



Masterclass Corrosie

21 mei 2026

ir. Lisa Le Percq

BIL Industrie – Afdeling Schade & Corrosie

Schade

- Jaarlijks meer dan 100 schade-gevallen
 - 70% ten gevolge van corrosie
 - 30% mechanische schade
- Klanten:
 - Productiebedrijven
 - Bouw (structureel en leidingen)
 - Verzekeringen, gerechtsexperten

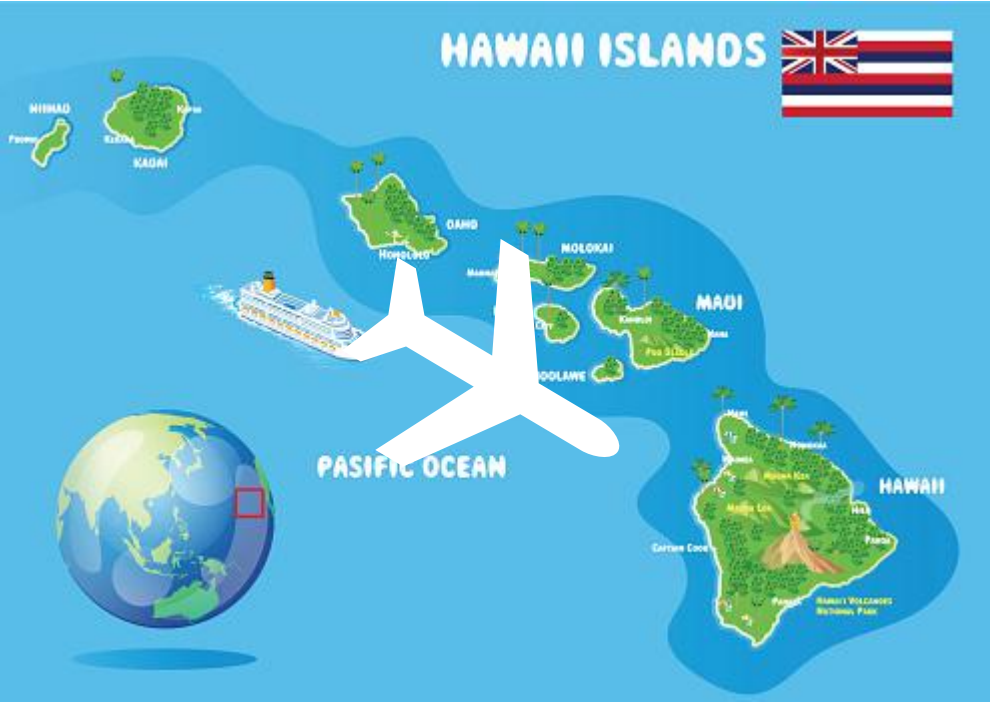


Corrosie

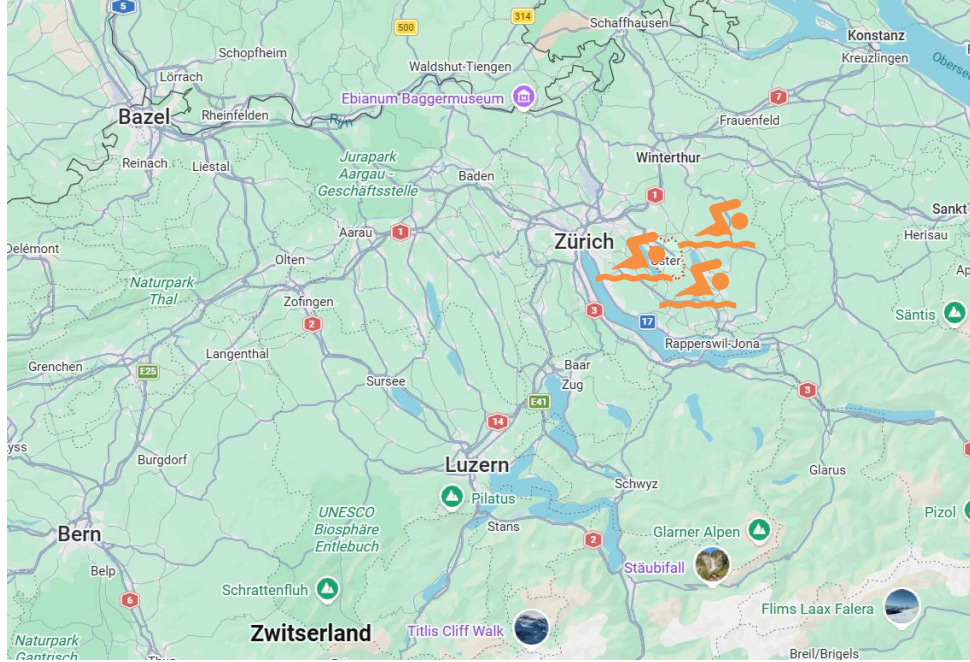
- Schadegevallen
- Corrosietesten
 - Zoutneveltesten
 - CLP testen
 - Simulaties van klanten
 - Genormeerd (bvb. put/spleet corrosie in RVS, gevoeligheid voor SCC bij messing)



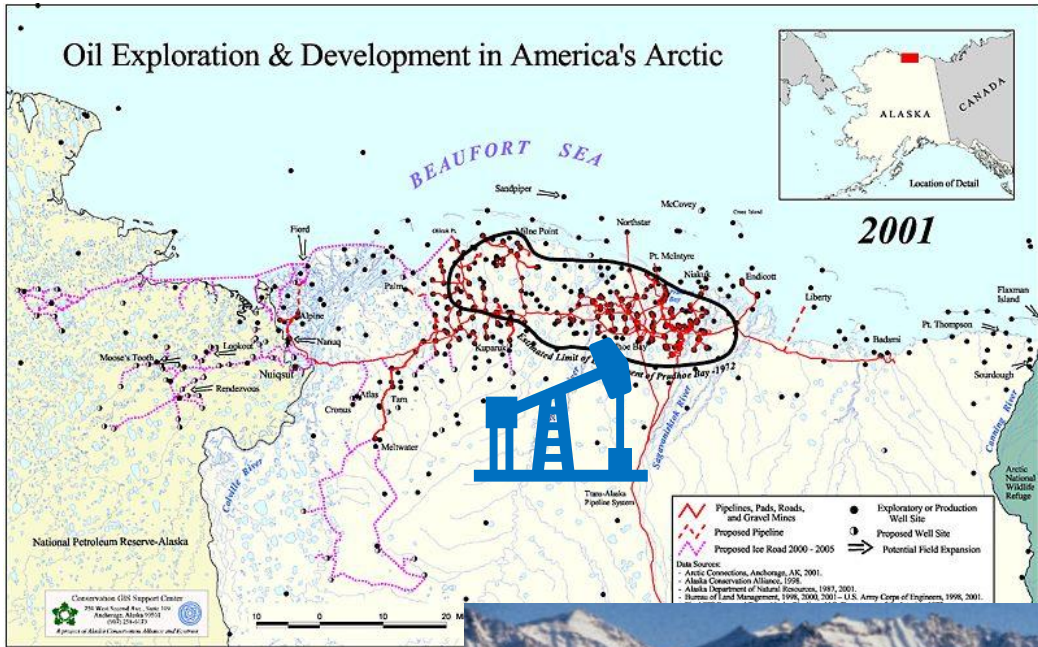
Hawaii (1988)



Zwitzerland – Uster (1985)



Prudhoe Bay (2006)

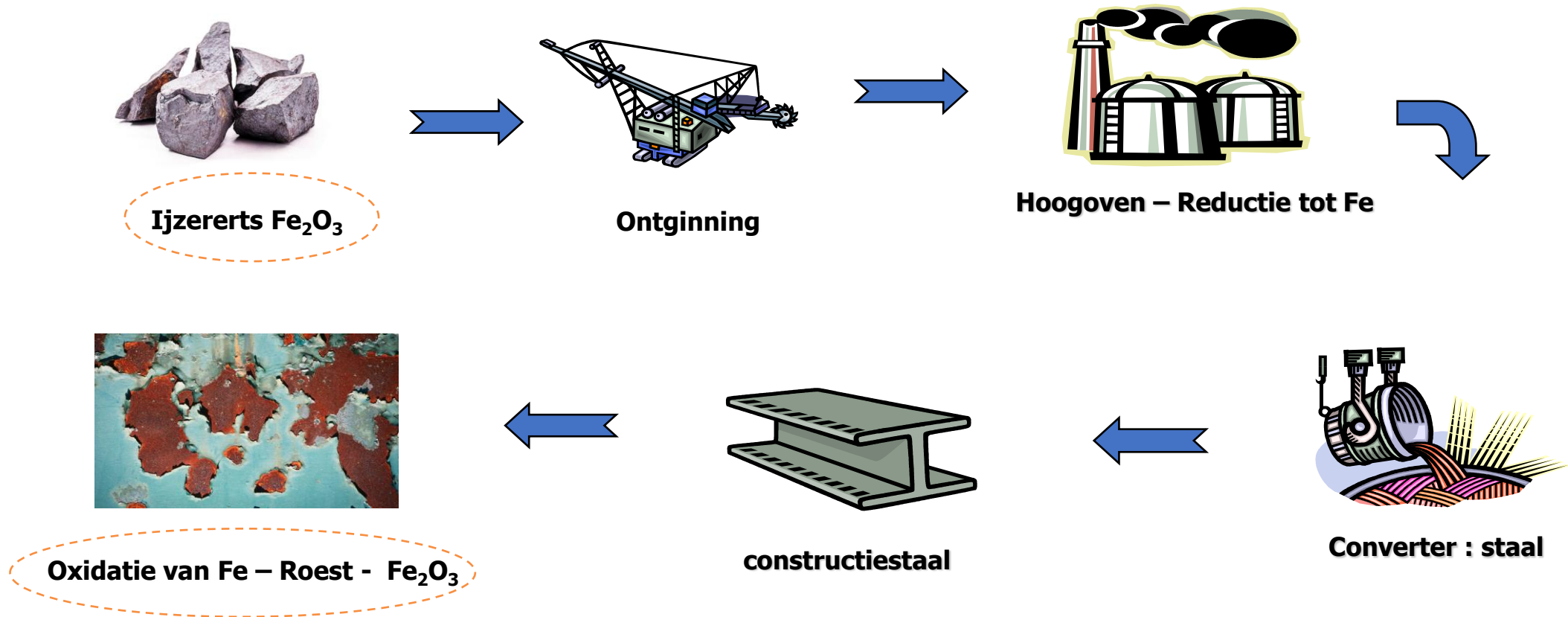


Wat is corrosie?

“Corrosie is de chemische of elektrochemische reactie tussen een materiaal (typisch een metaal) en zijn omgeving die leidt tot een degradatie van het materiaal of van zijn eigenschappen.”

Waarom corrosie?

Corrosie vindt plaats omdat metalen van nature de neiging hebben terug te keren naar hun stabiele, geoxideerde toestand (zoals ze in de natuur worden gevonden, bijvoorbeeld als erts) wanneer ze in contact komen met zuurstof en vocht.



Types corrosie

Chemische corrosie

- Droge corrosie
- Vb: $4 \text{ Fe} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3$
- Vooral bij hoge temperatuur
- Voor staal: boven 500°C

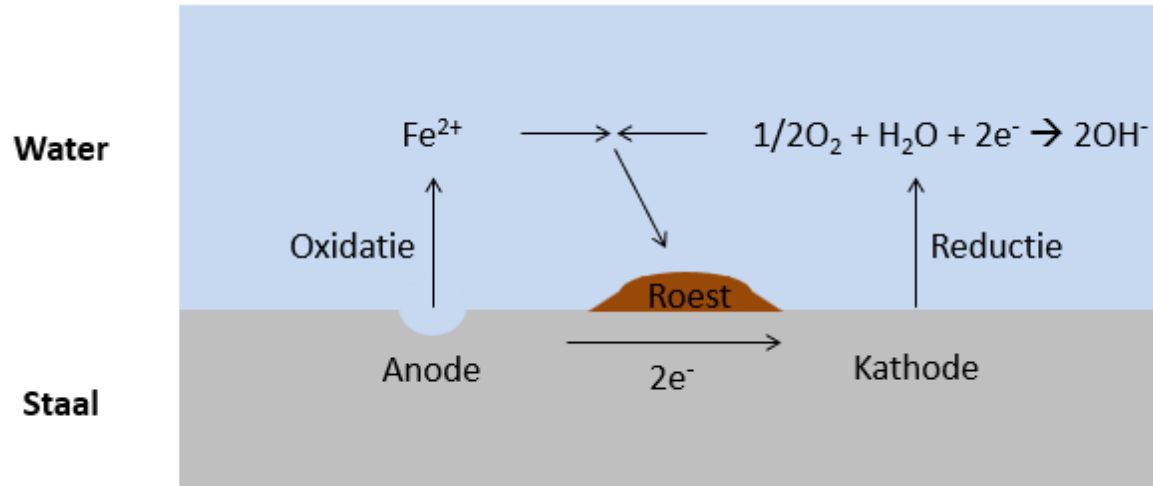


Elektrochemische corrosie

- Natte corrosie
- Typisch in water / vochtigheid in lucht ($\text{RH} > 60\%$) / natte grond / ...
- Elektrische stromen
- Aanwezigheid van ionen (bvb. Chloriden)



Elektrochemische corrosie – mechanisme



Elektrochemische corrosie van staal in water

- Anode:
 - oxidatie-reactie: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
 - ijzer gaat in oplossing: $\text{Fe}(\text{OH})_2$
 - en reageert verder tot “roest”: Fe_2O_3
- Kathode:
 - Reductie-reactie: $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{OH}^-$
- Elektrolyt:
 - In water is zuurstof (O_2) opgelost, typisch 10 ppm (mg/L)
- Elektronenstroom:
 - Elektronen stromen door het metaal van de anode naar de kathode

Corrosievormen

Uniforme corrosie

- Voorspelbaar
- mm/jaar afname in wanddikte
- Corrosietoeslag in ontwerp

Atmosferische corrosie

Corrosie in zuren

...

Lokale corrosie

- Onvoorspelbaar
- Onverwacht
- Schade-gevallen

Galvanische corrosie

Interkristallijne corrosie

Putcorrosie

Spleetcorrosie

Stress corrosion cracking (SCC)

Microbieel geïnduceerde corrosie (MIC)

...

Atmosferische corrosie



Staal (ijzer)
→ Rode roest



Zink (gegalvaniseerd staal)
→ Witte roest



Koper
→ Groene patina



Gerechtsgebouw, Antwerpen
Bekleding in AISI 316
Installatie: 2005

Atmosferische corrosie

- Afhankelijk van
 - Luchtvochtigheid
 - temperatuur
- Polluenten in de lucht
 - Cl
 - SO₂
 - CO₂
 - NO_x
- Indeling in klassen per omgeving
 - Zie ook EN ISO 12944-2
- Versnelde corrosieproef: zoutneveltest (met 5% NaCl)



Corrosiviteitsklasse	Voorbeeld buitenklimaat	Voorbeeld binnenklimaat
C1		Neutrale atmosfeer droog en verwarmd gebouw
C2	Landelijke gebieden	Gebouw waar condensatie kan optreden (vb. opslagruimte)
C3	Steden / industriegebied Kustgebied met laag zoutgehalte	Productieruimte met hoge vochtigheid en enige vervuiling
C4	Industrie- / kustgebied met matig zoutgehalte	Zwembaden / chemische fabrieken
C5	Industriegebied met agressieve atmosfeer Kustgebied met hoog zoutgehalte	Gebouwen met permanente condensatie en hoge vervuiling

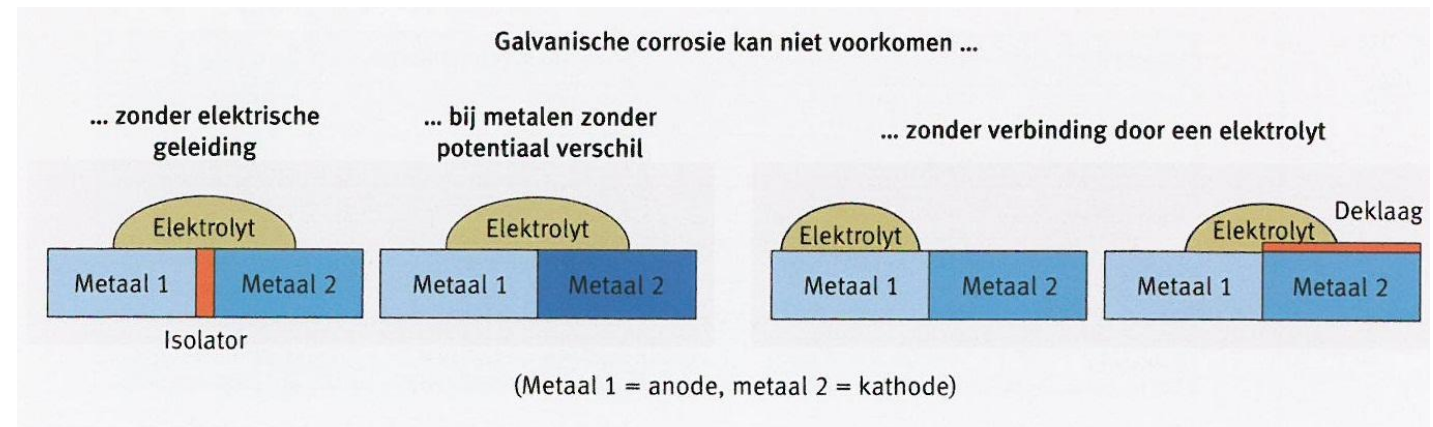
Galvanische corrosie

Wanneer:

- Tussen twee metalen in contact met elkaar
- Ene metaal is edeler dan andere metaal
- Minder edel metaal gaat corroderen

Voorwaarden:

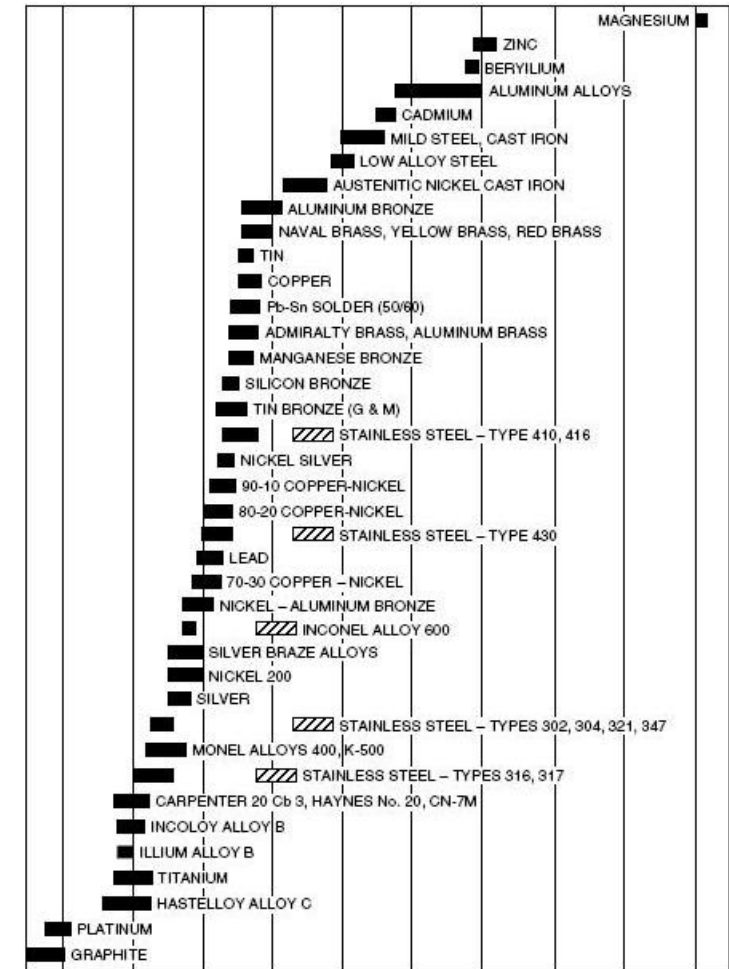
- Metalen moeten elektrisch in contact staan
- Er moet voldoende potentiaalverschil zijn tussen de metalen.
- Het elektrolyt moet in contact zijn met beide metalen
- Reductiereactie moet kunnen plaatsvinden aan de kathode (bvb. door de aanwezigheid van zuurstof in het elektrolyt)



Galvanische corrosie

Opgelet:

- Edel/onedel gedrag is verschillend per medium
- Passieve metalen hebben ook een actief gebied
- Oppervlakte-effect
- Stromingsrichting



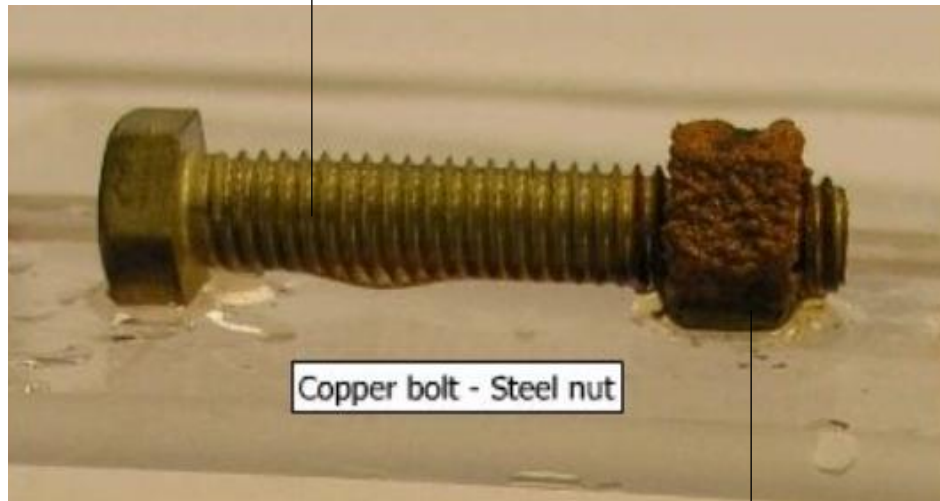
Above represents corrosion potentials of materials in flowing seawater @ temperature in the range 10° C - 26° C. The hatched symbols indicate potentials exhibited by stainless steels in pits or crevices.

Galvanische corrosie

Oppervlakte-effect

- Als oppervlak van de kathode (edeler) veel groter is dan het oppervlak van de anode (minder edel – corrosie), dan is er een concentratie van de elektronenstromen op het kleine oppervlak (anode) en treedt daar versneld corrosie op.

Koper – kathode – groot oppervlak



Staal – anode – klein oppervlak
Corrosie

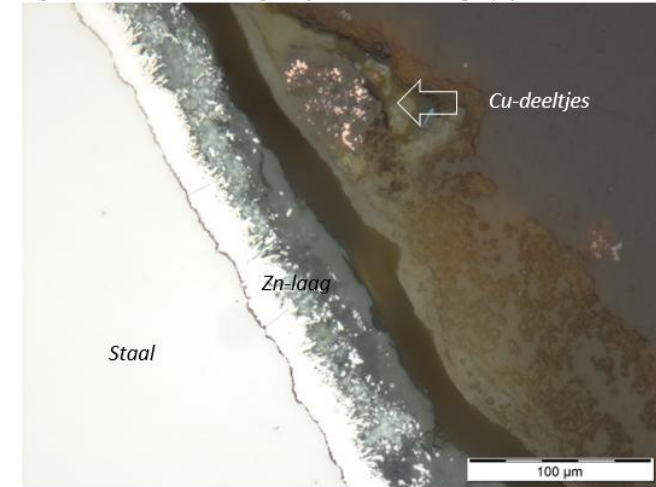
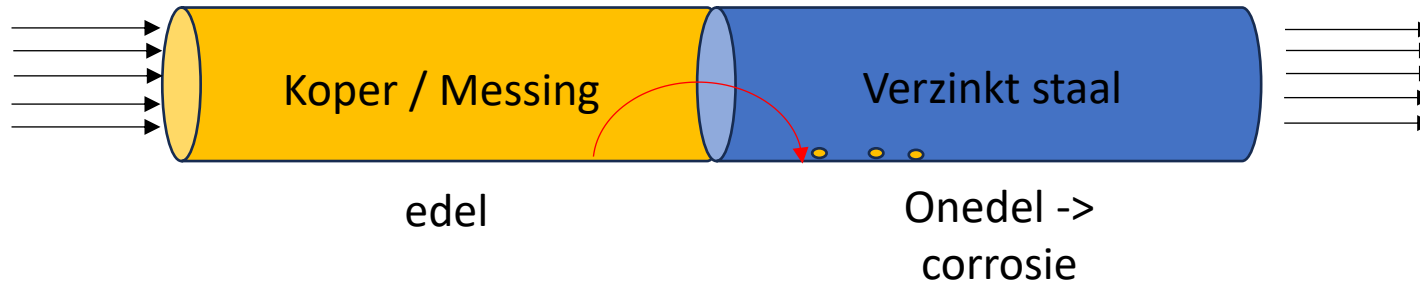
Roestvast staal – kathode – groot oppervlak



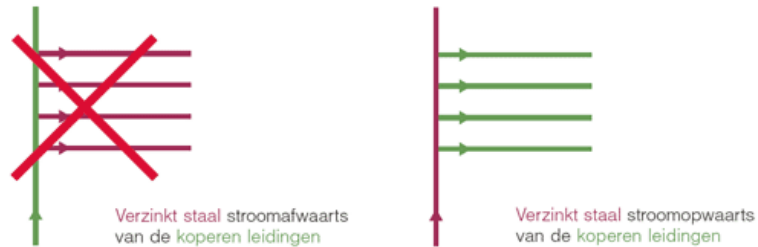
Staal – anode – klein oppervlak
Corrosie

Galvanische corrosie

Stromingsrichting



2.3. Corrosie door de vorming van een galvanisch koppel[h]



Afb. 2 Aanbevolen plaatsing bij gebruik van koperen en gegalvaniseerde leidingen in eenzelfde sanitaire installatie.

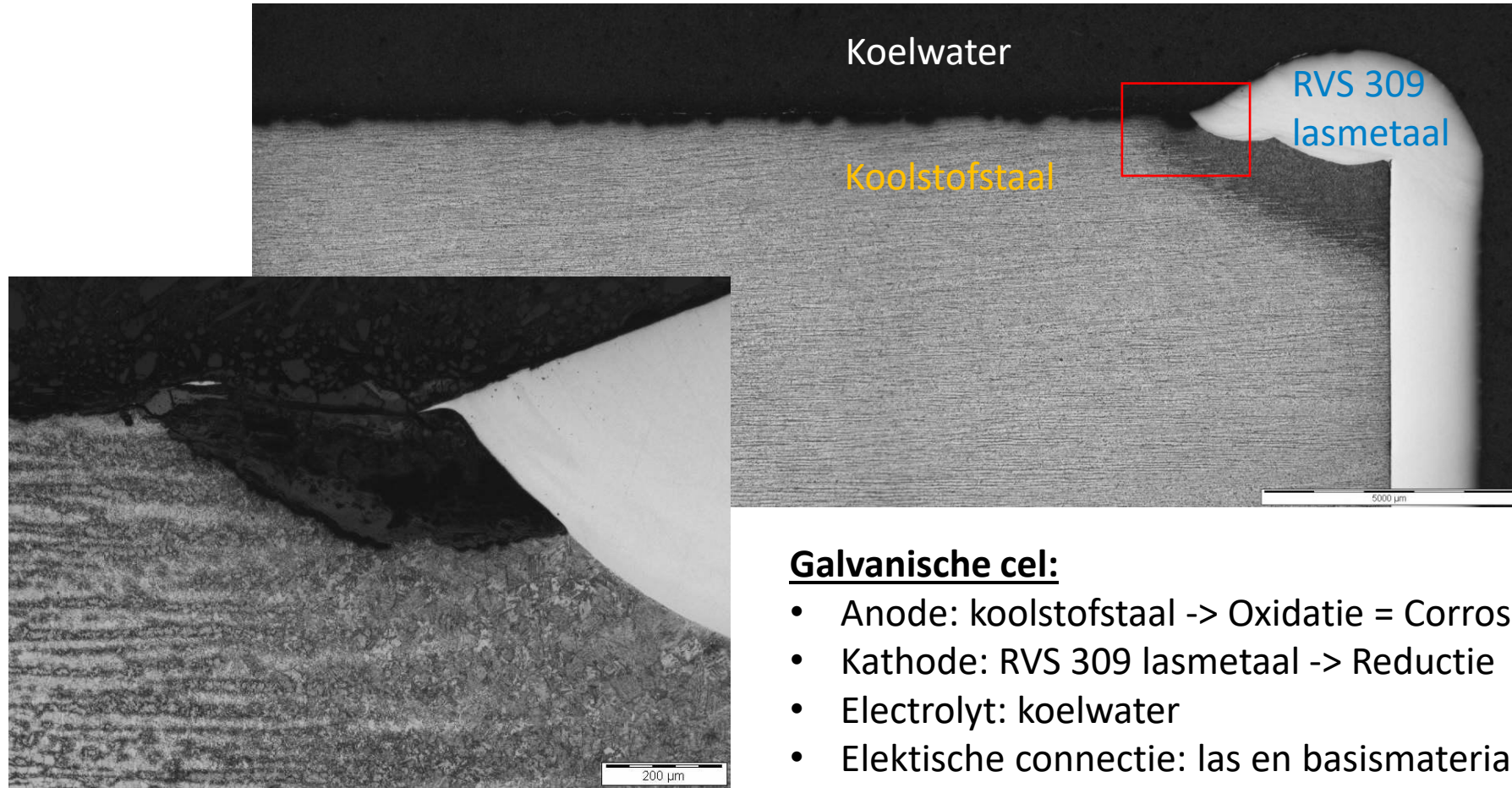
Uittreksel uit WTCB-voorschrift 'Corrosie in sanitaire leidingen van gegalvaniseerd staal 2007/02.08':

Corrosie door de vorming van een galvanisch koppel

Er kan ook corrosie ontstaan door de aanwezigheid van koperen elementen in een installatie met verzinkte leidingen. Daarom dient men er bij de uitvoering van gemengde sanitaire installaties (uit verzinkt staal en koper) over te waken dat het koper altijd stroomafwaarts van het verzinkte staal wordt geplaatst. De kans op corrosie door de vorming van een 'galvanisch koppel' is immers enkel reëel wanneer het water vanuit een leiding uit een edel materiaal (koper) in een leiding uit een minder edel materiaal (verzinkt staal) terechtkomt. Dit betekent dat het gebruik van koperen leidingstukken in een gesloten circuit met een retourleiding uitgesloten is.

Galvanische corrosie

Bij lasverbindingen



Galvanische cel:

- Anode: koolstofstaal -> Oxidatie = Corrosie
- Kathode: RVS 309 lasmetaal -> Reductie
- Electrolyt: koelwater
- Elektische connectie: las en basismateriaal zijn in direct contact



Keuken en voeding



Roestvast Staal

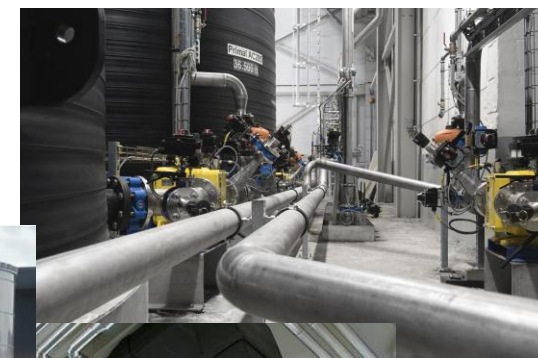
Architecturaal



Medische wereld

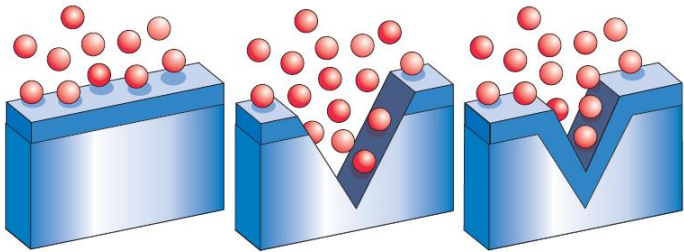


Opslag en transport



Roestvast

- RoestVast Staal (RVS) vormt een passieve, zelfherstellende film
- De film bestaat uit enkele nanometers Cr_2O_3



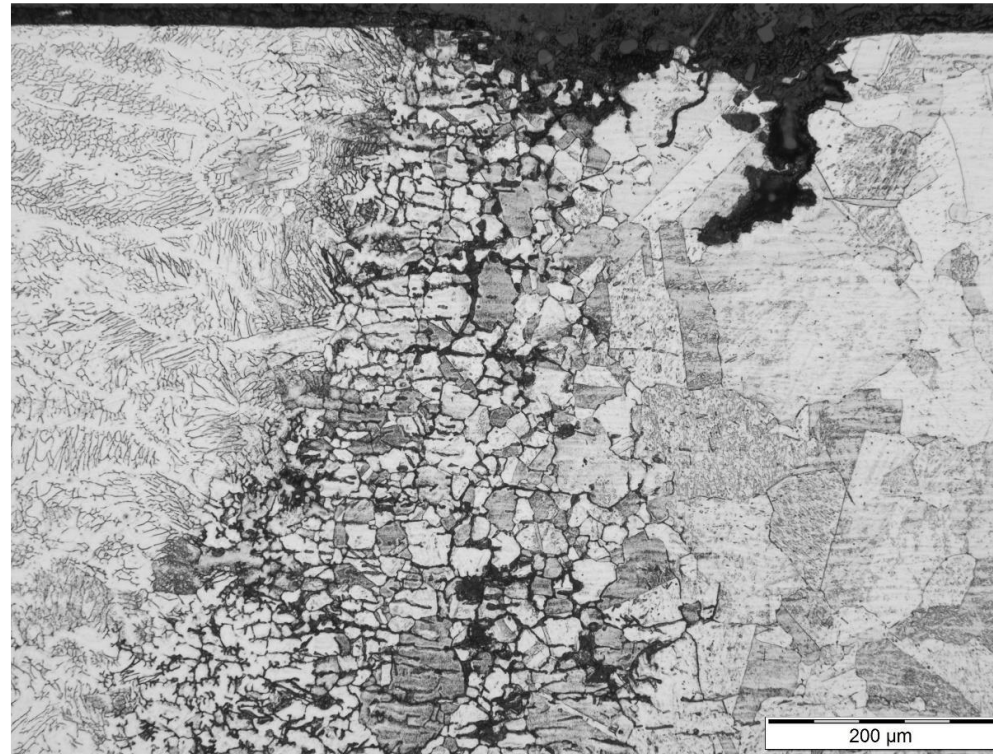
- Voorwaarden voor zelf herstellend gedrag van Cr_2O_3 film:
 - Beschikbaarheid van zuurstof (O)
 - Beschikbaarheid van chroom (Cr)

Niet roestvrij !!!

- Gevoelig voor lokale corrosiemechanismen zoals:
- Interkristallijne corrosie (sensitisatie bij lassen)
- Putcorrosie
- Spleetcorrosie
- Stress corrosion cracking (SCC)
- Microbieel geïnduceerde corrosie (MIC)
- ...

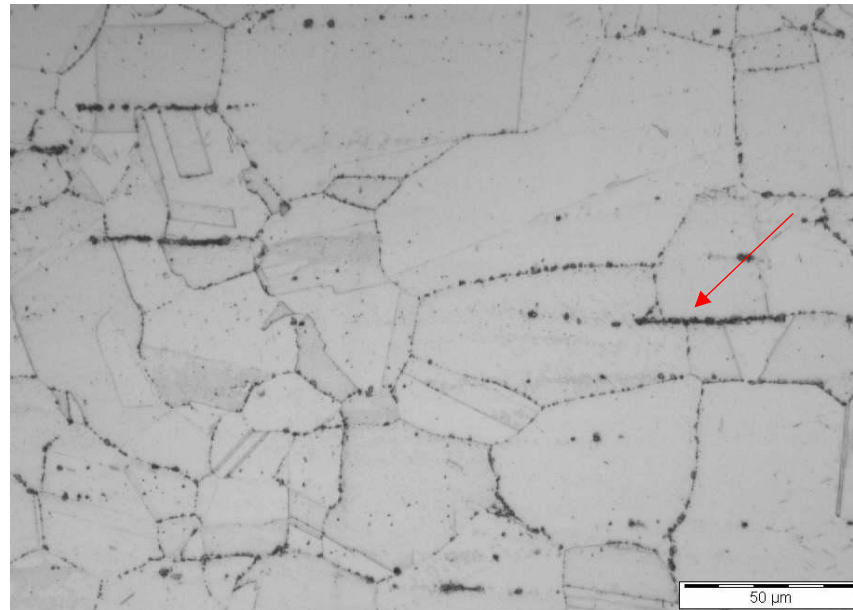
Interkristallijne corrosie – Sensitisatie

- Interkristallijne corrosie = Corrosie specifiek langsheen de korrelgrenzen van metalen
- Intergranulair = interkristallijn
- Sensitisatie = specifieke vorm van interkristallijne corrosie bij austenitisch RVS



Sensitisatie van austenitisch RVS

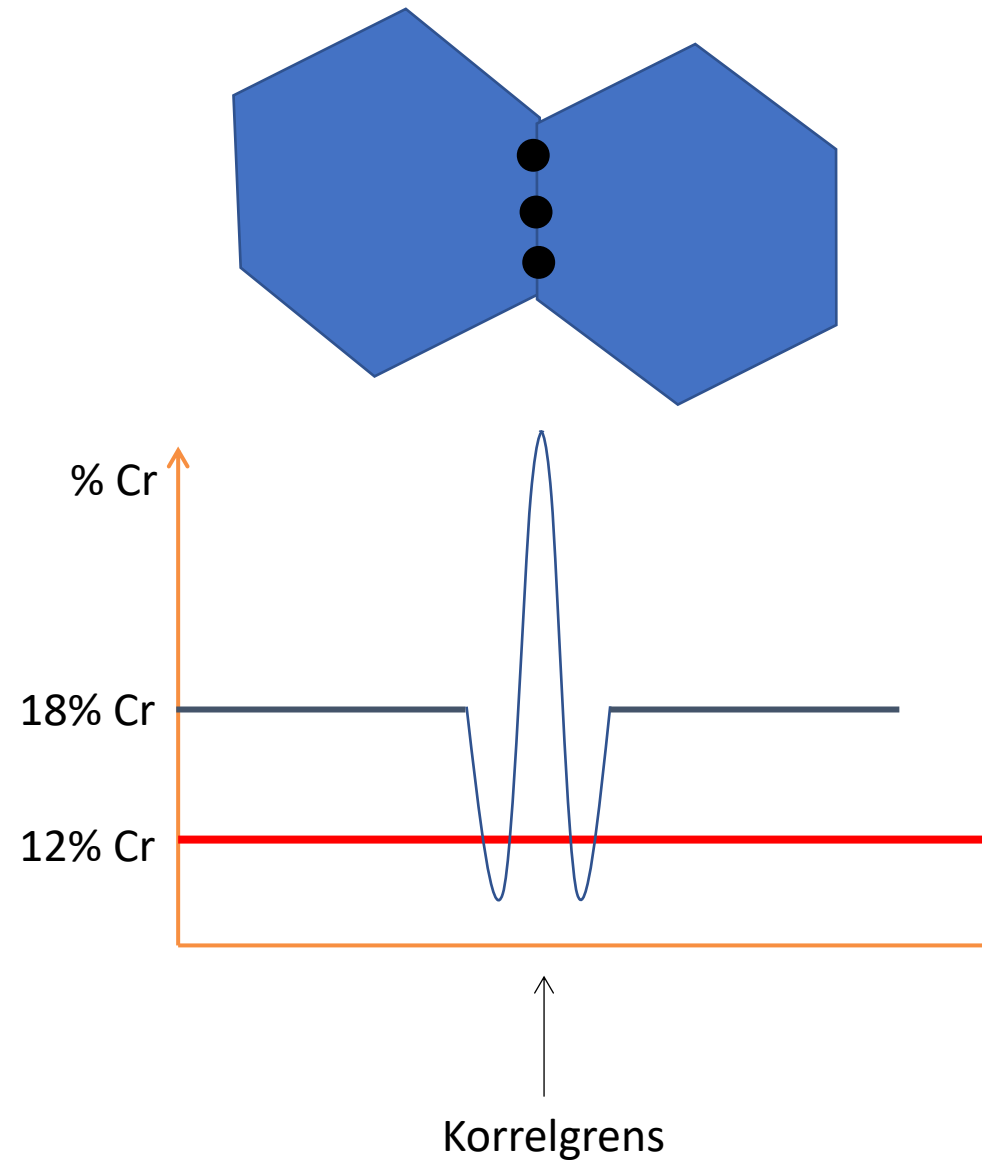
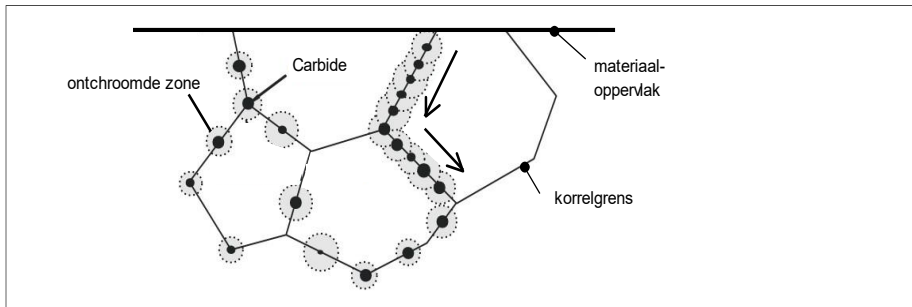
- Om de beschermende Cr_2O_3 -film te vormen, moet er voldoende Cr beschikbaar zijn.
- Gevaar: bij temperaturen tussen 450 en 850°C, kunnen zich chroom-carbides vormen (Cr_{23}C_6), deze vormen zich bij voorkeur op de korrelgrenzen
- Zo is er onvoldoende chroom beschikbaar voor het vormen van de beschermende Cr_2O_3 en gaat het RVS van “passief” (= beschermd) naar actief (= onbeschermd)



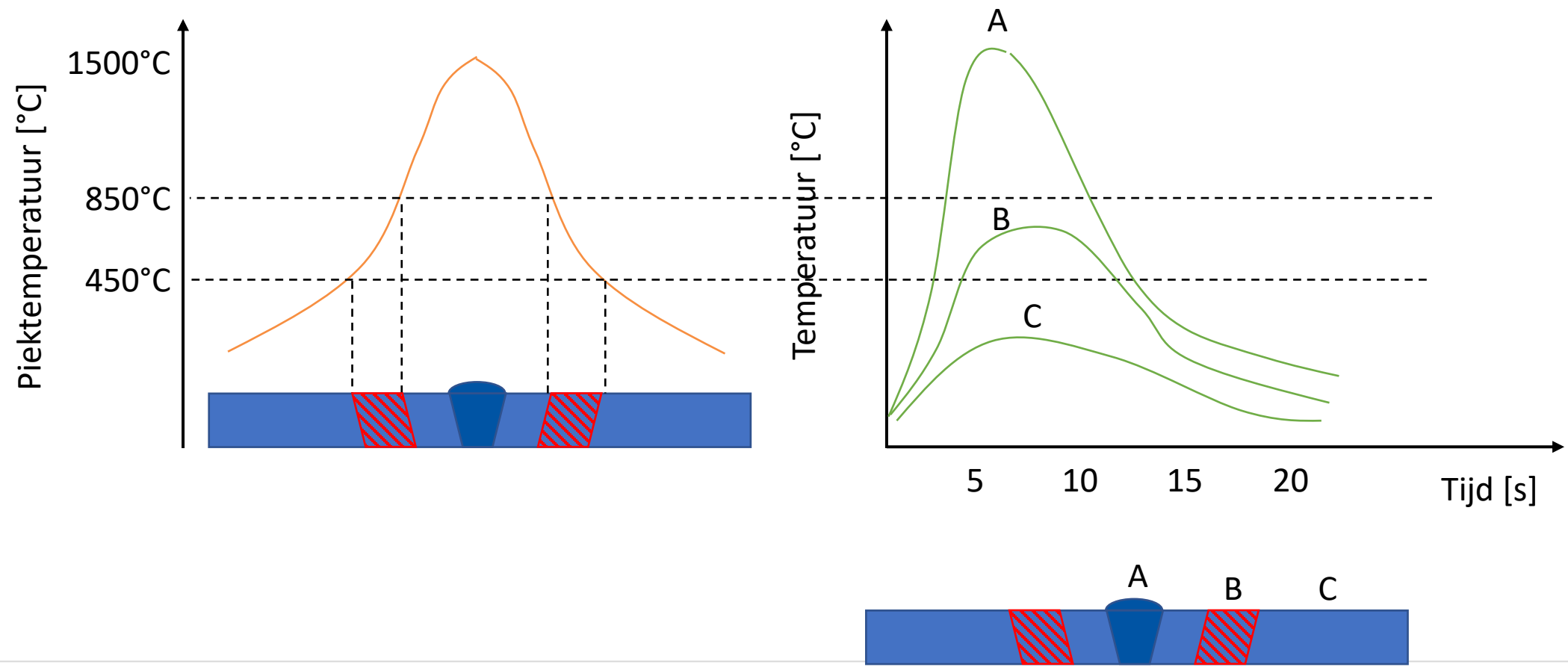
Interkristallijne corrosie – Sensitisatie

Mechanisme

- Chroom (Cr) migreert naar de korrelgrens, gaat een verbinding aan met koolstof (C), wat resulteert in de vorming van chroomcarbides aan de korrelgrens.
- Lokaal is de chroom-concentratie te laag voor vorming van de beschermende oxidelaag => korrelgrens gevoelig voor corrosie



Gevaar bij lassen – Weld Decay



Hoe voorkomen?

→ De vorming van ChroomCarbiden moet voorkomen worden, dit kan door:

1) % koolstof (C) verlagen:

- AISI 304L = AISI 304 met minder koolstof
 - Max. 0,03% C
- AISI 316L = AISI 316 met minder koolstof
 - Max. 0,03% C

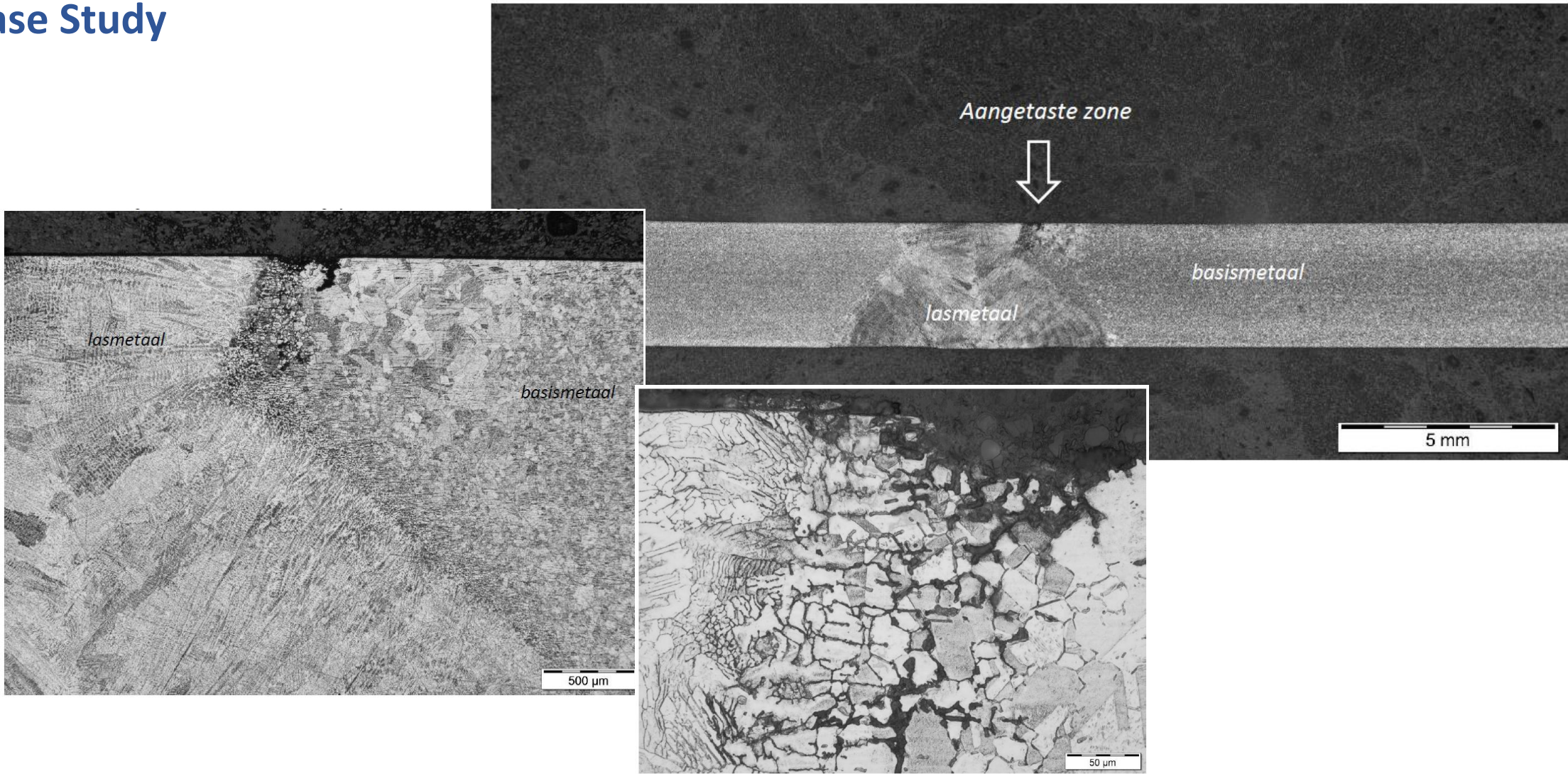
2) Toevoegen van stabillatoren:

- AISI 312 = AISI 304 + Ti
- AISI 347 = AISI 304 + Nb
- AISI 316Ti = AISI 316 + Ti

3) Zorg dat je geen C toevoegt tijdens lasproces

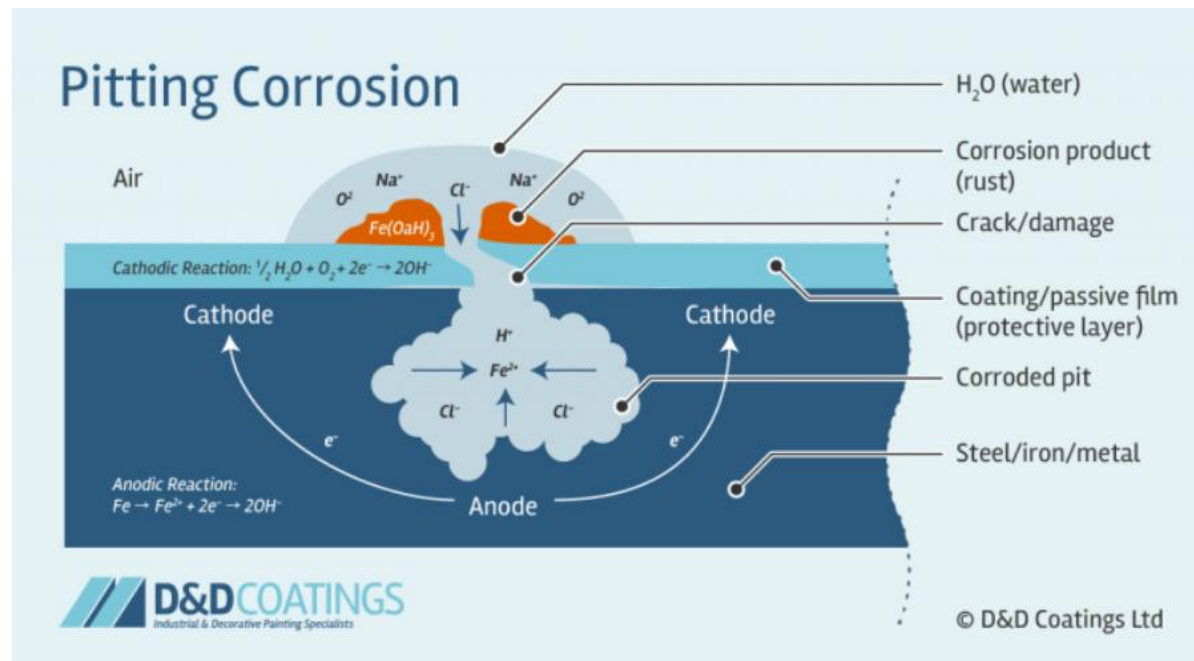
- Vb. uit resten van smeermiddelen / vet op het stuk

Case Study



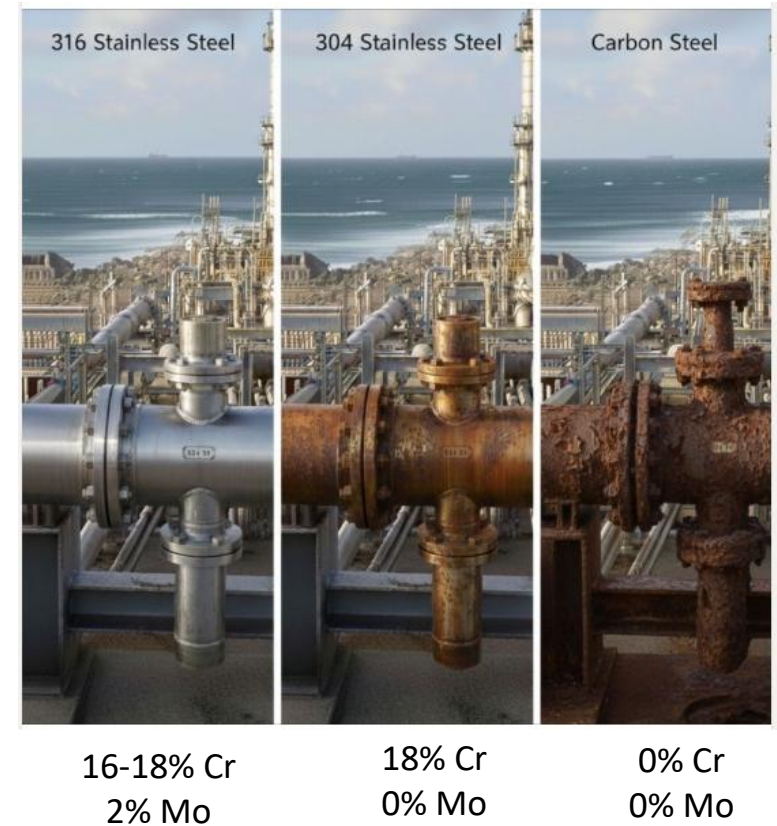
Putcorrosie (Pitting corrosion)

- Voor **RVS**: gevaar bij medium met **chloriden (Cl)** of andere **halogeniden (F, Br, I)**
 - Chloriden: zeewater, zeeatmosfeer, zwembaden
- Deze kunnen de passieve oxidehuid doorbreken
- Er vormt zich een put.
- In de put wordt een zuur milieu gevormd, met een tekort aan zuurstof



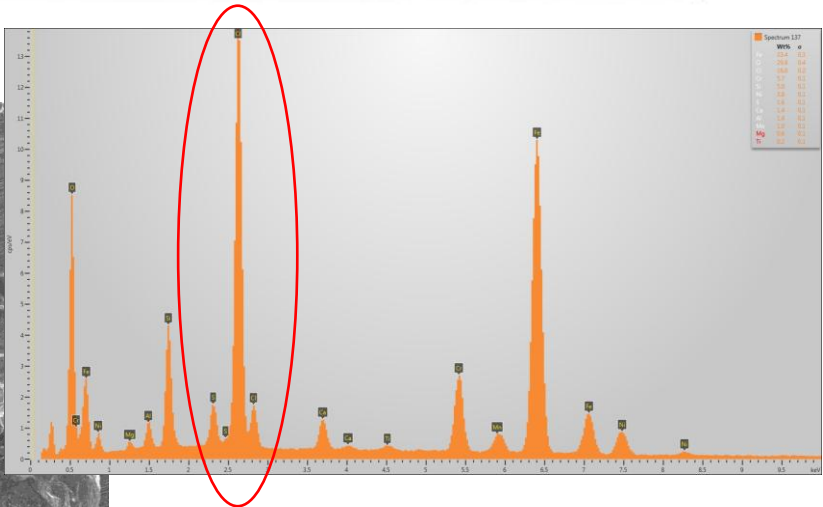
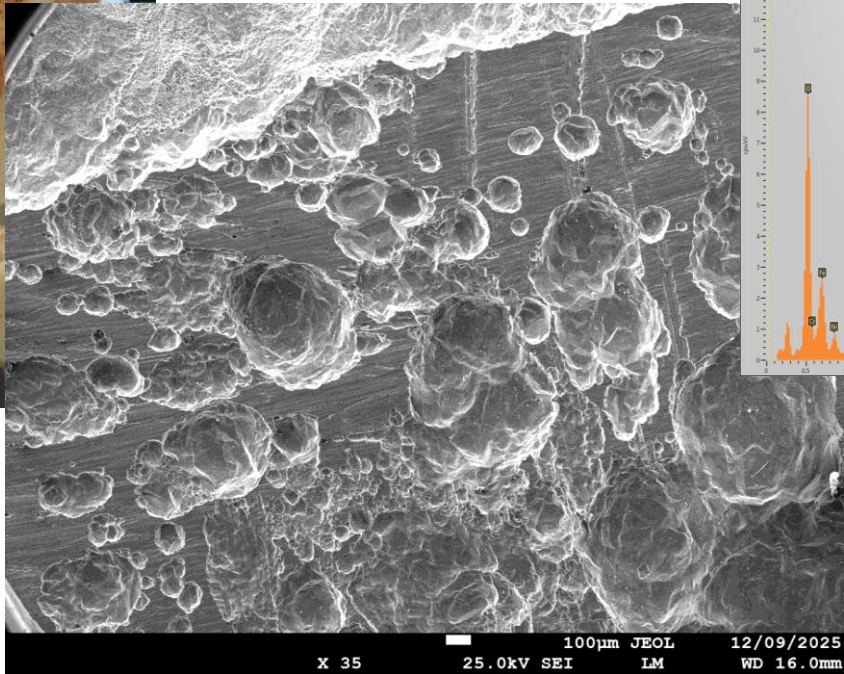
Putcorrosie (Pitting corrosion)

- Verschillende RVS legeringen – verschillende weerstand tegen pitting
- Indicator van weerstand tegen pitting:
 - PREN: Pitting Resistance Equivalent (with Nitrogen)
 - $$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3,3\% \text{Mo} + 16\% \text{N}$$
- Voorbeeld:
 - AISI 304
 - Typisch 18% Cr, geen Mo
 - PREN = 18
 - AISI 316
 - Typisch 16 tot 18% Cr en 2% Mo
 - PREN = 24



Putcorrosie (Pitting corrosion)

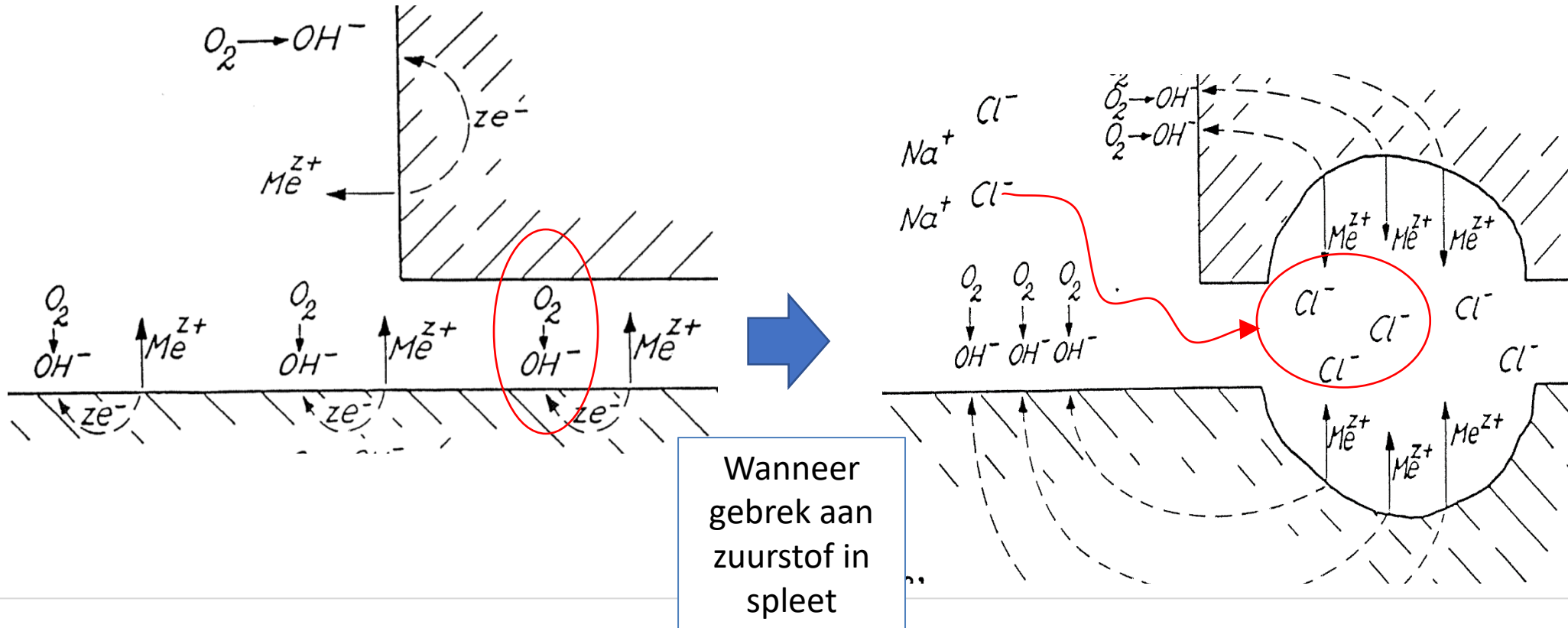
Case study



25/446

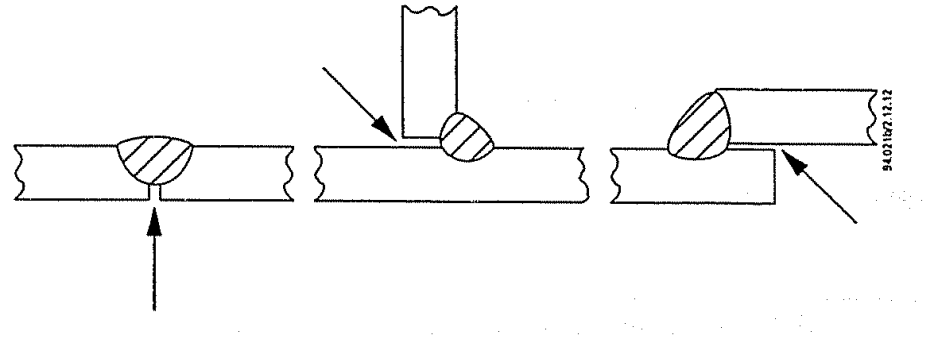
Spleetcorrosie (Crevice corrosion)

- Gelijkaardig aan putcorrosie
- Afhankelijk van ontwerp!
- Voor RVS: gevaar bij medium met chloriden (Cl) of andere halogeniden (F, Br, I)
 - Chloriden: zeewater, zeeatmosfeer, zwembaden
- In de spleet is er een tekort aan zuurstof om de passieve film te vormen.



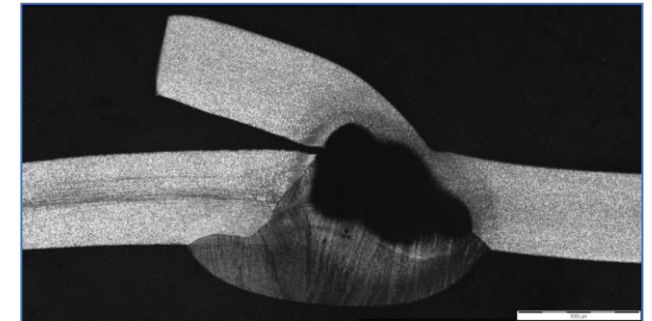
Spleetcorrosie (Crevice corrosion)

Risico bij lassen



Case Study

- RVS Boiler
- Stilstand en afzetting in spleet
- Start spleetcorrosie



Spleetcorrosie (Crevice corrosion)

Case study: Aloha-vlucht 243 (1988)

Hoewel de rompbekleding van aluminium was, speelden de **roestvaststalen schroeven en verbindingen** in een **zoutwateromgeving** met een **hoog chloridegehalte** een cruciale rol bij het ontstaan van de schade.

Belangrijkste factoren:

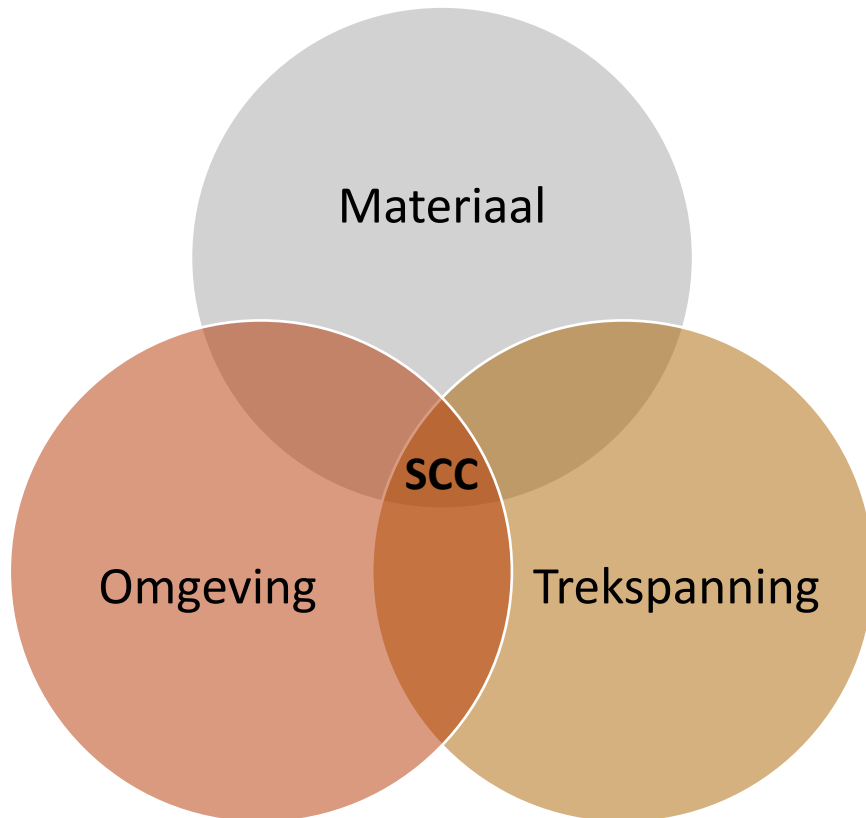
1. Chloride omgeving
 - Hawaii = constante blootstelling aan chloor uit zeeomgeving
 - **Chlorides** dringen binnen in overlappende verbindingen
2. **Spleetcondities**
 - Vocht dat vastzit tussen overlappende rompplatten
3. RVS + Chlorides + spleet
 - **Spleetcorrosie**
4. Meervoudige aantasting en vermoeiing
 - Corrosie-aantasting als bron van scheurvorming
 - Vermoeiing tijdens duizende korte vluchten
 - Scheurtjes komen samen, wat leidt tot de ramp



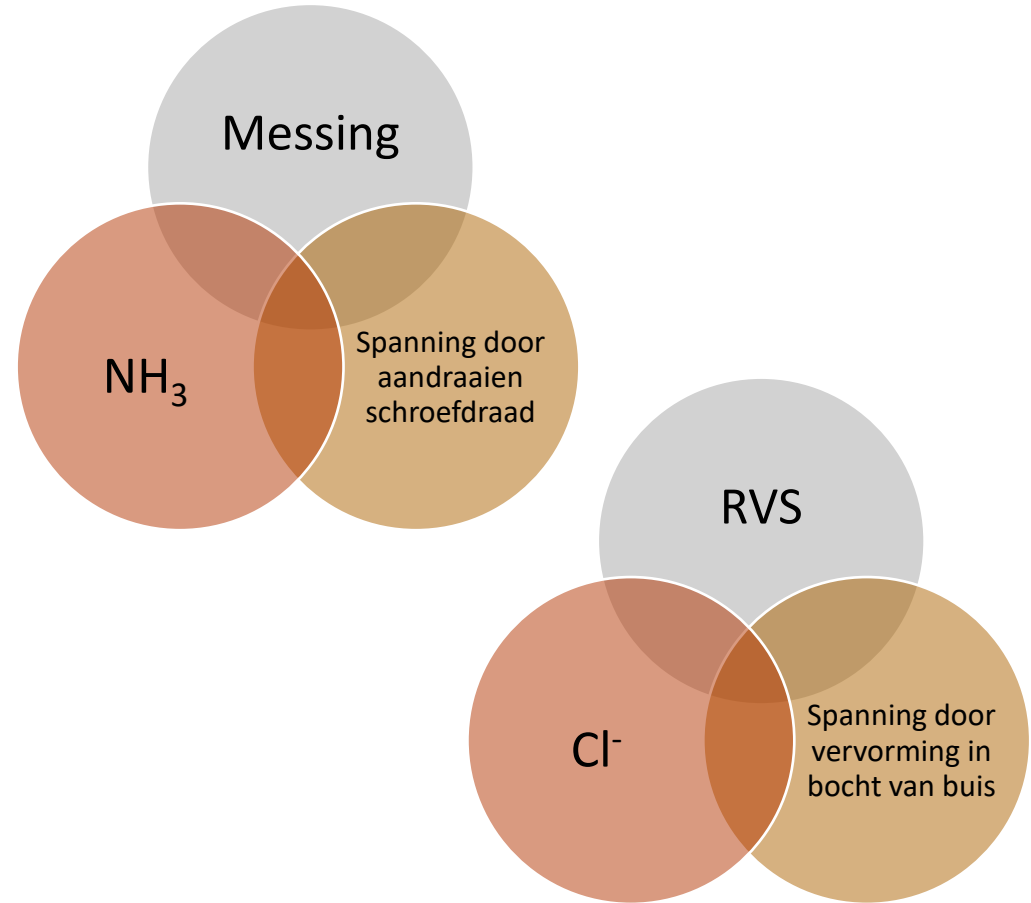
Nota: naast Spleetcorrosie, waren er ook tekenen van stress corrosion cracking (SCC)

Stress Corrosion Cracking (SCC)

Noodzakelijke voorwaarden

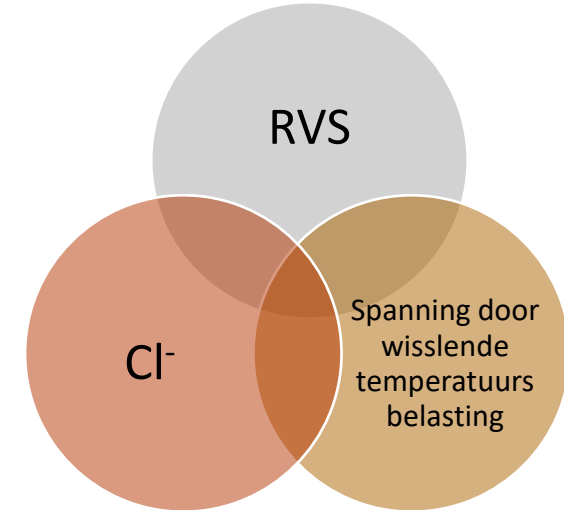
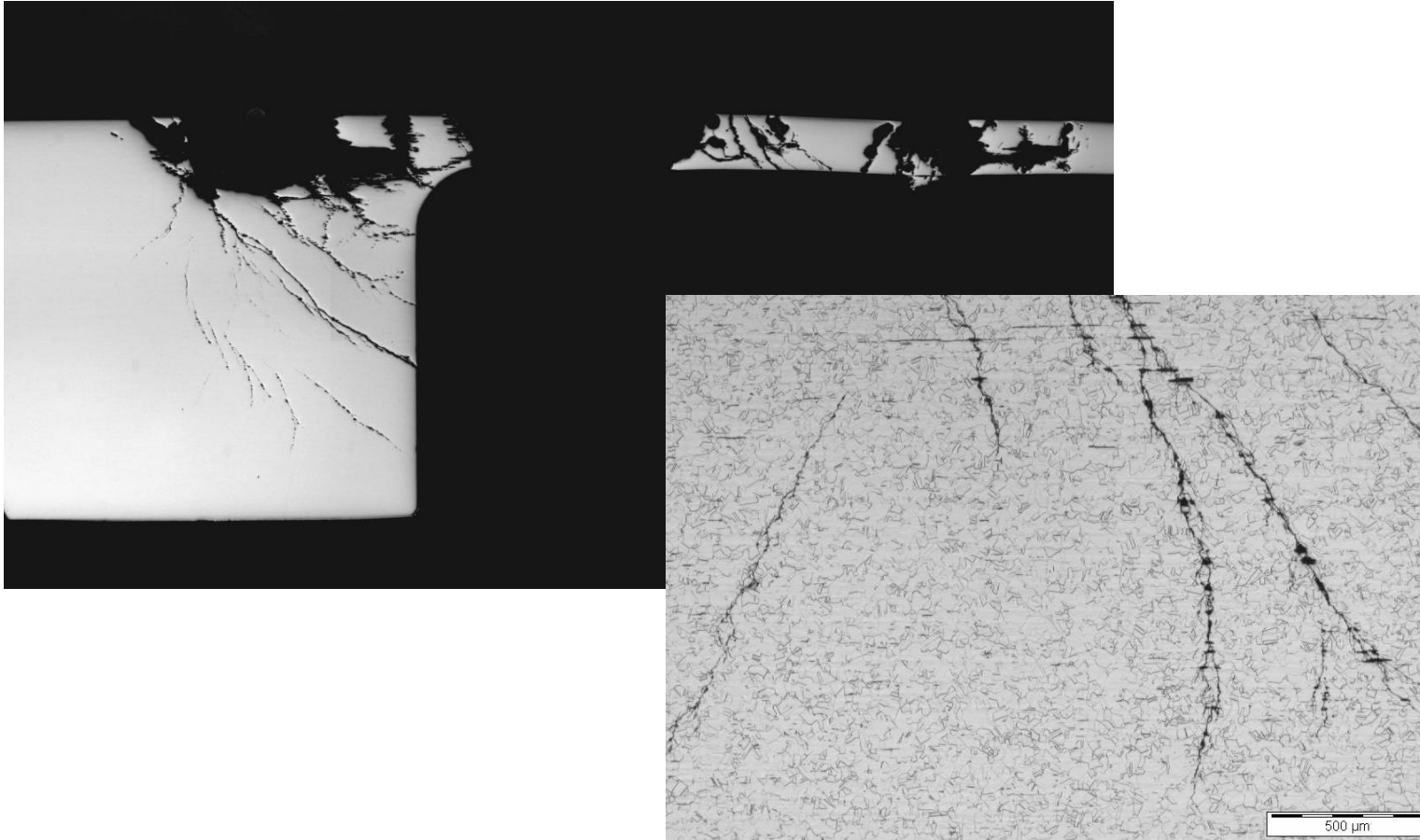


Voorbeelden



Stress Corrosion Cracking (SCC)

Case study



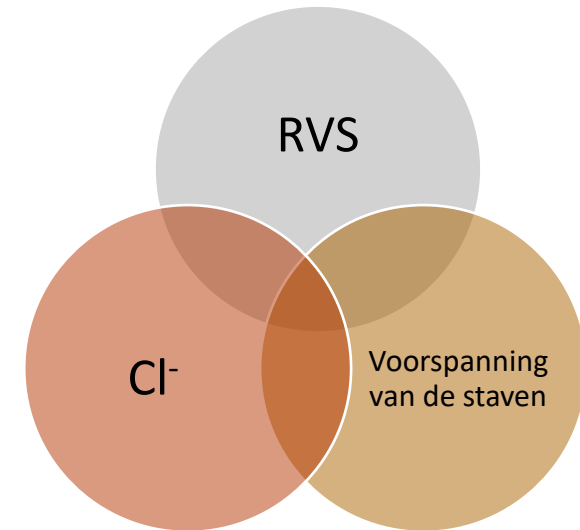
Stress Corrosion Cracking (SCC)

Case study: instorting dak zwembad (1985)

Het plaffond was gemaakt van voorgespannen beton: beton versterkt met voorgespannen roestvaststalen stalen.

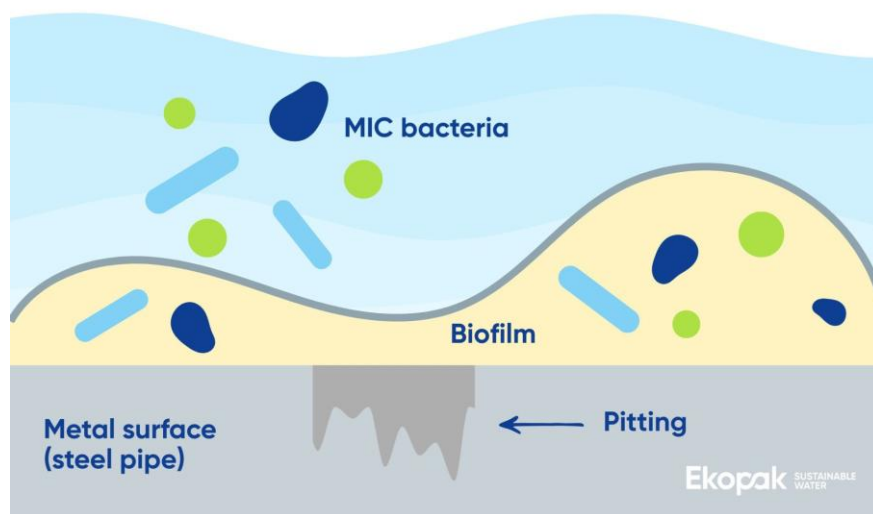
Voorwaarden voor SCC

1. Chloride omgeving
 - Zwembad = chloride omgeving
 - Gedurende meerdere jaren heeft condens van het water zich afgezet op de RVS staven
2. RVS
 - RVS is gevoelig voor SCC bij aanwezigheid van chloriden
3. Spanning
 - Principe van voorgespannen beton: de staven worden onder trekspanning geplaatst om het beton ter verstevigen.



MIC – Microbieel geïnduceerde corrosie

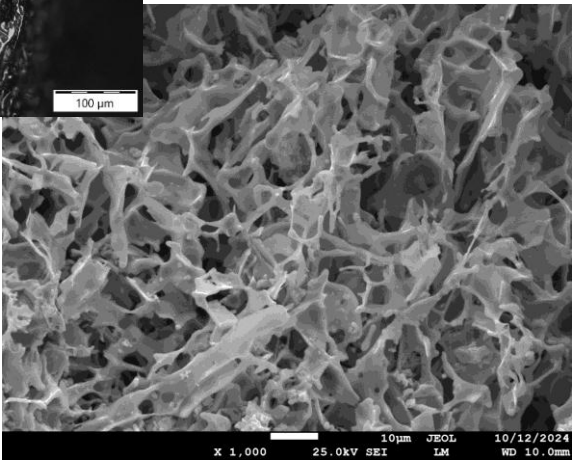
- Microben / Bacteriën in water kunnen zich afzetten op metalen.
- Bij traagstromend of stilstaand water: vorming van een **biofilm**
- Onder biofilm : agressief milieu -> lokale aantasting
- RVS is bijzonder gevoelig voor MIC



Nota: MIC wordt ook vastgesteld bij pijpleidingen voor olie, in de waterfractie die zich aan het metaaloppervlak bevindt

MIC – Microbieel geïnduceerde corrosie

Case study: MIC na hydrotest



24/567

Hoe MIC na hydrotest voorkomen?

- Ontwerp: geen “dode zones”
- Vermijd ruwheid (bvb. slechte lassen)
- Gebruik proper water (kraantjes water, of nog liever demin water)
- Vermijd lange stilstand van water (zorg dat film geen tijd heeft om zich te vormen)
- Goed nadrogen (geen water achterlaten)

Hoe MIC bij gebruik voorkomen?

- Ontwerp: geen “dode zones”
- Vermijd ruwheid (bvb. slechte lassen)
- Monitor waterkwaliteit
- Gebruik biociden
- Vermijd stilstand of traagstromend water

MIC – Microbieel geïnduceerde corrosie

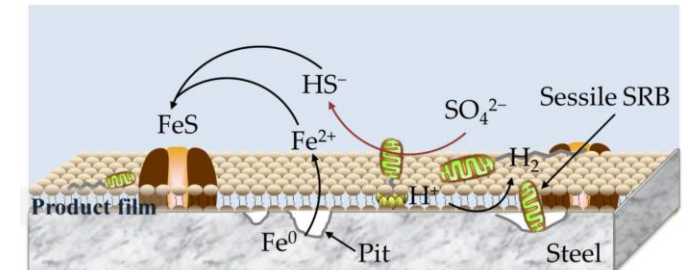
Case study: Prudhoe Bay olielek (2006)

Oorzaak:

- Kleine fractie water in de olie
- **Lage snelheid** t.o.v. diameter leidingen
- Sediment op bodem van pijpleiding
- In sediment wordt de Sulfer Reducerende Bacterie (**SRB**) teruggevonden
- Lek ten gevolge van MIC

Preventieve maatregelen:

- Vervangen pijpleiding (26 km)
- Verhogen snelheid
- Toevoegen biocides
- Monitoring voor aanwezigheid van bacteriën
- Wekelijkse reiniging (“pigging”)
- Verbetering lekdetectiesysteem



Eindslide