

Kosten van corrosie beperken: voorkomen is beter dan genezen

i VUB-SURF ism redacteur
Walter Oude Groothuis
SMARTtekst/Tekst Vast
Beilen

Schade door corrosie vertegenwoordigt 3 tot 6% van het Bruto Nationaal Product (BNP), voor Nederland al gauw zo'n € 40 miljard(!). Ook in België zal dat in de tientallen miljarden lopen. Professor Herman Terryn doet met zijn team onderzoek naar corrosie. Dé oplossing heeft hij nog niet gevonden. Tips en tools heeft hij wel.

Wie op zoek gaat naar corrosieverschijnselen hoeft nooit ver te zoeken: roest aan fiets, auto of boot ligt altijd op de loer. Corrosie beperkt zich echter niet alleen tot 'consumptiegoederen', ook procesinstallaties, transportmiddelen – treinen, schepen, vliegtuigen –, bouwwerken (betonrot) en installaties leiden eronder. Chemische (droge) corrosie is het gevolg van de chemische inwerking van bepaalde elementen of verbindingen. Elektrochemische (natte) corrosie komt veel vaker voor, en is doorgaans het gevolg van de gelijktijdige inwerking van water en omgeving, bijvoorbeeld door de zuurstof die opgelost zit in water. In de praktijk is er vaak sprake van een combinatie van beide, waarbij (elektro)chemische reacties al dan niet in combinatie met mechanische effecten leiden tot een versnelde aantasting. Ingewikkelder wordt het als moet worden verklaard waarom dit gebeurt, en wanneer en waar. Het onderzoek daarnaar is het werkterrein van Prof. Dr. ir. Herman Terryn.

CHEMISCH

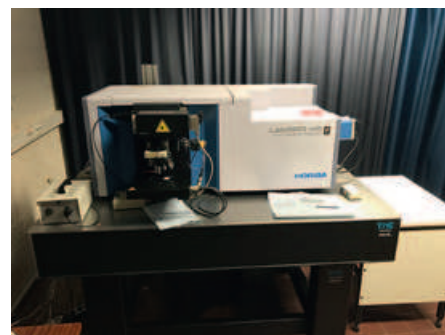
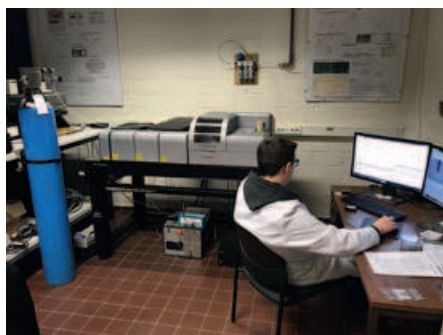
Corrosie is aantasting van een materiaal ten gevolge van (elektro)chemische reacties met componenten uit de omgeving. Chemisch gezien is dat proces niet zo ingewikkeld: het metaal (ijzer, Fe) keert



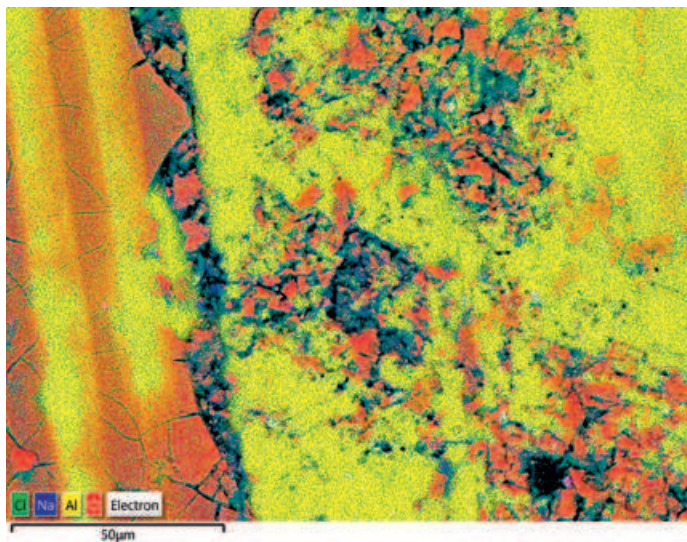
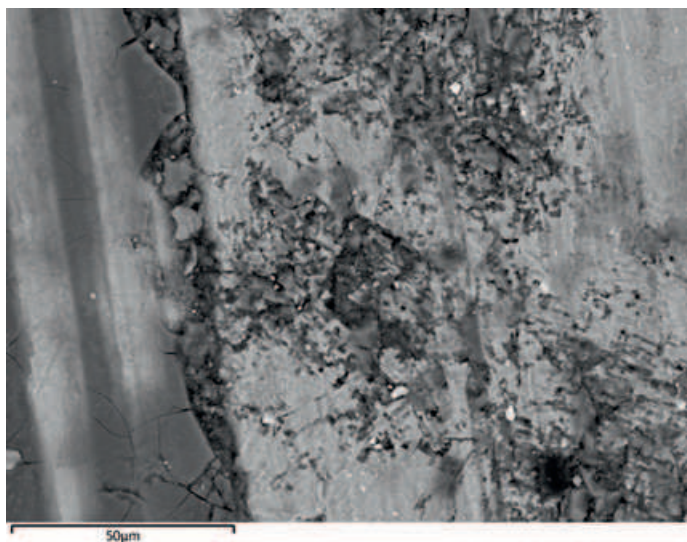
I van de medewerkers in het labo van Herman Terryn, aan de onderzoeksunit voor roestvrij staal

terug naar zijn energetisch gezien meest stabiele vorm (Fe^{2+}), en verliest daardoor zijn structurele eigenschappen, met alle gevolgen van dien. Terryn vult aan: "Bij corrosie is hetgeen zich op het metaaloppervlak vormt, bepalend voor het corrosieproces dat volgt. Neem een bronzen beeld in een park. Loop je daaromheen, dan zie je afhankelijk van de 'inslagrichting' van de regen verschillende kleuren die in de loop van tijd veranderen. Dat zijn allemaal oxiden of zouten die een zekere mate van bescherming bieden aan het bronzen oppervlak. Door die lokale effecten ontstaat er in hetzelfde park op hetzelfde bronzen beeld een palet aan kleurnuances die allemaal een eigen reactie representeren."

Het corrosieproces is dan misschien chemisch gezien niet zo complex, fysisch gezien ligt dat anders, weet Terryn als geen ander. "Voor corrosie is altijd een potentiaalverschil nodig, met andere woorden, er moet een stroom kunnen lopen. Die stroom kan ontstaan door de eigenschappen van de metalen, maar kan bijvoorbeeld ook het gevolg zijn van een verschil in zuurstofconcentratie in de aanwezige oplossing. Corrosiebestrijding is niet meer of minder dan ervoor zorgen dat er geen sprake is van een potentiaalverschil, dat er geen sprake is van elektrisch contact en/of voorkomen dat er een elektrolyt aanwezig is. Ingewikkeld wordt het pas als je erachter wil komen wáár het potentiaalverschil



Enkele van de analysetoestellen in het laboratorium van Herman Terryn



Twee verschillende beelden van een legering met corrosie

zich bevindt, hoe het ontstaat, hoe de stroom precies loopt, of er nog elektrolyt aanwezig is, of er water onder de coating zit enzovoort.” Met dat onderzoek houden Terryn en zijn team zich bezig aan de Vrije Universiteit Brussel (VUB) en de TU Delft.

VORMEN VAN CORROSIË

Gevraagd naar de belangrijkste corrosieprocessen in de ‘natte’ procesindustrie gaat Terryn er eens goed voor zitten. Wat volgt is een bevlogen monoloog: “Allereerst is daar natuurlijk de algemene of uniforme corrosie. In dat geval zijn de anode en kathode verdeeld over het gehele oppervlak. Omdat er over een oppervlak altijd lokaal potentiaalverschillen aanwezig zijn, omstaat er over het gehele oppervlak een roestlaag op bijvoorbeeld staal; de dikte van de staalplaat neemt daarbij geleidelijk af.”

“Wordt een metalen oppervlak in een vloeistof geplaatst, bijvoorbeeld water, dan ontstaat er corrosie op een specifieke plaats. Dit heeft te maken met de opgeloste zuurstofconcentratie als functie van de diepte. Onder invloed van het verschil in zuurstofconcentratie ontstaat een potentiaalverschil, waardoor anode en kathode een specifieke plaats krijgen. Een soortgelijk proces, en dus roestvorming, vindt plaats in een spleet of opening waarin water is blijven staan (*spleetcorrosie*).”

GALVANISCH

“Galvanische corrosie kan ontstaan wanneer twee verschillende metalen met elkaar verbonden zijn (legering) en in elektrische zin

‘contact leggen’. Doordat elk metaal afzonderlijk dan een potentiaalverschil bezit ten opzichte van de oplossing waarin het zich bevindt, gaat er een stroom lopen en corrodeert het minst edele metaal conform de spanningsreeks der metalen. Dit proces heet *microgalvanisatie*.”

Bij microgalvanisatie vormen legeringselementen vaak vreemde fasen (precipitaten). Dit geeft in de metaalmatrix lokaal potentiaalverschillen met (mogelijk) *intergranulaire corrosie* als gevolg, wanneer dit zich bijvoorbeeld manifesteert langs de korrelgrenzen van het metaal. Aan die grenzen ontstaan andere potentiaalverschillen, en daardoor baant de corrosie zich een weg dieper het metaal in. Het gevolg is *structurele corrosie*, een met name ook in de vliegtuigbouw zeer gevreesde vorm, die de structurele integriteit van het metaal aantast, terwijl dit aan het metaaloppervlak niet altijd goed waarneembaar is.”

PUT- EN SPANNINGSCORROSIË

“*Putcorrosie* treedt op bij metalen die wat je noemt een beschermend karakter hebben ten aanzien van hun omgeving. Op staal bij een hoge alkaliniteit of aluminium in het pH-gebied tussen 3 en 8 vormt zich een oxidehuid die een bescherm laag vormt tegen verdere oxidatie. Sommige ‘vreemde’ ionen, bijvoorbeeld chloride-ionen, kunnen deze bescherming lokaal aantasten; het metaal wordt als het ware geperforeerd en er ontstaan ‘putjes’. Een dergelijke lokale corrosie is vele malen ernstiger dan een algemene of uniforme corrosie en ook veel moeilijker te beheersen. *Spanningscor-*

rosie, een scheurvormende corrosie, is een buitengewoon ingewikkeld fenomeen, omdat er daarbij sprake is van een wisselwerking tussen metaal dat mechanisch wordt belast en de inwerking van corrosie. Het mechanisch gedrag en de eigenschappen van het betreffende metaal zijn bekend als het gaat om cyclische belasting en metaalmoeheid, het corrosiemechanisme is bekend, maar de wisselwerking tussen beide is eufemistisch gezegd nogal onvoorspelbaar en moeilijk beheersbaar”, besluit Terryn zijn uiteenzetting.

PREVENTIEVE MAATREGELEN

“Door passende maatregelen kan jaarlijks 30% van de door corrosie veroorzaakte kosten worden terugverdiend of nog beter, voorkomen worden, terwijl oppervlaktebehandelingen slechts 5-7% van de totale installatiekosten uitmaken”, poneert Terryn.

Een bekend adagium uit de geneeskunde is dat voorkomen beter is dan genezen. Zo wordt verbranding van de huid voorkomen door die te bedekken met een UV-werende zonnebrandcrème. Bij corrosiebestrijding gebeurt iets soortgelijks, maar de bescherm laag heet dan deklaag. Er zijn tijdelijke deklagen – vetten, conserveeroliën, waxen – en permanente deklagen – hoogwaardige coatings zoals epoxy, polyurethaan, chloorrubber en vinyl. Een derde vorm bestaat uit het elektrochemisch of kathodisch aanbrengen van een bescherm laag, bijvoorbeeld galvaniseren. In dat geval wordt een onedeler metaal (bijvoorbeeld chroom, zink of nikkel) verbonden

den met het te beschermen metaal en als een pion in een schaakspel 'geofferd' aan de corrosie.

ONTWERPFASE

Corrosiebestrijding begint al in de ontwerpfase. Daar is een nauwe samenwerking tussen ontwerper, bouwer, gebruiker en corrosiedeskundige onontbeerlijk. De aandacht gaat dan vooral naar het vermijden van plaatselijke aantasting. Hoe complexer de constructie, hoe meer expertise er nodig is. Algemeen geldt dat in een procesinstallatie plaatselijke spanningsconcentraties en wisselende belastingen moeten worden vermeden. Enkele belangrijke algemene ontwerperegels daarbij zijn:

- Gelaste verbindingen, mits goed gelegd, hebben de voorkeur boven geklonken of geschroefde verbindingen (spleetcorrosie);
- Tanks, leidingsystemen en dergelijke moeten zo worden geconstrueerd dat ze eenvoudig te legen en reinigen te zijn;
- De constructie moet toegankelijk zijn voor onderhoud en inspectie, zodat dit eenvoudig, doeltreffend en (dus) goedkoop kan worden uitgevoerd;
- Onderdelen die gevoelig zijn voor corrosie – pompen, uitstroomstukken e.d. – moeten gemakkelijk te verwisselen zijn;
- Hoge mechanische spanningen en scherpe bochten en vernauwingen in het leidingsysteem moeten vermeden worden;
- Contact met agressieve stoffen moet waar mogelijk voorkomen worden.

Bij het fenomeen van de gelaste verbindingen wil Terry n nog een kanttekening plaatsen: "Uitstulpingen, hoe gering ook, zijn de hechtplaats bij uitstek voor bacteriële films. Door veranderingen te veroorzaken in het omringende systeem, zoals de zuurstofconcentratie, zuurgraad, of de aanwezigheid van agressieve stoffen, zorgt zo'n biofilm voor *microbiologically induced corrosion*."

MIDDEL ERGER DAN KWAAL

Hoe nuttig coaten ook is, soms lijkt het middel erger dan de kwaal. Veel technieken zijn niet bepaald milieuvriendelijk. Zo is Chroom VI (Cr^{6+}), dat in de vliegtuigindustrie een cruciale rol speelt, sterk kankerwekkend (zie de film Erin Brockovich (2000) met Julia Roberts, en de schandalen bij Defensie en NedTrain in Neder-

land). Het voor september 2017 aangekondigde wettelijke verbod op Chroom VI in de EU is door een intensieve lobby van de vliegtuigindustrie inmiddels doorgeschoven naar 2026. Voor een aantal goed werkende vormen van corrosiebestrijding – solvent- gebaseerde coatings en cadmiumcoatings, het gebruik van chromaatpigment en chroom- conversielagen – wordt nu gezocht naar ecologisch verantwoorde alternatieven. Het speuren naar en onderzoeken van milieuvriendelijke alternatieven voor de huidige coatings is een van de specialiteiten van de Brusselse onderzoeksgroep SURF van Herman Terry n. Tot nu toe blijken die helaas minder werkzaam en doeltreffend.

SLUITPOST

De boodschap van Terry n aan de industrie is helder: "Besteed al bij het ontwerpen van metalen aandacht aan het corrosieaspect." Corrosie is, net als sterkte, vormgeving en levensduur, een eigenschap van het metaal, en moet dan ook zo benaderd worden. Terry n is daar heel duidelijk over: "Corrosie is – waarschijnlijk ook door het technologische karakter ervan – altijd een ondergeschoven kindje geweest. Niet zelden vormde het de 'sluitpost' in het ontwerp. Veel bedrijven maken ook niet graag kenbaar dat ze kampen met deze problematiek. Dat de kosten van corrosie zo hoog liggen, is omdat ook het stilleggen van de productie, het productverlies, het effectiviteitsverlies en de reputatieschade daarin verdisconteerd zijn. Met passende

maatregelen kan jaarlijks tot wel 30% van die kosten worden terugverdiend of nog beter, voorkomen worden. Ga maar na: oppervlaktebehandelingen maken slechts 5 tot 7% uit van de totale installatiekosten, maar sla je die stap over en gaat het mis, dan moet wel het hele systeem worden aangepast, met alle gevolgen en kosten van dien."

3D PRINTEN

De opkomst van 3D-metaalprinting is wat Terry n betreft in dat verband een punt van zorg, en hij wil de industrie daarvoor alvast waarschuwen: "Die ontwikkeling gaat gigantisch snel, maar bijna niemand heeft oog voor de corrosie die ook daar kan optreden. Men neemt maar aan dat geprint rvs, aluminium en titaan over dezelfde eigenschappen beschikken als hun klassiek geproduceerde evenknie. De fysische en chemische 'oppervlaktetoestand' verschilt echter sterk. Een achteraf uitgevoerde, versnelde corrosietest wijst dit doorgaans ook uit, maar dan is het al te laat. Een corrosie- of oppervlakte-expert moet in de ontwikkelingsfase worden geraadpleegd, niet achteraf als een soort dokter!"

VOORSPELLENDE MODELLEN

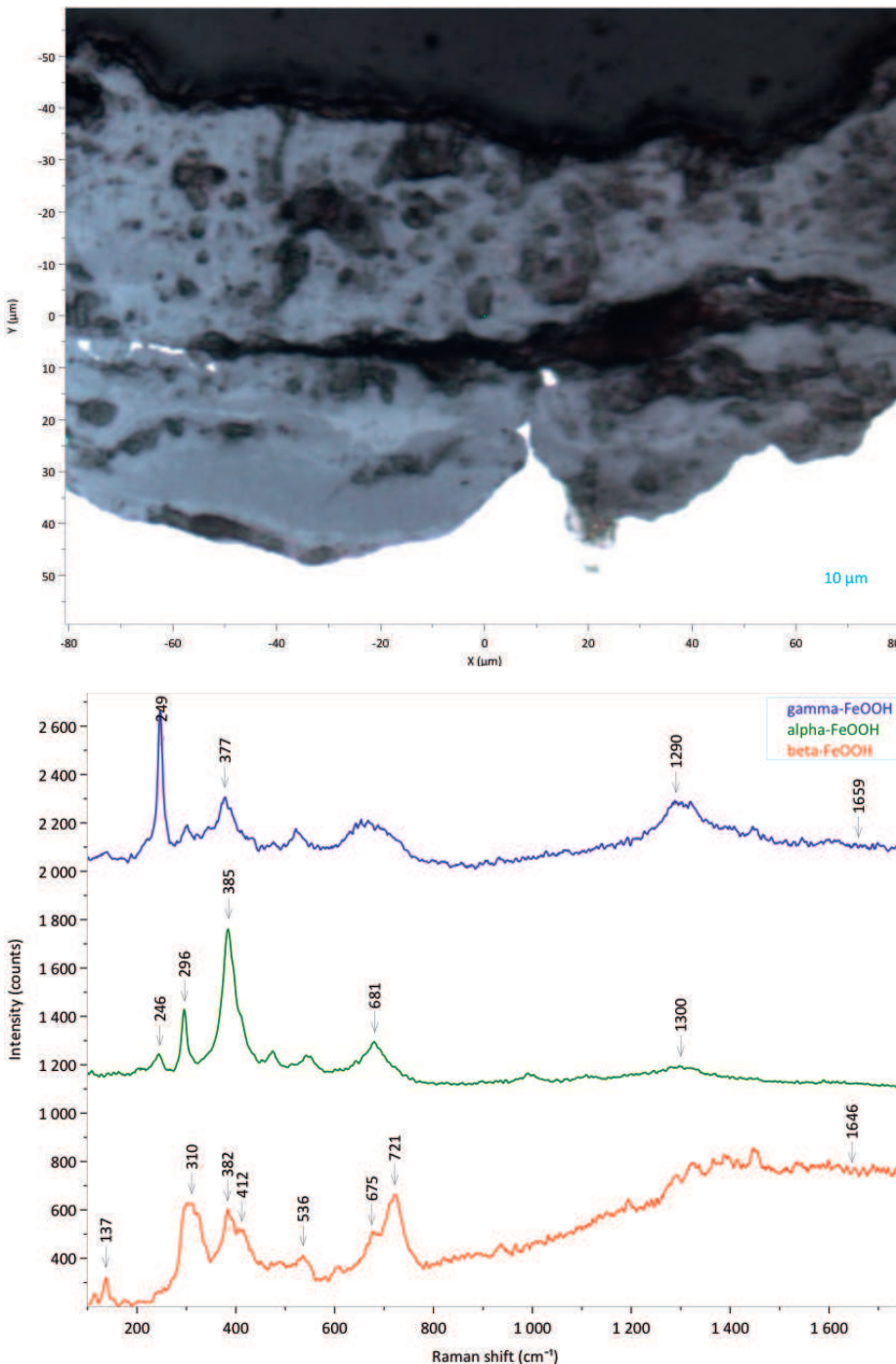
Lukt het ondanks oppervlaktebehandelingen niet om corrosie te voorkomen, dan zou het voorspellen ervan – weten waar en wanneer het optreedt – uitkomst kun-

Wie is Herman Terry n

Het vinden van verklaringen – en oplossingen – voor het waarom, wanneer en waar van corrosie is het werkterrein van prof.dr.ir. Herman Terry n. In oktober 2017 ontving hij de 'H.H. Uihig Corrosion Award' vanwege zijn niet aflatende en grensverleggende onderzoek naar metaalcorrosie; in 2014 ontving hij daarvoor al de prestigieuze 'European Corrosion Medal'.

Na zijn doctoraalstudie werd Terry n benaderd door de metaalindustrie voor automotieve toepassingen. Gaandeweg ging hij zich concentreren op oppervlaktebehandelingen, speciaal die in de vliegtuigindustrie. In Delft koos hij uiteindelijk voor corrosie, wat later leidde tot zijn benoeming in Brussel. Daar is hij hoogleraar bij Electrochemical and Surface Engineering (SURF) aan de Faculteit Ingenieurswetenschappen van de Vrije Universiteit Brussel (VUB). Aan de TU Delft is hij parttime hoogleraar en verricht hij onderzoek bij de afdeling Materials Science and Engineering binnen de onderzoeksgroep Corrosie Technologie en Elektrochemie (CTE).





Staal gecorrodeerd met NaCl (0,5g/m²) resulteert in verschillende spectra: γ -FeOOH (Lepidocrocite) (meer aan de buitenste laag), α -FeOOH (Goethite) and β -FeOOH (Akaganeite) aan de binnenste laag (respectievelijk donker- en lichtgrijze gebieden)

nen bieden. De groep Electrochemical and Surface Engineering (SURF) aan de Faculteit Ingenieurswetenschappen van de Vrije Universiteit Brussel (VUB) werkt aan het ontwikkelen van voorspellende modellen. Terry: "Een van de grote moeilijkheden

daarbij is dat er in de industrie heel veel virtueel wordt ontworpen. Met allerlei ingenieuze software probeert men zich een beeld te vormen van een product en de eigenschappen daarvan, bijvoorbeeld het plastische vervormingsgedrag van een

staal- of aluminiumplaat. Bij ontwerpen, en beoogde coatings, is het van belang het corrosiegedrag zo goed mogelijk te voorspellen, maar de computermodellen daarvoor staan nog in de kinderschoenen. In de automotive, zeevaart- en ruimtevaartindustrie voert men versnelde testen uit, waarbij het materiaal kunstmatig aan extreme omstandigheden, zoals luchtvochtigheid, temperatuur en trekkracht, wordt blootgesteld. Momenteel proberen we onze computermodellen te 'voeden' met de dedicated informatie uit die testen, parameters die we van de onderzoekslaboratoria van bijvoorbeeld Airbus of ArcelorMittal krijgen."

BETROUWBAAR

Terry vervolgt: "Een model maken is niet zo ingewikkeld, maar het maken van een betrouwbaar model, dat is van een andere orde. Een model is namelijk pas goed als het valoriseerbaar is, dat wil zeggen: wanneer je het kunt 'verzilveren' in de praktijk. Corrosievoorspellingen zijn te vergelijken met weersvoorspellingen. Die zijn over het algemeen vrij goed, behalve op lokaal niveau. Een orkaan aan zien komen is één ding, maar precies voorspellen waar en hoe intens die zich manifesteert, dat lukt niet. Hetzelfde geldt voor corrosie. Dat is in feite een lokaal fenomeen dat ontstaat door de wisselwerking tussen metaal en milieu. En die is heel anders als het object in het Midden-Oosten staat dan wanneer datzelfde object zich in Siberië bevindt. Ook het seizoen speelt een rol, en het type coating. Een ander type elektrolytlaag veroorzaakt nu eenmaal een andere wisselwerking met hetzelfde metaal. Het toeval speelt dus nog een grote rol, en juist dat dat maakt modellering zo ingewikkeld.

(Dit artikel verscheen eerder in Fluids Processing I 2018, een uitgave van Proces Media, online versie: <http://www.fluidsprocessing.nl/magazine/2018/FP2018-1p14.pdf>.)

VOM-dagopleiding:

**Corrosieverschijnselen
en
preventieve maatregelen**

20/11/2018

Huis van de bouw, Zwijnaarde
Inschrijven: www.vom.be/agenda

Corrosie van ijzer: chemische reactie

- $6\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 + 12\text{e}^- \rightarrow 12\text{OH}^-$
- $4\text{Fe} \rightarrow 4\text{Fe}^{3+} + 12\text{e}^-$
- $4\text{Fe}^{3+} + 12\text{OH}^- \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$ Deze halfreacties leveren samen:
- $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$