$ ), zoals begeleidende en productiefactoren en/of sterk effect van chloriden, bv. extreme industriële zones, kust- en zeegebieden, occasioneel contact met zoutnevel.

Deze tabel geeft een woordelijke beschrijving van mogelijke omgevingen wat betreft de corrosieklasse. Hij kan gebruikt worden om de corrosieklasse van de toepassing te schatten. Om de norm strikt na te leven, moet men er echter rekening mee houden dat de corrosieklasse bepaald moet worden door de corrosiesnelheid of de voornaamste omgevingsparameters te meten.

De corrosiesnelheid van staal, zink, aluminium en koper wat betreft de corrosiviteitsklassen staat vermeld in de norm ISO 9223.

### 4.3. Beoordeling van de corrosiviteit van roestvrij stalen producten

Strikt genomen zijn de corrosiviteitscategorieën (C-klassen) volgens de norm ISO 9223 enkel van toepassing op zink, koolstofstaal, aluminium en koper. Omdat roestvrij staal een ander corrosiemechanisme heeft, moet een ander classificatiesysteem gehanteerd worden dan voor zink. Roestvrij staal is meestal stabiel tegenover vocht en water wanneer er geen corrosieve verontreiniging aanwezig is. Men moet echter rekening houden met de mogelijke aantasting van de passieve laag door stoffen zoals chloriden, wat het gebruik van bepaalde soorten roestvrij staal beperkt.

In tegenstelling tot zink is de invloed van zuiver vocht zonder andere verontreinigende stoffen verwaarloosbaar voor de corrosie van roestvrij staal. Voor roestvrij staal moeten we eerder kijken naar het effect van chloriden en van de regen die de corrosieproducten en corrosieve stoffen wegspoelt. In vele toepassingen maakt het spoeeffect het mogelijk om zwakkere soorten roestvrij staal te gebruiken. Voor toepassingen zoals daken en gevels van gebouwen kan dit een optie zijn. In typische toepassingen waarbij bevestigings- en installatiemiddelen gebruikt worden, kunnen er evenwel zones zijn die beschut zijn tegen de regen.

Internationale (Eurocode 3, EN 1993-1-4 ontwerpversie) en nationale normen en richtlijnen (zoals de Duitse technische keuring DIBt Z.30.3-6) werken meestal met een speciaal scoresysteem om de geschiktheid van bepaalde soorten roestvrij staal te evalueren.

Dit systeem houdt rekening met de risico's van de belangrijkste invloedsfactoren, waaraan een corrosierisicofactor (CRF) is verbonden. Elke risicofactor (chlorides, zwaveldioxide, reinigingswerking) wordt voorgesteld door een aantal punten:

$$CRF = F1 + F2 + F3$$

Waar

- F1 = risico op blootstelling aan chloriden van zout water of dooizout. (in de categorie van +1 tot -15, hoofdzakelijk bepaald door de afstand tot de kust of tot een weg met dooizout)
- F2 = risico op blootstelling aan zwaveldioxide. (in de categorie van 0 tot -15, bepaald door de gemiddelde concentratie aan zwaveldioxide)
- F3 = reiniging of wassen door blootstelling aan regen. (in de categorie van +1 tot -7)

Het risico op blootstelling aan chloriden, bijvoorbeeld, wordt bepaald en geclassificeerd aan de hand van de afstand tot de zee of tot wegen waarop dooizout gebruikt wordt (zie tabel 4).

Tabel 4: Lijst van soorten roestvrij staal volgens de klasse van corrosiebestendigheid op basis van EN 1993-1-4:2006 (definitief ontwerp versie 2014)

<b>Klasse van corrosiebestendigheid CRC</b>				
<b>I</b> CRF = 1	<b>II</b> $0 \geq \text{CRF} > -7$	<b>III</b> $-7 \geq \text{CRF} > -15$	<b>IV</b> $-15 \geq \text{CRF} \geq -20$	<b>V</b> CRF < -20
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4462	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4539	1.4547
	1.4541	1.4571		1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4162		
	1.4482	1.4662		
		1.4362		
		1.4062		
		1.4578		

Hilti biedt bevestigings- en installatiesystemen vervaardigd met soorten zoals 1.4301, 1.4404 en de stabielste 1.4529 (zie tabel 6). Daarmee zijn alle belangrijke klassen voor corrosiebestendigheid gedekt.

Tabel 5: Voorbeelden van roestvrij staal in Hilti-producten

<b>Staalsoort</b>	<b>Klasse van corrosiebestendigheid</b>	<b>Producten</b>
1.4301 (A2, 304)	II	Schroeven, ankerbouten, installatieproducten
1.4401 (A4, 316)	III	Schroeven, ankerbouten, installatieproducten bevestigingsmiddelen aangebracht met kruit- of gasaangedreven werktuigen
1.4404 (A4, 316L)	III	Schroeven, ankerbouten, installatiekanalen, bevestigingsmiddelen aangebracht met kruit- of gasaangedreven werktuigen
1.4571 (A5, 316Ti)	III	Installatieproducten
1.4362 (duplex, 2304)	III	Bevestigingsmiddelen aangebracht met kruit- of gasaangedreven werktuigen
1.4462 (duplex, 2205)	IV	Bevestigingsmiddelen aangebracht met kruit- of gasaangedreven werktuigen
1.4529 (HCR)	V	Ankerbouten

Voor meer details over de soorten roestvrij staal van onze producten, zie onze catalogus of [www.hilti.be](http://www.hilti.be).



## 5. Een gepast bevestigingsmiddel of installatiesysteem kiezen

### Informatie over de selectietabellen

Hilti biedt bevestigingsmiddelen en installatiesystemen in een brede waaier van gepaste, kostenefficiënte materialen. Toch kunnen de verschillen in corrosiegedrag, de complexiteit van de corrosiefactoren en de talrijke nationale en internationale normen en richtlijnen op het vlak van corrosie een ingewikkeld kluwen vormen. Het juiste materiaal kiezen voor een bepaalde toepassing kan dan ook een ware uitdaging zijn.

Om een eerste overzicht te geven van de prestaties van de verschillende producten, vermelden onze tabellen de geschiktheid en indien van toepassing ook de levensduur van de producten in bepaalde typische omgevingen.

Onder 'Important notes' (belangrijke opmerkingen) vindt u informatie waar u altijd rekening mee moet houden wanneer u de tabellen gebruikt:

### Belangrijke nota

De beslissing van de beste corrosiebescherming wordt door de klant zelf gemaakt. Hilti aanvaardt in geen geval de verantwoordelijkheid van de keuze van een anker in een bepaalde omgeving, zelfs niet wanneer deze keuze gebaseerd is op informatie van Hilti.

De tabellen geven de gemiddelde levensduur weer voor een typische toepassing. Voor metallische coatings, bijvoorbeeld een laag uit zink, wordt het einde van de levensduur bepaald door de zichtbaarheid van rode roestvorming over een groot oppervlak van de bevestiging, wat eventueel kan leiden tot falen van het anker. De eerste roestvorming treedt eerder op. Nationale of internationale normen, eisen, voorschriften, ... dienen in acht genomen te worden en hebben voorrang op het advies van Hilti.









Deze richtlijnen zijn enkel van toepassing op atmosferische corrosie. Andere vormen van corrosie dienen apart geëvalueerd te worden.

De tabellen gepubliceerd in deze brochure geven enkel aanbevelingen voor algemeen aanvaarde toepassingen in typische atmosferische omstandigheden. Het al dan niet geschikt zijn van een toepassing hangt af van verschillende lokale omstandigheden zoals o.a. :

- Hoge temperaturen en vochtigheidsgraad
- Hoge gehalten luchtvervuiling
- Direct contact met corrosieve stoffen zoals aanwezig kunnen zijn in chemisch behandeld hout, afvalwater, betonadditieven, reinigingsmiddelen, enz.
- Direct contact met grond, stilstaand water
- Direct contact met vers/jong beton (minder dan 28 dagen oud)
- Elektrische stroom
- Contact met verschillend metaal
- Gesloten ruimtes, bijv. scheuren
- Fysieke schade of slijtage
- Extreme corrosie door gecombineerd effect van verschillende invloedsfactoren
- Verrijking van verontreinigde stoffen op het product

In tabel 6 worden de omgevingsomstandigheden van de tabellen gedetailleerder beschreven. De onderliggende predominante corrosiviteitscategorieën en de klassen voor corrosiebestendigheid staan ook vermeld

Tabel 6: Omgevingsomstandigheden en hun verband met de corrosiviteitscategorieën en klassen voor corrosiebestendigheid

	Categorieën volgens ISO 9223:2012	Roestvrij staal klasse
<b>Binnentoepassingen</b>		
 <b>Droge binnentoepassingen</b> (verwarmd of met airconditioning zones) zonder condensatie, bijvoorbeeld kantoren, scholen	C1, C2	1
 <b>Binnentoepassingen met tijdelijke condensatie</b> (onverwarmde gebieden met verontreinigende stoffen), bijvoorbeeld warenhuizen	C1, C2	1
<b>Buitentoepassingen</b>		
 <b>Buiten, landelijke of stedelijke omgeving met lage vervuiling</b> Afstand tot de zee > 10 km	C2, C3	2
 <b>Buiten, landelijke of stedelijke omgeving met gematigde vervuiling</b> en/of vervuilde atmosfeer Afstand tot de zee tussen 1 km en 10 km	C2, C3, C4	2, 3
 <b>Kustgebieden</b> Afstand tot de zee < 1 km	C3, C4, C5, CX	3, 4
 <b>Buiten, gebieden met een hoog risico op industriële vervuiling</b> - Atmosferische concentratie van gemiddeld SO <sub>2</sub> > 10 µg/m <sup>3</sup> per jaar (bijv. vervuilende fabriek)	C4, C5, CX	3, 4
 <b>Dicht bij een (snel)weg behandeld</b> tmet zout tijdens de winter, Afstand tot de weg < 10 m	C3, C4, C5	3, 4
<b>Speciale toepassingen</b>		
 <b>Speciale toepassingen</b> Gebieden met extreme corrosieve omstandigheden, bijv. wegtunnel waar zout is gestrooid, binnenzwembaden, chemische industrie (er zijn uitzonderingen mogelijk).	Speciale klimaten niet gedekt door klasse C	4, 5



## Selectietabellen voor bevestigingsmiddelen, houtnagels en installatiesystemen

Bevestigingsmiddelen zoals ankerbouten, spijkers en schroeven worden vaak gebruikt voor veiligheidsrelevante eenpuntsbevestigingen. Vaak zijn de bevestigingsmiddelen na de installatie slecht of niet zichtbaar en kunnen ze niet hersteld of vervangen worden. Bovendien is er de complexe interactie met de toegepaste belastingen, het bevestigde onderdeel en de wrijving in het boorgat (in het geval van expansieankers). Daarom is een voorzichtige aanpak noodzakelijk om het risico op corrosie van het bevestigingsmateriaal te vermijden. Met verzinkte bevestigingsmiddelen valt het einde van de levensduur van het middel samen met het einde van de kathodische bescherming van het onderliggende staal. De selectietabel voor bevestigingsmiddelen geeft daarom geen levensduur op, maar een algemene positieve of negatieve aanbeveling.

Bevestigingsmiddelen maken vaak deel uit van een bouwstructuur, waardoor de levensduur van het bevestigingsmiddel gelijk moet zijn aan de voorziene levensduur van het gebouw.

Secundaire structuren, zoals ondersteuning van installaties, moeten vaak niet de volledige levensduur van de primaire structuur meegaan, omdat technische voorzieningen in een gebouw vaker vervangen en gewijzigd worden.

Verder is het in vele toepassingen met installatiekanalen mogelijk om onderdelen te herstellen of om hun levensduur te verlengen, bv. door zinkspray aan te brengen.

Met de juiste beoordeling van de corrosiviteit van de omgeving en de geplande levensduur, evenals regelmatige inspecties en herstellingen, kunnen koolstofstalen producten in alle veiligheid en economisch gebruikt worden voor toepassingen in uiteenlopende omgevingen.

In het geval van verzinkte installatiesystemen en houtnagels veroorzaakt de corrosie van het stalen substraat geen onmiddellijke problemen wat betreft de mechanische integriteit. Wanneer het oppervlak voor 5% bedekt is met rode roest, is het einde van de beschermingsperiode van de zinkcoating bereikt. Aan de hand van die maatstaf is het mogelijk om een verwachte levensduur te geven voor een bepaalde omgeving.

### Europese technische goedkeuring – metalen ankerbouten voor gebruik in beton

Voor ankerbouten vereist de huidige Europese technische goedkeuring (ETA) het gebruik van roestvrij staal in de klasse III van corrosiebestendigheid ('A4-klasse') voor algemene toepassingen in openlucht. Speciale toepassingen zoals wegtunnels en overdekte zwembaden vereisen een nog hogere klasse (IV of V). Dit is uiteraard bedoeld om de gebruiker een veilige, voorzichtige en praktische richtlijn te verstrekken voor de selectie van een gepast materiaal voor buitentoeepassingen. Een gedetailleerde beoordeling van de omgeving en de toepassing is niet noodzakelijk wanneer de ETA strikt nageleefd wordt. Zo hoeft de gebruiker de invloed van chloriden op het bouwterrein niet te evalueren aan de hand van de afstand tot de zee of het gebruik van dooizout.

Wanneer de chloriden verwaarloosbaar zijn, kan men echter verder gaan dan de ETA-specificaties. Technisch gezien zijn thermisch verzinkte of roestvrij stalen ankerbouten in de CRC II-klasse ('A2-klasse') geschikt voor buitenomgevingen met een bepaalde levensduur en voor bepaalde toepassingen. Dit blijkt uit een langdurige ervaring met deze materialen. Dit vereist evenwel een specifieke beoordeling en een grondige kennis van de toepassing en de omgeving (zie onderstaande tabellen).

## 5.1. De juiste corrosiebescherming kiezen voor ankerbouten, kruitaangedreven bevestigingsmiddelen en schroeven

Opdat een bevestiging geschikt en betrouwbaar is en blijft tijdens de vooropgestelde levensduur, dienen alle invloedsfactoren gekend te zijn

De volgende tabel is een richtlijn voor de meest voorkomende toepassingen van een bevestiging. De geschikte corrosiebescherming voor ieder bevestigingsmateriaal is weergegeven, in functie van de atmosferische omgeving.

### Ankers, Schietnagels en schroeven

Type bevestiging	Ankers	HSA, HUS3, HST, HIT-V, HRD	HUS3-HF	HSA-F, HIT-V-F	HSA-R2, HRD-R2	HUS-HR, HSA-R, HST-R, HIT-V-R, HIT-Z-R, HRD-R	HST-HCR
<b>Schroeven</b>	S-DS01, S-DD01	S-MD Z, S-MP Z	S-CD C, S-IT C		S-MD S, S-CD S	S-MD SS, S-CD SS	
<b>Schietnagels</b>		X-ENP <sup>1)</sup> , X-U, X-GHP, X-GN	X-FCM-M, X-GR			X-BT, X-BT-ER, X-CR, X-FCM-R	Op aanvraag
<b>Materiaal/ bescherming</b>	Staal zonder bescherming tegen corrosie	Koud galvanisatie / electrolytisch verzinkt	Staal, duplex coating	Warm galvanisatie/ sherardized 45-50 µm	A2 AISI 304	A4 AISI 316	HCR, voorbeeld 1.4529

Type omgeving	Te bevestigen materiaal	HSA, HUS3, HST, HIT-V, HRD	HUS3-HF	HSA-F, HIT-V-F	HSA-R2, HRD-R2	HUS-HR, HSA-R, HST-R, HIT-V-R, HIT-Z-R, HRD-R	HST-HCR
Droge binnenomgeving	Metaal (gegalvaniseerd, geschilderd), aluminium, roestvrij staal	■	■	■	■	■	■
Binnenomgeving met vorming van condensatie	Metaal (gegalvaniseerd, geschilderd), aluminium Roestvrij staal	-	-	■	■	■	■
Buitenomgeving, platteland of stad met weinig of geen pollutie	Metaal (gegalvaniseerd, geschilderd), aluminium Roestvrij staal	-	-	□ <sup>2)</sup>	□ <sup>2)</sup>	■ <sup>2)</sup>	■
Buitenomgeving, platteland of stad met gemiddelde pollutie	Metaal (gegalvaniseerd, geschilderd), aluminium Roestvrij staal	-	-	□ <sup>2)</sup>	□ <sup>2)</sup>	■ <sup>2)</sup>	■
Kustgebied	Metaal (gegalvaniseerd, geschilderd), aluminium, roestvrij staal	-	-	-	-	■	■
Industriegebied en buitenomgeving met hoge concentratie van pollutie	Metaal (gegalvaniseerd, geschilderd), aluminium, roestvrij staal	-	-	-	-	■	■
Nabije omgeving van autosnelwegen	Metaal (gegalvaniseerd, geschilderd), aluminium, roestvrij staal	-	-	-	-	■	■
Extreem agressieve atmosfeer		<b>Raadpleeg een expert</b>					■

■ = De verwachte levensduur volgens de Europese Technische Richtlijnen is 50 jaar voor een ankers in beton, 25 jaar voor een geschoten nagels en voor staalschroeven, en 10 jaar voor isolatieschroeven.

□ = In deze atmosferische omstandigheden dient een vermindering van de verwachte levensduur van de bevestiging in rekening gebracht te worden. Indien nodig dient een studie gemaakt te worden.

- = Bevestigingen uit dit materiaal zijn niet geschikt voor de volgende klimaatklassen. Voor uitzonderingen dient een studie gemaakt te worden.

<sup>1)</sup> Tijdens de montage van wand- en dakplaten, is voor de electrolytisch gegalvaniseerde X-ENP nagel een blootstellingsperiode aan de buitenomgeving van maximaal 6 maanden toegestaan.









<sup>2)</sup> In tegenstelling tot de ETA keuringen van ankers, zijn ankers met HDG, duplex coating of A2/204 corrosiebescherming in bepaalde toepassingen toelaatbaar voor gebruik in een buitenomgeving, mits rekening te houden met de verwachte levensduur en de randvoorwaarden. Op basis van jarenlange ervaring, en op basis van de geldende normen, zoals ISO 9224:2012 voor HDG corrosiebescherming, en zoals DIBt Z.30.3-6 (April 2014) voor RVS, is het gebruik van dergelijke ankers in een buitentoepassing wel mogelijk. De ETA keuring gaat uit van een verwachte levensduur van de structuur van 50 jaar, en adviseert daarom enkel gebruik van HDG en A2 ankers in een binnenomgeving en niet in een buitenomgeving.

Hilti anchor channel (HAC) is beschikbaar in HDG conform ISO 1460:2009-10. Bouten van het type HBC zijn beschikbaar in electrolytisch verzinkt, HDG of roestvrij staal A4. Conform ETA-11/0006, mag in een binnenomgeving het HAC ankerrail in combinatie met ieder type HBC bout gebruikt worden. Wanneer HBC bouten uit HDG worden toegepast, dan mag het HAC ankerrail systeem ook gebruikt worden in een binnenklimaat met tijdelijke condensatie.

## 5.2. De juiste corrosiebescherming kiezen voor houten spijkers

Hout kan corrosief zijn ten gevolge van aanwezigheid van organische zuren. Bij de keuze van de juiste nagels, moet de corrosiviteit van het hout bovenop de atmosferische corrosie in rekening gebracht worden.

De volgende tabel is een richtlijn voor de juiste keuze van de nagel in functie van de toepassing en van de atmosferische condities.

Nagels voor hout Hilti GX-WF	Milieuklasse volgens EN 1995-1-1 (Eurocode 5)	Klimaat- klasse 1	Klimaat- klasse 2	Klimaatklasse 3		
	Materiaal / bescherming	Staal zonder bescherm- ing tegen corrosie	Koud gal- vanisatie / electro- lytisch verzinkt	Warm galvanisatie 45-50 µm	A2 <sup>1)</sup> AISI 304	A4 AISI 316
Type omgeving	Verwachte levensduur (jaren)					
 Droge binnenomgeving	20 tot 50	tot 50	tot 100	■	■	
 Binnenomgeving met vorming van condensatie	-	10 tot 50	60 tot 100	■	■	
 Buitenomgeving, platteland of stad met weinig of geen pollutie	-	5 tot 20	40 tot 100	■	■	
 Buitenomgeving, platteland of stad met gemiddelde pollutie	-	2 tot 10	20 tot 40	■	■	
 Kustgebied	-	minder dan 5	10 tot 30	-	■	
 Industriegebied en buitenomgeving met hoge concentratie van pollutie	-	minder dan 5	10 tot 30	-	■	
 Nabije omgeving van autosnelwegen	-	-	-	-	■	
 Extreem agressieve atmosfeer	<b>Raadpleeg een expert</b>					

De bovenstaande tabel geeft de typische levensduur op basis van corrosie-overwegingen. Andere belangrijke factoren voor de levensduur van bevestigingen moeten apart worden geëvalueerd.

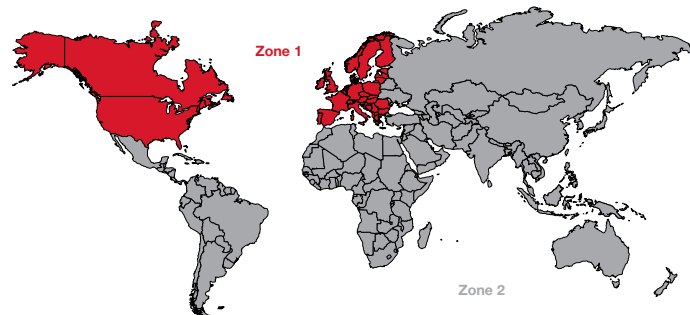
- = de verwachte levensduur van een nagel uit dit materiaal is algemeen genomen voldoende in dit type omgeving rekening houdend met de typisch verwachte levensduur van het gebouw.
- = nagels gemaakt uit dit materiaal zijn niet geschikt in deze omgeving of de typische levensduur van een gebouw wordt niet bereikt.

<sup>1)</sup> Voor nagels vervaardigd uit RVS A2, kan er verkleuring optreden van de nagelkop, nog voor de verwachte levensduur is bereikt. Om dit te vermijden, gebruik RVS A4

Bepaalde houtsoorten zoals eik, canadese spar, rode ceder, en dergelijke vereisen nagels uit RVS, ongeacht de klimaatklasse;  
Het gebruik van chemische stoffen voor het behandelen van hout, of bepaalde soort (brandwerende) verven, kan de samenstelling van het hout zodanig wijzigen dat nagels uit RVS vereist zijn, ongeacht de klimaatklasse.










### 5.3. Het juiste installatiesysteem kiezen

De typische levensduur van de coating hangt af van de corrosiviteit van de atmosfeer, die verschilt van plaats tot plaats. Voor praktische redenen, onderscheidt Hilti twee wereldzones.



Zone 1 is het deel van de wereld waar gegevens van de luchtkwaliteit de afwezigheid van sterk vervuild en tropisch klimaat aantonen. Dit is benaderend Europa en Noord-Amerika. Zone 2 is het deel van de wereld buiten zone 1, waar ofwel gegevens van de luchtkwaliteit ontbreekt, ofwel de gegevens aantonen dat er sprake is van sterke vervuiling en/of een tropisch klimaat.

De typische verwachte levensduur van de Hilti installatiesystemen wordt weergegeven in onderstaande tabel.

<b>Installatie-systemen</b> 	Railsystemen	Systeem MM, MQ, MC	Systeem MQ -F	Systeem MI	Systeem MQ A2/AISI 304	Systeem MQ A4/AISI 316
	Type beugels	Beugels voor binnengebruik <sup>1</sup>	Beugels in warmverzinkt staal <sup>2</sup>	MI-UB, MI-PS	Beugels in roestvrij staal <sup>3</sup>	
Type omgeving	Verwachte levensduur voor Zone 1 en Zone 2 (jaren)					
 Droge binnenomgeving	70 tot 100 70 tot 100	tot 100 tot 100	tot 100 tot 100	■	■	■
 Binnenomgeving met vorming van condensatie	25 tot 70 25 tot 70	40 tot 100 40 tot 100	60 tot 100 60 à 100	■	■	■
 Buitenomgeving, platteland of stad met weinig of geen pollutie	4 tot 10 2 tot 10	25 tot 50 15 tot 60	40 tot 100 25 tot 100	■	■	■
 Buitenomgeving, platteland of stad met gemiddelde pollutie	-	20 tot 40 10 tot 40	25 tot 50 20 tot 50	■	■	■
 Kustgebied	-	10 tot 20 7 tot 20	15 tot 40 10 tot 40	-	■	■
 Industriegebied en buitenomgeving met hoge concentratie van pollutie	-	10 tot 20 5 tot 20	15 tot 40 10 tot 40	-	■	■
 Nabije omgeving van autosnelwegen	-	-	-	-	■	■
 Extreem agressieve atmosfeer	<b>Raadpleeg een expert</b>					

■ = De verwachte levensduur van rails/ beugels uit dit materiaal is algemeen genomen voldoende in dit type omgeving rekening houdend met de typisch verwachte levensduur van het gebouw

<sup>1</sup>) Beugels voor binnengebruik: MP-LHI, MP-HI, MPN, MP-MIS, MP-MI, MP-M, MP-MXI, MP-MX, MP-SP

<sup>2</sup>) Beugels in warmverzinkt staal: MP-MI-F, MP-M-F, MP-MXI-F, MP-MX-F

<sup>3</sup>) Beugels in roestvrij staal: MP-SRN, MP-SRNI, MP-MR, MP-MRI, MP-MRXI



## 6. Referenties

### Bronnen op internet

Algemene corrosie

<http://corrosion-doctors.org/>

Zinkcoatings

<http://www.feuerverzinken.com/>

<http://www.galvanizeit.org/>

<http://www.nordicgalvanizers.com/>

Roestvrij staal

<http://www.edelstahl-rostfrei.de/>

<http://www.bssa.org.uk/>

<http://www.worldstainless.org/>

<http://www.euro-inox.org/> (informatie in meerdere talen)

### Normen

EN ISO 8044:1999-08

EN ISO 9223:2012-02

EN ISO 9224:2012-02

EN ISO 9227:2012-05

EN ISO 16701:2008-04

ISO 20340:2009-04

EN ISO 6270-1:2001-08

EN ISO 6988:1994-10

EN ISO 3506-1:2009

### Boeken

G. Kreysa M. Schütze, "Corrosion Handbook Volume 6: Atmosphere, Industrial Waste Gases", Wiley VCH, 2004

P. R. Roberge, "Handbook of Corrosion Engineering", McGrawHill, 2012

H. Kaesche, "Corrosion of Metals: Physicochemical Principles and Current Problems", Springer, 2003

X.G. Zhang, "Corrosion and Electrochemistry of Zinc", Springer, 1996

U. Nürnberger, "Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen", Bauverlag, 1995

## 7. Afwijzing van aansprakelijkheid

Alle resultaten, overwegingen en aanbevelingen in deze brochure zijn gebaseerd op de testen, beginselen en formules die in deze brochure beschreven worden en op de veiligheidsvereisten in overeenstemming met de technische instructies van Hilti. Zij gelden enkel voor toepassingen die te vergelijken zijn met de beschreven testopstelling. Dit geldt in het bijzonder voor de case study's over materiaalselectie. De resultaten mogen niet geëxtrapoleerd worden naar andere omgevingen. De case study's, de overwegingen en aanbevelingen en in het bijzonder de grenswaarden voor specifieke toepassingen mogen enkel beschouwd worden als globale richtlijnen. Binnen de omgevingsparameters van een specifieke structuur kan zich ook een aanzienlijke verstrooiing van de waarden voordoen. De planningspecialist of de klant moeten de toepasselijke structuur zelf beoordelen, en dan vooral wat betreft de omgevingsparameters. Omdat de hier beschreven corrosieprocessen zich op lange termijn voordoen, wordt nadrukkelijk aanbevolen om regelmatig stalen van de structuur te nemen en door specialisten te laten analyseren wanneer gekozen wordt voor een materiaal dat naar verwachting geen stabiliteit op lange termijn biedt. Dit verslag moet als één geheel beschouwd worden en mag enkel in zijn geheel worden gekopieerd of aan anderen worden doorgegeven. Hilti is geenszins aansprakelijk voor schade of verwondingen wanneer slechts delen van dit verslag gebruikt worden. Hilti is geenszins aansprakelijk voor schade of verwondingen ten gevolge van de schatting van de veiligheidsrelevantie van een bevestigingsmiddel en de daaruit voortvloeiende materiaalselectie. Hilti is evenmin aansprakelijk voor schade of verwondingen ten gevolge van de beoordeling van de omgevingsomstandigheden die van toepassing zijn op een structuur. Enkel de planningspecialist of de klant zijn verantwoordelijk voor die beoordelingen. De overwegingen in deze brochure geven slechts enkele relevante aspecten van de bevestigingstechnologie. Verder willen wij duidelijk stellen dat niet alleen de selectie van het geschikte bevestigingsmateriaal bijzondere aandacht verdient, maar dat ook rekening moet gehouden worden met andere relevante punten, zoals de juridische en operationele aspecten.

**Hilti. Outlast. Outperform.**

Hilti Belgium nv | Z.4 Broekooi 220 | 1730 Asse | T 0800 995 95 (NL) 0800 972 72 (FR) | E [info.be@hilti.com](mailto:info.be@hilti.com) | [www.hilti.be](http://www.hilti.be)