



Hogere Zeevaartschool

**HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN**

# **Validatieprocedure van het protocol AMACORT CIFD - 01**

Rob Baetens  
Maarten Van Rossum

Scriptie voorgedragen tot het behalen  
van de graad van  
Master in de Nautische Wetenschappen

Promotor: ir. Remke Willemen

Academiejaar: 2021 - 2022



# Voorwoord

De validatieprocedure van het protocol AMACORT CIFD – 01 onderzoekt testmethodes gebruikt voor de evaluatie van ballast tank coatings en hun representativiteit naar de praktijk toe en plaatst deze naast het protocol AMACORT CIFD - 01. Dit onderzoek kadert in het doctoraat van ir. R. Willemen, tevens onze promotor. We zijn verheugd dat we hier deel van mogen uitmaken, als ook onze bijdrage mogen leveren aan het *Antwerp Maritime Academy Corrosion Team* (AMACORT).

Het onderwerp sprak ons direct aan. De praktische kant van het onderzoek zorgde voor een beter gevoel met het onderwerp. Het praktisch realiseren van het onderzoek was zeker niet gelukt zonder de nodige hulp en inspanning van onze promotor, vandaar de volgende dankbetuiging.

We zouden graag onze promotor ir. R. Willemen bedanken, niet alleen om het onderwerp aan ons toe te vertrouwen, maar ook voor het advies en de nodige hulp. Ook bewonderen wij haar inzet en toewijding aan het onderzoek. Hierbij een welgemeende dank u wel.



# Samenvatting

Ballast tanks aan boord van schepen moeten voorzien zijn van een beschermende coating tegen corrosie. Vooraleer een fabrikant deze coating op de markt kan brengen zal deze eerst een corrosie versnellende blootstellingstest succesvol moeten ondergaan. Hiervoor bestaan verschillende en uiteenlopende testen, elk met hun eigen kenmerken. In dit onderzoek zullen verschillende testmethodes alsook verschillende evaluatiemethodes vergeleken worden. We merken op dat coatings beoordeeld worden op basis van testmethoden die niet volledig representatief zijn naar de praktijk toe. Ook valt op dat verschillende testen verschillende criteria opleggen.

In dit onderzoek worden drie corrosie versnellende testen uitgevoerd. In eerste instantie wordt er gekeken naar cyclisch drogen/vernevelen, alsook een volledige onderdompeling in artificieel zeewater. Vervolgens wordt een combinatie van beide onder de loep genomen. Al deze processen komen immers voor in een ballast tank. Deze combinatie is genaamd AMACORT CIFD – 01. Hierbij ondergaan de testplaatjes afwisselend het drogen/vernevelen en de volledige onderdompeling. Op deze manier onderzoeken we een testmethode die meer aansluit bij de realiteit. We stellen na afloop vast dat de bestaande testmethoden uiteenlopende resultaten afleveren. Na het evalueren van de AMACORT CIFD – 01 testmethode bekomen we resultaten die aantonen dat het inderdaad gaat om een combinatie van de afzonderlijke testen.



# Abstract

Ballast tanks on board vessels are provided with a protective coating against corrosion. Before a manufacturer can sell his coating, the coating must pass a corrosion exposure test. There are many different tests available, all with different features. In this research several test methods, as well as different evaluation methods are compared. We conclude that coatings are assessed by tests that are not completely representative to what is really happening inside of a ballast tank. On top of that, the different testing methods require a varying range of criteria.

In this research, three different testing methods are performed. At first, the fog/dry cycle test and the fully submerged test are reviewed separately. In the next stage, both methods are combined and evaluated. The combination of these tests is named AMACORT CIFD-01. The samples are exposed alternately to both of the previous mentioned testing methods. This combination is essential since both processes take place within the ballast tank. Thereby resulting in the most accurate representation of the sustainability of the coating. Afterwards, we find that the existing test methods give divergent results. After evaluating the AMACORT CIFD - 01 test method, we obtain results that show that it is indeed a combination of the individual tests.





# Inhoudstafel

Lijst van figuren	xi
Lijst van tabellen	xiii
Afkortingen	xv
Verklarende woordenlijst	xvii
Inleiding	1
1 Ballast tanks en hun bijhorende coating	3
1.1 Het gebruik van ballast tanks aan boord van schepen	3
1.2 Soorten ballast tank coating	3
1.3 Corrosie en ballast tanks	4
2 Reglementering van coatings in ballast tanks	7
2.1 PSPC <sub>15</sub>	7
2.2 Coatings gebruikt in het maritiem milieu	8
3 Testmethodes gebruikt voor ballast tank coatings	11
3.1 Testmethodes gebruikt voor coatings in ballast tanks	11
3.1.1 Test op gesimuleerde ballast tank condities & condensatiekamer test	11
3.1.2 Marintek testmethode	14
3.1.3 Werkveld blootstellingstest	15
3.1.4 Zoutneveltest	16
3.1.5 Kesternich-testmethode	16
3.1.6 Cyclisch drogen/vernevelen	17
3.2 Testmethodes gebruikt voor ballast tank coatings in de offshore industrie	18
3.2.1 De dimensionale stabiliteit test	19
3.2.2 Veroudering stabiliteit test	19
3.2.3 <i>Thick-Film cracking test</i>	19
3.2.4 Cyclisch warm/nat	20
3.3 Besluit uit verschillende testmethodes	20
3.4 Gebruikte testmethoden	21
4 Evaluatiemethodes	23
4.1 <i>Pull off</i> evaluatie test	23
4.1.1 Selecteren van <i>dolly</i>	24

4.1.2	Plaatsen van <i>dolly</i> .....	24
4.1.3	<i>Pull off</i> toestel .....	26
4.1.4	Uitvoeren van test.....	26
4.1.5	Manier van falen .....	27
4.2	Krastest.....	28
4.2.1	Het krastoestel .....	29
4.2.2	Plaatsen van de kras.....	30
4.2.3	Reinigen van de kras.....	32
4.2.4	Evaluëren van de kras .....	33
4.3	Wegen van testplaatjes .....	34
4.4	Evaluëren volgens Marintek.....	34
4.4.1	Laag voltage gaatjes detector .....	35
4.4.2	Flexibiliteit test.....	35
4.5	Evaluëren van roest en blarenvorming .....	36
4.6	Gebruikte evaluatie methoden .....	37
5	Praktische uitvoering .....	39
5.1	Vorbereiden testplaatjes .....	39
5.1.1	Oppervlakte voorbereiding .....	39
5.1.2	Aanbrengen van de coating .....	40
5.1.3	Wegen van de testplaatjes.....	41
5.1.4	Opmeten van de verfdikte .....	42
5.1.5	Aanbrengen van kras.....	43
5.1.6	Tussentijdse metingen .....	44
5.2	Aanmaken zoutoplossing.....	45
5.2.1	Aanmaken zoutwater voor cyclisch drogen/vernevelen .....	45
5.2.2	Aanmaken van artificieel zoutwater volgens ASTM D1141-98.....	45
5.2.2.1	Aanmaken stock oplossing één.....	46
5.2.2.2	Aanmaken stock oplossing twee.....	47
5.3	Testmethoden .....	47
5.3.1	Cyclisch drogen/vernevelen .....	48
5.3.2	Onderdompelingsmethode .....	48
5.3.3	AMACORT CIFD – 01.....	49
6	Analyse resultaten .....	51

6.1	Analyse van het cyclisch drogen/vernevelen en volledige onderdompeling.....	51
6.1.1	Evaluatie van de gewichten.....	52
6.1.2	Evaluatie van de kras.....	56
6.1.2.1	Visueel verloop van de kras .....	57
6.1.2.2	Resultaat na het evalueren van de kras.....	59
6.1.3	<i>Pull off test</i> evaluatie.....	60
6.1.3.1	Resultaat <i>pull off test</i> .....	62
6.1.3.2	Visueel verloop van geverfde plaatjes .....	65
6.2	AMACORT CIFD - 01 testmethode .....	66
6.2.1	Evaluatie van het gewicht .....	67
6.2.2	Evaluatie van de kras.....	69
6.2.3	<i>Pull off test</i> evaluatie.....	70
6.3	Vergelijken van de verschillende testen.....	72
6.3.1	Vergelijken van de gewichten .....	73
6.3.2	Vergelijken van de kras .....	77
6.3.3	Vergelijking <i>pull off test</i> .....	78
7	Conclusie .....	81
	Bibliografie .....	83
	Lijst van bijlage .....	89



# Lijst van figuren

<b>Figuur 1</b>	Testopstelling gesimuleerde ballast tank condities.....	12
<b>Figuur 2</b>	Testopstelling condensatiekamer test.....	14
<b>Figuur 3</b>	Opstelling Kesternich test.....	17
<b>Figuur 4</b>	<i>Q - fog</i> testcabine.....	18
<b>Figuur 5</b>	Pull off test.....	23
<b>Figuur 6</b>	Verschillende maten van <i>dolly's</i> .....	24
<b>Figuur 7</b>	<i>Dolly</i> op oneffen oppervlak.....	25
<b>Figuur 8</b>	Mal voor het plaatsen van <i>dolly's</i> .....	25
<b>Figuur 9</b>	Manueel en automatisch <i>pull off</i> toestel.....	26
<b>Figuur 10</b>	Krabber voor het losmaken van verf.....	27
<b>Figuur 11</b>	<i>Adhesive failure, cohesive failure</i> en <i>glue failure</i> .....	28
<b>Figuur 12</b>	V en U vorm van kras .....	29
<b>Figuur 13</b>	Krastoestel VF8605 – TYPE CC3000.....	30
<b>Figuur 14</b>	X-vormig, T-vormig en verticale enkele lijn.....	31
<b>Figuur 15</b>	Mal, houten lat en gebruikte krastoestel.....	32
<b>Figuur 16</b>	Opdeling van de kras .....	33
<b>Figuur 17</b>	Tabel om gemiddelde kruip om te zetten in een rating .....	34
<b>Figuur 18</b>	Laag voltage gaatjes detector .....	35
<b>Figuur 19</b>	Flexibiliteit test.....	36
<b>Figuur 20</b>	Aanbrengen van verf (laag één) .....	40
<b>Figuur 21</b>	Opmeten temperatuur testplaatjes .....	41
<b>Figuur 22</b>	Opmeten verfdikte .....	43
<b>Figuur 23</b>	Mal voor aanbrengen van kras.....	43
<b>Figuur 24</b>	Aangebrachte kras.....	44
<b>Figuur 25</b>	Opstelling tussentijdse foto's.....	44
<b>Figuur 26</b>	Opstelling onderdompelingsmethode .....	49
<b>Figuur 27</b>	Procentuele verandering in gewicht voor alle plaatjes uit volledige onderdompeling en cyclisch drogen/vernevelen.....	52

<b>Figuur 28</b>	Grafiek met procentuele verandering in gewicht t.o.v. de beginsituatie uit onderdompeling en cyclisch drogen/vernevelen.....	53
<b>Figuur 29</b>	Verloop blanco plaatje uit cyclisch drogen/vernevelen (982954) .....	55
<b>Figuur 30</b>	Verloop blanco plaatje uit onderdompeling (982482).....	55
<b>Figuur 31</b>	Verloop kras uit onderdompeling (982471).....	58
<b>Figuur 32</b>	Verloop kras tijdens cyclisch drogen/vernevelen (982489).....	58
<b>Figuur 33</b>	Patroon opmetingen verfdikte.....	61
<b>Figuur 34</b>	<i>Pull off test</i> uitgevoerd op plaatje 982959 (Q-fog) .....	62
<b>Figuur 35</b>	Foto's na het afnemen van <i>pull off test</i> (onderdompeling 982478)(cyclisch drogen/vernevelen 982952) .....	64
<b>Figuur 36</b>	<i>Dolly's</i> na <i>pull off test</i> (onderdompeling 982478) (cyclisch drogen/vernevelen 982952) .....	64
<b>Figuur 37</b>	Visueel verloop geverfd plaatje uit onderdompeling (982477) .....	65
<b>Figuur 38</b>	Visueel verloop geverfd plaatje uit cyclisch drogen/vernevel (982961) .....	66
<b>Figuur 39</b>	Gemiddelde procentuele verandering van gewicht uit AMACORT CIFD - 01 ....	67
<b>Figuur 40</b>	Visueel verloop blanco plaatje uit AMACORT CIFD – 01 (982958) .....	68
<b>Figuur 41</b>	Visueel verloop kras op plaatje uit AMACORT CIFD – 01 (982969) .....	70
<b>Figuur 42</b>	Visueel verloop geverfde plaatje uit AMACORT CIFD – 01 (982962).....	71
<b>Figuur 43</b>	Plaatje uit AMACORT CIFD – 01 en bijhorende <i>dolly's</i> na afnemen <i>pull off test</i> (982962) .....	72
<b>Figuur 44</b>	Procentueel verloop van de gewichten van blanco plaatjes uit de verschillende testmethoden.....	73
<b>Figuur 45</b>	Blanco plaatjes na afloop van testperiode (onderdompeling 982482, cyclisch drogen/vernevelen 982954, AMACORT CIFD – 01 982958) .....	74
<b>Figuur 46</b>	Blanco plaatjes na stralen (onderdompeling 982482, cyclisch drogen/vernevelen 982943, AMACORT CIFD – 01 982957) .....	76
<b>Figuur 47</b>	Stukken corrosie afkomstig van plaatjes uit cyclisch drogen/vernevelen .....	76
<b>Figuur 48</b>	Krassen na afloop testperiode uit de drie verschillende testmethoden (onderdompeling 982471, cyclisch drogen/vernevelen 982489, AMACORT CIFD – 01 982969) .....	78
<b>Figuur 49</b>	Geverfde plaatjes na afloop testperiode (onderdompeling 982477, cyclisch drogen/vernevelen 982961, AMACORT CIFD – 01 982962) .....	80



# Lijst van tabellen

<b>Tabel 1</b>	Testcriteria gesimuleerde ballast tank condities .....	13
<b>Tabel 2</b>	Testcriteria condensatiekamer test .....	14
<b>Tabel 3</b>	Testcriteria Marintek .....	15
<b>Tabel 4</b>	Testcriteria Field exposure test .....	16
<b>Tabel 5</b>	Minima, maxima en gemiddelde gewichten testplaatjes.....	42
<b>Tabel 6</b>	Minima, maxima en gemiddelde opgemeten verfdiktes.....	42
<b>Tabel 7</b>	Gebruikte hoeveelheden voor oceaan water .....	46
<b>Tabel 8</b>	Hoeveelheden stock één.....	47
<b>Tabel 9</b>	Hoeveelheden stock twee.....	47
<b>Tabel 10</b>	Minimale, gemiddelde en maximale verandering in gewicht van blanco plaatjes uit onderdompeling en cyclisch drogen/vernevelen .....	54
<b>Tabel 11</b>	Gemiddelde waarden voor minima, maxima, 15 opmetingen (L&R) en rating voor krassen uit volledige onderdompeling en cyclisch drogen/vernevelen .....	59
<b>Tabel 12</b>	Gemiddelde resultaten <i>pull off</i> test MPa uit volledige onderdompeling en cyclisch drogen/vernevelen.....	63
<b>Tabel 13</b>	Gemiddelde manier van falen <i>pull off test</i> van volledige onderdompeling en cyclisch drogen/vernevelen .....	64
<b>Tabel 14</b>	Minimale, gemiddelde en maximale verandering in gewicht tussen begin en einde testperiode .....	68
<b>Tabel 15</b>	Gemiddelde waarden voor minima, maxima, 15 opmetingen (L&R) en rating voor krassen uit AMACORT CIFD - 01 .....	69
<b>Tabel 16</b>	Gemiddeld resultaat van <i>pull off test</i> uit AMACORT CIFD - 01.....	71
<b>Tabel 17</b>	Gemiddelde manier van falen <i>pull off test</i> uit AMACORT CIFD - 01.....	72
<b>Tabel 18</b>	Gewichten van drie blanco plaatjes uit de drie verschillende testen voor en na stralen .....	75
<b>Tabel 19</b>	Gemiddelde rating van krassen uit verschillende testmethoden.....	77
<b>Tabel 20</b>	Gemiddelde resultaten van <i>pull off</i> testen uit de verschillende testmethoden ...	79





# Afkortingen

PSPC<sub>15</sub>: *Performance Standards for Protective coatings for dedicated seawater ballast tanks in all types of ships and double-side spaces of bulk carriers*

SOLAS: *Safety Of Life At Sea*

IMO: *International Maritime Organisation*

IACS: *International Association of Classification Societies*

MSC: *Maritime Safety Committee*

ISO: *International Organisation for Standardisation*

µm: micrometer,  $10^{-6}$  meter

GH50: Straalgrit van de hoogste hardheid, het getal refereert naar de korrelgrootte

mm: millimeter,  $10^{-3}$  meter

SE: *Standard Error*, de standaard afwijking van het steekproefgemiddelde



# Verklarende woordenlijst

<i>Shop primer:</i>	een tijdelijke beschermlaag/grondlaag op het staal aangebracht op de scheepswerf
<i>Adhesive failure:</i>	het falen tussen de verf en het testplaatje
<i>Cohesive failure:</i>	het falen van verflagen onderling
Kruip:	afstand gemeten van de kras tot aan de grens van corrosie en coating
<i>Field exposure:</i>	een proef uitgevoerd in dagelijkse gebruik
<i>Thick-film cracking:</i>	het scheuren of barsten van de verflaag
<i>Au-bain marie:</i>	het plaatsen van een kom in een waterbad waarvan de temperatuur geregeld kan worden
<i>Dolly:</i>	object dat vastgelijmd wordt op het test oppervlak tijdens de <i>pull-off test</i>
<i>Rating:</i>	cijfer toekennen op basis van meetwaarden, gebruikt bij het evalueren van de kras



# Werkverdeling

Dit onderzoek is een samenwerking tussen twee laatstejaars studenten. Zowel de literatuurstudie, de voorbereiding en uitvoering van de testen alsook het verwerken van de verkregen data hebben we samen gedaan. Er is een goede verstandverhouding tussen ons en er werd bijna uitsluitend zij aan zij gewerkt aan dit onderzoek. Indien een tekst apart werd geschreven, werd deze nadien grondig samen overlopen en aangepast waar nodig. Hoofdstuk 1 werd door Rob geschreven en verbeterd door Maarten. Hoofdstuk 2 en 3 werden samen geschreven. Hoofdstuk 4 werd dan weer geschreven door Maarten en verbeterd door Rob. Hoofdstuk 5 en 6 werden door Maarten geschreven en de grafieken en tabellen uit hoofdstuk 6 werden opgemaakt door Rob. Uiteraard werd voor het schrijven van de conclusie alles samen bekeken en verbaal overlegd wat de data ons vertelde. Zo werden de lijnen uitgezet van wat er zeker in moest komen. De lay-out is verzorgd door Maarten en bronvermelding werd altijd bijgehouden en ingevuld door Rob.

# Inleiding

## Doelstelling

Deze scriptie beschrijft in eerste instantie bestaande corrosie versnellende blootstellingstesten voor ballast tank coatings aan de hand van een literatuurstudie. Dit om verschillende testmethodes met elkaar te vergelijken en te zien in hoeverre ze representatief zijn voor de praktijk. Corrosie versnellende testen hebben immers tot doel om de performantie/werking van een coating te beoordelen. In een volgende fase worden er zelf drie testen uitgevoerd: zijnde het cyclisch drogen/vernevelen, een volledige onderdompeling en tot slot een combinatie van beide. De combinatie van beide is geen officiële testmethode, maar uitgaande van de situatie aan boord van een tanker wel representatiever voor de praktijk. Deze laatste test heeft de naam AMACART CIFD – 01. De resultaten van de drie testmethoden zullen naast elkaar gelegd worden en het resultaat van het combineren zal worden geëvalueerd.

## Inhoud

Na een inleidend hoofdstuk starten we in hoofdstuk twee met de bestaande reglementering rond coatings in het maritieme milieu. Vervolgens zullen we bestaande corrosie versnellende testen voor ballast tank coatings bespreken en vergelijken. Om een brede kijk op het onderwerp te verkrijgen zal er ook naar de offshore- industrie gekeken worden. Hier zal duidelijk worden dat bestaande testen zeer uiteenlopend zijn met elk hun eigen opgelegde criteria. Het vinden van bestaande testmethodes met voldoende gegevens, om deze vervolgens onderling te kunnen vergelijken, vormde zeker en vast een moeilijkheid in dit onderzoek. Aansluitend aan de beschreven testmethodes zullen ook de bijhorende evaluatiemethodes bekeken worden in hoofdstuk vier.

Vanaf hoofdstuk vijf zal de focus liggen op het eigen onderzoek en de daarbij gebruikte werkwijze. Alle doorlopen stappen, van de voorbereiding tot de tussentijdse metingen, zullen hier chronologisch beschreven worden. Na het afronden van de drie testen zullen de evaluaties van de testplaatjes besproken worden in hoofdstuk zes.

Hier zullen ook de gebruikte testmethoden met elkaar vergeleken worden en kijken we of het combineren van beide testen een verschil oplevert. Uiteindelijk sluiten we dit onderzoek af met een conclusie in hoofdstuk zeven.



# 1 Ballast tanks en hun bijhorende coating

## 1.1 Het gebruik van ballast tanks aan boord van schepen

Aan boord van schepen wordt ballast gebruikt voor verschillende doeleinden. Enerzijds voor het regelen van trim en list, anderzijds om een betere stabiliteit te verkrijgen. Doorheen de jaren is de soort van ballast aan boord van schepen veranderd. Voor 1880 maakte men gebruik van specifieke ruimtes die gevuld waren met vaste stoffen, zoals bijvoorbeeld zandzakken of stenen. Nadien schakelde men over naar het gebruik van water als ballast (National Research Council, 1996).

Wanneer een schip geen lading aan boord heeft, zal vaak de diepgang onvoldoende zijn om voldoende stabiliteit te waarborgen en om de propeller volledig onder de waterlijn te krijgen. Een propeller die zich niet volledig onderwater bevindt is nefast voor het verbruik van het schip alsook voor de efficiëntie van de propeller. Door in deze situatie ballast aan boord te nemen kan men ervoor zorgen dat de propeller zich steeds voldoende diep onder de waterlijn bevindt. Niet enkel de propeller maar ook het roer zal dan beter presteren, en dus zal het schip beter manoeuvreerbaar zijn.

Ballast tanks kunnen zich op verschillende plaatsen aan boord bevinden, voornamelijk in de dubbele bodem en de dubbele huid. Tankers gebouwd na 1996 zullen, verplicht door de MARPOL Annex 1 regel 19, voorzien moeten zijn van een dubbele romp. Wanneer een schip voorzien is van een *hopper tank* of een *top side tank*, kan deze ook als ballast tank gebruikt worden (Wankhebe, 2021).

## 1.2 Soorten ballast tank coating

De IMO heeft in de PSPC<sub>15</sub>, *Performance Standards for Protective Coatings*, verschillende voorwaarden opgesteld. Eén van deze voorwaarden is dat alle coatings moeten bestaan uit een epoxy basis of een alternatief systeem. Een alternatief systeem zijn alle systemen die geen epoxy basis hebben. Alle soorten moeten voldoen aan dezelfde voorwaarden beschreven in hoofdstuk 2.1. Er bestaan verschillende systemen met een epoxy basis, zo zijn er pure epoxy

systemen, aangepaste epoxy systemen en oplosmiddelvrije epoxy systemen (Eliasson & Towers, 2007).

Bij de aangepaste epoxy systemen zijn er ruwe materialen toegevoegd om zo de karakteristieken van de verf aan te passen. Een voorbeeld van ruwe materialen die worden toegevoegd zijn bijvoorbeeld steenkool en teer.

De pure epoxy systemen zijn de opvolgers van de aangepaste epoxy systemen en worden vandaag de dag nog steeds gebruikt. Bij dit verfsysteem is er niets aangepast aan de bestanddelen van de verf. Hier zullen de verschillende componenten met de juiste mengverhouding gemengd moeten worden.

De laatste jaren wordt er, vooral in Europa, meer en meer gebruik gemaakt van oplosmiddelvrije epoxy systemen om een coating te plaatsen in ballast tanks. Deze epoxy systemen worden al jaren wereldwijd gebruikt in tanks bedoeld voor proper water. Het zijn verfsystemen waarbij weinig of geen oplosmiddelen in verwerkt zijn (Aamodt, Guy, & Kattan, 2021). Er is hiervoor geen vaste definitie, sommige bronnen veronderstellen dat er geen oplosmiddel aanwezig mag zijn terwijl andere bronnen verklaren dat dit beperkt moet worden tot vijf procent (Corrosionpedia, 2015). Doordat er geen gebruik wordt gemaakt van een oplosmiddel zorgt de hogere viscositeit vaak voor problemen wanneer men de verf wilt aanbrengen doormiddel van spuitapparatuur. Het gebruik van oplosmiddelvrije verfsystemen wordt vooral aangeraden in Europa, dit door de *Solvent Emissions Directive (SED)*, die grenswaarden en reductieschema's opstellen om het gebruik van oplosmiddelen te verminderen. Het gebruik van dergelijke verfsystemen is niet alleen beter voor het milieu maar ook beter voor de gezondheid van het personeel dat de verf zal aanbrengen in een ballast tank (European Commission, 2019).

### 1.3 Corrosie en ballast tanks

Corrosie is een wereldwijd probleem dat door iedereen gekend en gevreesd is als het gaat om metalen constructies of onderdelen. Volgens de *World Corrosion Organization (WCO)* is de jaarlijkse wereldwijde kost van corrosie zo'n 3.3 biljoen dollar. Zonder onderzoek naar corrosie zou dit bedrag uiteraard nog veel hoger liggen (Admin, 2020).

Metalen constructies komen overal voor, al zal de ene gevoeliger zijn aan corrosie dan de andere. De meeste constructies zullen worden beschermd door verf. Additioneel kan ook nog gebruik gemaakt worden van kathodische bescherming. Vooral bij zeeschepen is corrosie een groot probleem omdat ze zich voornamelijk in een agressief en corrosief milieu bevinden. Het beperken van corrosie aan boord is een aanhoudende zorg. De applicatie van verf als ook het onderhoud van de scheepsstructuur zorgen voor een hoge kost. De maat van bescherming tegen corrosie hangt vaak af van de bereikbaarheid en hoe goed dat personeel de beschermende coating kan aanbrengen. Doordat ballast tanks vaak moeilijk bereikbare, gesloten ruimten zijn is het aanbrengen van een beschermende coating hier niet eenvoudig (De Baere e.a., 2012). Ook moeten coatings aangebracht worden onder bepaalde condities. Zijnde de optimale omgevingsfactoren zoals temperatuur en luchtvochtigheid. Maar ook moet het oppervlak ruw worden gemaakt, door bijvoorbeeld te zandstralen, om zo een betere hechting van de coating te verkrijgen. Om overtollig onderhoud te beperken is het van belang dat de applicatie van de beschermende coating correct verloopt volgens de opgelegde condities.



## 2 Reglementering van coatings in ballast tanks

### 2.1 PSPC<sub>15</sub>

De *Safety Of Life At Sea*, afgekort SOLAS, conventie wordt beschouwd als de belangrijkste van alle internationale verdragen betreffende de veiligheid van mensenlevens op zee en omvat aldus eisen voor schepen op zee. Deze conventie werd voor het eerst opgesteld in 1914, als reactie op de ramp met de Titanic (IMO, 1974). Doorheen de jaren zijn verschillende verbeteringen aan deze conventie aangebracht. Op 8 december 2006 zijn er door de IMO wijzigingen aangebracht door middel van MSC resolutie 215(82). De zogenaamde *Performance Standards for Protective coatings for dedicated seawater ballast tanks in all types of ships and double-side spaces of bulk carriers* (PSPC<sub>15</sub>). Dit zijn standaarden en reglementeringen voor coatings in zeewater ballast tanks en dubbelwandige ruimtes. De standaarden omschreven zijn van toepassing voor zeewater ballast tanks aanwezig op schepen van minimum 500 bruto tonnage en dubbelwandige ruimtes aan boord van vrachtschepen met een lengte van minimum 150 meter (The Maritime Safety Committee, 2006).

De code vereist dat de gebruikte verf gedurende een periode van vijftien jaar in een goede conditie blijft (Wei, Eliasson, Jansen, Wang, & Basu, 2011). Dit houdt in dat roestvlekken op het oppervlak beperkt blijven tot maximaal drie procent, zonder visuele tekortkoming van de coating. De aanwezige randen en lasnaden mogen maximaal tot twintig procent door roest zijn aangetast. Ook mag er nergens harde roestaanslag aanwezig zijn, dit zijn opgehoopte roestlagen die zich aan het oppervlak hechten (IACS, 2021). In dit onderzoek zal de focus gelegd worden op de roestvorming op het oppervlak en niet op de randen en lasnaden.

De goede levensduur is afhankelijk van de manier van aanbrengen (Willemen, Luyckx, Meskens, Lenaerts, & De Baere, 2020). Voorafgaand aan het verven ondergaat de oppervlakte voorbereidende behandelingen. Dit zijn de primaire oppervlaktebehandeling gevolgd door de secundaire. De primaire behandeling wordt toegepast op losse eenheden. Na assemblage tot één geheel kan de secundaire behandeling toegepast worden. In de primaire behandeling

moet er bijvoorbeeld gereinigd worden tot Sa 2 ½<sup>1</sup> en de uiteindelijke oppervlakte ruwheid moet tussen de 30 en de 75µm liggen. Het vervolgens aanbrengen van de *shop primer* moet uitgevoerd worden bij een relatieve vochtigheid boven 85 procent en een oppervlaktetemperatuur van maximaal drie graden boven het dauwpunt van de omgeving. Tijdens de secundaire behandeling wordt de eventuele beschadigde *shop primer* gereinigd volgens de standaard Sa 2 ½. Oppervlaktes waarop de *shop primer* in goed conditie verkeerd kunnen onbehandeld blijven gedurende de secundaire behandeling (Wei e.a., 2011) (The Maritime Safety Committee, 2006).

Wanneer meerdere lagen epoxy verf worden aangebracht is het gebruik van kleurverschillen door de code aangeraden. De bovenste verflaag moet van een lichtere kleur zijn om de inspectie te vergemakkelijken. Er moeten minstens twee lagen aangebracht worden, de dikte van elke laag is niet gespecificeerd, zolang de totale dikte voldoet aan de vereisten. Na uitharding moet een minimum dikte van 320µm verf aanwezig zijn en de totale oppervlakte moet voldoen aan de 90/10 regel. Dit wil zeggen dat 90 procent van de oppervlakte moet voldoen aan de opgegeven dikte. Op de overige 10 procent zal een minimale dikte van 288µm aanwezig moeten zijn. Dit is 90 procent van de op voorhand opgelegde verfdikte (The Maritime Safety Committee, 2006).

## 2.2 Coatings gebruikt in het maritiem milieu

Ballast tanks kunnen voorzien worden van een epoxy coating. Deze verf bestaat uit twee componenten: hars en verharder. Wanneer beide componenten samengevoegd worden zal het uithardingsproces in werking treden. Het gebruik van epoxy zal een egaal, waterafstotend eindresultaat geven dat bestand is tegen hoge temperaturen en meerdere chemische stoffen. Wanneer uitgehard zal de epoxy coating een duurzame beschermlaag vormen die bij impact niet zal barsten (Zwirner Equipment Company, 2016).

De *International Association of Classification Societies* (IACS) verlangt dat ballast tanks voorzien zijn van een beschermende coating. Verdere standaarden en waarden zijn niet door de IACS opgesteld. Dit is overgelaten aan leden geassocieerd aan de IACS. Germanischer Lloyd

---

<sup>1</sup> Sa 2 ½: Zeer grondige straalreiniging. Gekozen uit een Sa schaal van 1 tot en met 3, waarbij 1 staat voor een lichte straalreiniging en 3 voor reiniging tot zuiver staal (HMG Paints Ltd, 2021).

is onder andere één van de leden geassocieerd met de IACS. Germanischer Lloyd heeft eigen standaarden opgesteld waaraan coatings, gebruikt op de door hun geclassificeerde schepen, moeten voldoen. Coatings worden onafhankelijk van de fabrikant getest. Goedgekeurde coatings worden aan de *Germanischer Lloyd type approved seawater ballast tank coating list* toegevoegd (Lohmann & Engel, 2007).

De classificatiemaatschappijen stellen hun eigen goedkeuringschema op, gebaseerd op verschillende procedures en voorwaarden voorgeschreven in de volgende documenten;

- IMO Resolutie MSC.215(82)
- IMO MSC.1/Circ.1465
- IACS UI SC 223, IACS Recommendations No.101 & 102
- IACS UI SC 223, IACS Recommendations No.102

De goedkeuring van de coating bestudeert enkel de performantie van de coating en niet de toxiciteit, besmetting, vervuiling en technische eigenschappen omtrent brandbaarheid.

De testen kunnen op verschillende locaties worden uitgevoerd. In het labo van de classificatiemaatschappij zelf of in een door de classificatiemaatschappij erkend, onafhankelijk labo. Een derde optie is bij de fabrikant van de coating zelf, de testen zullen dan wel bijgewoond worden door een deskundige (DNVGL, 2017).

Bijvoorbeeld epoxy verven als de *PPG Sigmacover 380* en de *Hempel Hempadur 45141/45143* zijn goedgekeurd door Germanischer Lloyd (Hempel, 2007). Laatstgenoemde verf is aan ons ter beschikking gesteld voor het uitvoeren van onze proeven.

In een verder hoofdstuk zullen verschillende corrosie versnellende testmethodes beschreven staan die gebruikt worden om een coating te evalueren. We maken een onderscheid tussen testen voor coatings gebruikt in ballast tanks en testen voor coatings die specifiek in de offshore worden toegepast.





## 3 Testmethodes gebruikt voor ballast tank coatings

### 3.1 Testmethodes gebruikt voor coatings in ballast tanks

Er bestaan meerdere testmethodes om de resistentie tegen corrosie te meten van coatings gebruikt om ballast tanks te beschermen. Hieronder zullen we er enkele bespreken en nadien vergelijken met testmethodes specifiek voor de offshore industrie.

#### 3.1.1 Test op gesimuleerde ballast tank condities & condensatiekamer test

Een eerste methode bestaat uit twee afzonderlijke testen, IMO *resolution* MSC.215(82) Annex 1 Appendix 1 *Test on simulated ballast tank conditions* en IMO *resolution* MSC.215(82) Annex 1 Appendix 2 *Condensation chamber test*. Beide testen moeten uitgevoerd worden op ballast tank coatings.

Voor coatings die enkel gebruikt worden in dubbele ruimtes van schepen, volstaat het om enkel de condensatiekamer test uit te voeren (DNVGL, 2017).

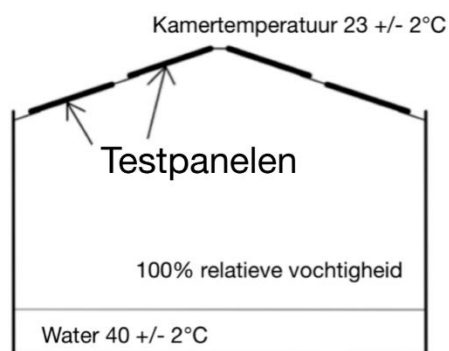
#### **Test op gesimuleerde ballast tank condities**

Gedurende de test op gesimuleerde ballast tank condities zullen test plaatjes in een testcabine geplaatst worden, zie figuur 1. De plaatjes zullen elk aan een verschillend milieu worden blootgesteld doorheen de testperiode.

De test moet voldoen aan verschillende voorwaarden, zijnde;

- Testduur bedraagt 180 dagen.
- Uitgevoerd op vijf testpanelen, met afmetingen 200mm x 400mm x 3mm.
- Paneel drie en vier zijn voorzien van een U-profiel, vast gelast op 120mm van één van de korte zijdes en 80mm van één van de lange zijdes.
- Testpanelen voorbereidt en gecoat volgens de PSPC<sub>15</sub> richtlijnen.
- Achterzijde van testpanelen moeten voorzien zijn van een coating om de testresultaten niet te beïnvloeden.

- De test procedure zal twee weken met natuurlijk of artificieel zeewater lopen, gevolgd door één week zonder. Het gebruikte zeewater moet een temperatuur van 40°C behouden.
- Testpaneel één zal gedurende twaalf uur verwarmd worden tot 50°C, vervolgens twaalf uur op twintig graden Celsius. Het paneel zal om de drie seconden, of sneller, bespat worden met het zeewater om het effect van rollen en stampen van het schip te simuleren. Deck omstandigheden worden zo nagebootst. Over de breedte van het paneel zal een kras aangebracht worden.
- Testpaneel twee moet voorzien zijn van een opofferingszinkanode om het effect van kathodische bescherming te simuleren. Een sensor zal op 100mm van de anode bevestigd zijn om het effect ervan te evalueren. Het paneel zal afwisselend ondergedompeld worden in het zeewater.
- Testpaneel drie wordt via de achterzijde afgekoeld tot een temperatuur van ongeveer twintig graden Celsius. Het paneel zal ook bespat worden volgens hetzelfde patroon als testpaneel één. Een kras moet aangebracht worden over de gehele breedte van het paneel.
- Testpaneel vier ondergaat enkel de bespat cyclus, zoals omschreven bij testpaneel één. Het paneel is wederom voorzien van een kras over de gehele breedte.
- Testpaneel vijf ligt gedurende de volledige testperiode droog bij een temperatuur van 70°C.



**Figuur 1** Testopstelling gesimuleerde ballast tank condities

Bewerkt van bron: The Maritime Safety Committee, 2006

Na het verloop van de test moeten de testplaatjes aan de volgende eisen voldoen (The Maritime Safety Committee, 2006).

**Tabel 1** Testcriteria gesimuleerde ballast tank condities

Bewerkt van bron: The Maritime Safety Committee, 2006

Eigenschap	Accepteerbare criteria
Blarenvorming	Geen
Roestvorming	Ri 0 (0%)
Aantal gaatjes	0
<i>Adhesive failure</i>	> 3,5 MPa, voor 60% van het oppervlak
<i>Cohesive failure</i>	≥ 3 MPa, voor 40% of meer van het oppervlak
Kathodische bescherming: gebruikt van stroom, berekent door het gewichtsverlies	< 5 mA/m <sup>2</sup>
Kathodische bescherming: maat van ontbinding	< 8 mm
Onderliggende snede door krastest <sup>2</sup>	< 8 mm
U-profiel	Geen defecten, barsten of loskomen

### Condensatiekamer test

In deze test zullen twee test plaatjes gedurende 180 dagen worden blootgesteld aan condensatie. Dit door gebruik te maken van de opstelling weergegeven in figuur 2.

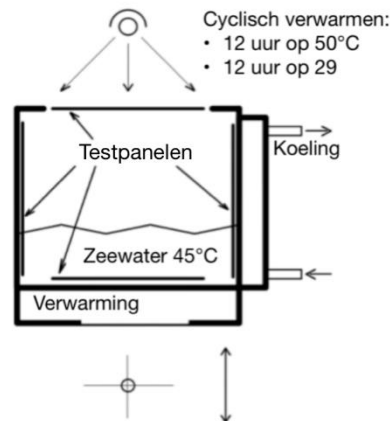
Test condities;

- Twee testpanelen ondergaan een testperiode van 180 dagen.
- Afmetingen van testpanelen bedragen 150mm x 150mm x 3mm.
- Testpanelen voorbereidt en gecoat volgens de PSPC<sub>15</sub> richtlijnen.
- Achterzijde van testpanelen moeten voorzien zijn van een coating om de testresultaten niet te beïnvloeden.

---

<sup>2</sup> De onderliggende snede door krastest: de afstand van de kras tot de grens van corrosie en de coating.

- Kamertemperatuur bedraagt 23°C, binnenin de testopstelling moet een relatieve vochtigheid van 100% aanwezig zijn. Het gebruikte water zal een temperatuur van 45°C hebben.



**Figuur 2** Testopstelling condensatiekamer test

Bewerkt van bron: The Maritime Safety Committee, 2006

Een coating die deze testmethode heeft ondergaan zal aan volgende eisen moeten voldoen (The Maritime Safety Committee, 2006).

**Tabel 2** Testcriteria condensatiekamer test

Bewerkt van bron: The Maritime Safety Committee, 2006

Eigenschap	Accepteerbare criteria
Blarenvorming	Geen
Roestvorming	Ri 0 (0%)
Aantal gaatjes	0
<i>Adhesive failure</i>	> 3,5 MPa, voor 60% van het oppervlak
<i>Cohesive failure</i>	≥ 3 MPa, voor 40% of meer van het oppervlak

### 3.1.2 Marintek testmethode

De testmethode Marintek is toepasbaar voor zowel ballast tank coatings als coatings voor dubbelwandige ruimtes. De volledige procedure is opgesteld door Marintek en maakt gebruik

van dezelfde procedures omschreven in 3.1.1. De test op gesimuleerde ballast tank condities en de condensatiekamer test, worden door Marintek omschreven als golftank test en blootstelling aan condensatiekamer test (DNVGL, 2017). Op voorhand worden de coatings opgedeeld in drie klassen: harde, half harde en zachte coatings. De verschillende klassen van coating worden elk apart beoordeeld. De harde coatings krijgen na de testmethode een rating gaande van B1 tot en met B6. De half harde coatings van C1 tot en met C6 en zachte coatings van A1 tot en met A6. Echter zullen enkel coatings met rating B1 goedgekeurd worden voor gebruik door de classificatiemaatschappij (Vold, 1997). In hoofdstuk vier zullen ook de evaluatiemethodes gebruikt door Marintek beschreven worden.

Coatings die de Marintek testmethode doorlopen hebben moeten aan volgende criteria voldoen om geclassificeerd te worden als B1 coating. En dus gebruikt te mogen worden in ballast tanks (Vold, 1997).

**Tabel 3** Testcriteria Marintek

Bewerkt van Bron: Vold, 1997

<b>Eigenschap</b>	<b>Accepteerbare criteria</b>
Blarenvorming	Geen
Roestvorming	Ri 0 (0%)

### 3.1.3 Werkveld blootstellingstest

Werkveld blootstellingstest is een testmethode toepasbaar voor zowel ballast tank coatings en coatings voor dubbelwandige ruimtes. Hierbij wordt er niet versneld, maar wordt de coating aangebracht in het werkveld ter evaluatie. De test verloopt volgens richtlijnen neergeschreven in IMO resolutie MSC.215(82) (Vold, 1997). De voorwaarden waaraan een schip moet voldoen om deze testmethode uit te voeren zijn; minstens één tank van 2.000m<sup>3</sup>, minstens één tank aangrenzend aan een verwarmbare laadruimte en minstens één tank dat blootgesteld is aan de zon. Ook moeten de ballast tanks regelmatig in gebruik zijn. De testperiode loopt gedurende vijf jaar. Na afloop van de testperiode moeten de ballast tanks in goede conditie verkeren (goede conditie: zie hoofdstuk 2) (Wei e.a., 2011).

**Tabel 4** Testcriteria *Field exposure test*

Bewerkt van bron: Wei e.a., 2011

<b>Eigenschap</b>	<b>Accepteerbare criteria</b>
Roestvorming	< 3% van het totale oppervlak

#### 3.1.4 Zoutneveltest

In de zoutneveltest worden plaatjes continu belast in een omgeving verzadigd met een zoutoplossing. Deze methode wordt vaak gekozen omdat het falen van de coating zich op relatief korte tijd zal voordoen. De testplaatjes moeten onder een verticale hoek van 15 tot 30 graden staan en allen parallel aan elkaar. Dit moet echter gebeuren zonder dat de plaatjes elkaar onderling raken, en vochtdruppels mogen niet van het ene plaatje op het andere terecht komen. Binnenin de testkamer moet een temperatuur van 35 graden Celsius behouden worden. De simulatie moet gedurende de volledige testperiode doorlopend in werking zijn. Enkel voor tussentijdse metingen mag deze onderbroken worden en dit voor maximaal 60 minuten (G01 Committee, 2021).

#### 3.1.5 Kesternich-testmethode

Een andere manier om corrosie te simuleren kan door gebruik te maken van een zwaveldioxide houdende atmosfeer. Dit door een specifieke installatie, weergegeven in figuur 3, te gebruiken. De testplaatjes worden op een hoogte van 200mm boven het water geplaatst, zonder elkaar onderling te raken. Vervolgens wordt de testkamer luchtdicht afgesloten. Na de afsluiting zal zwaveldioxide geïntroduceerd worden en de temperatuur verhoogd tot ongeveer 40°C. Door deze hoge temperatuur zal het water verdampen en condenseren op de plaatjes. De cyclus duurt acht uur waarna de kast weer wordt geopend zodat de ruimte op kamertemperatuur kan geraken. Na zestien uur zullen de resultaten onderzocht worden. De normen van deze resultaten zijn beschreven in ISO 4628 deel twee en drie (International Organization for Standardization, 2015, 2016). Op testplaatjes waar geen kras op aangebracht is, mag er na één cyclus geen effect zijn op de aangebrachte coating. Enkele witte vlekjes zijn

wel acceptabel. Op testplaatjes waar wel een kras op aangebracht is, mag er beperkte corrosie en blaasvorming aanwezig zijn. Hier zijn terug enkele witte plekken wel acceptabel (RD Coatings USA, 2013).



**Figuur 3** Opstelling Kesternich test

Bron: Metalogic, 2021

### 3.1.6 Cyclisch drogen/vernevelen

Het cyclisch drogen/vernevelen bootst een gecontroleerd corrosief milieu na, volgens standaarden beschreven in ASTM G85 (G01 Committee, 2009). Hier zullen de testplaatjes beneveld worden met zoutwater, afgewisseld door een droogfase. Gedurende drie uur zullen de testplaatjes verneveld worden op kamertemperatuur, gevolgd door een drie uur durende droogfase op 60°C. De plaatjes zullen opgesteld worden in de testcabine onder volgende eisen:

- Plaatsing onder een hoek tussen 6 en 45 graden, parallel aan elkaar.
- Een minimum ruimte tussen de plaatjes van 30mm.
- Zoutoplossing mag niet van het ene op het andere plaatje lekken.

De blootstelling aan cyclisch drogen/vernevelen kan met realiseren met behulp van een speciaal daarvoor ontworpen installatie, zoals geïllustreerd in figuur 4. Het gebruikte zeewater voor het vernevelen kan zowel volgens ASTM G85 aangemaakt worden conform ASTM B117-11 of ASTM D1141-98 *Standard Practice for the preparation of Substitute Ocean water*.



**Figuur 4** Q - fog testcabine

Bron: eigen werk

### 3.2 Testmethodes gebruikt voor ballast tank coatings in de offshore industrie

Net als voor ballast tank coatings bestaan er ook testen specifiek voor de offshore industrie. NACE TM0104-2004 *Offshore Platform Ballast Water Tank Coating System Evaluation* is een test protocol ontworpen voor de evaluatie van ballast tank coatings aan boord van offshore platformen. De testmethode bevat drie onderdelen: randretentie (*edge retention*), onderdompeling in zeewater (*sea water immersion resistance*) en kathodische ontbinding (*cathodic disbondment*) (Oriaifo, Perera, Guy, Leung, & Tan, 2014).

Randretentie onderzoekt of er voldoende beschermende coating aangebracht wordt op de randen. De randen en lasnaden zullen eerst mechanisch geslepen worden, zo kan nadien de coating beter en gladder aangebracht worden. Bijgevolg zal de coating op deze plaatsen langer meegaan en dus ook langer bescherming bieden tegen corrosie (Corrosionpedia, 2021a).

Bij de onderdompeling in zeewater zullen testplaatjes gedurende een bepaalde tijd ondergedompeld worden in artificieel zeewater. Eerst zullen de metalen plaatjes gereinigd worden tot Sa 2,5. Nadien zullen deze voorzien worden van een coating. De coating zal gedurende één week uitharden op kamertemperatuur. Uiteindelijk krijgen de testplaatjes een plaats in het artificieel zeewater. Dit water zal een temperatuur van 40°C hebben (Oriaifo e.a., 2014).



Kathodische ontbinding is een maat voor verlies van hechting tussen het metalen plaatje en zijn kathodische coating (Corrosionpedia, 2021b).

Ook omvat de NACE0104-2004 enkele testmodes voor coatings die gebruikt worden aan boord van *Floating Production Storage and Off-loading structures* (FPSO). Deze methodes zullen hieronder apart aan bod komen.

### 3.2.1 De dimensionale stabiliteit test

In deze testmethode zal nagegaan worden in hoeverre een coating zal krimpen of uitzetten bij volledige onderdompeling. Gedurende twaalf weken zullen de teststalen ondergedompeld worden in artificieel zeewater met een temperatuur van 40°C. Nadien zal het verschil in lengte, breedte alsook de massa opgemeten worden (Oriaifo e.a., 2014). Om te voldoen aan de opgelegde criteria mag er maximaal 0,75% verandering waargenomen worden (Mitchell & Nobel, 2008).

### 3.2.2 Veroudering stabiliteit test

Wederom zullen testpanelen (150mm \* 25mm) gedurende twaalf weken ondergedompeld worden in artificieel zeewater met een temperatuur van 40°C. Na de testperiode wordt de buigspanning van de plaatjes vergeleken met de buigspanning van plaatjes die de test niet hebben ondergaan (referentieplaatjes). Beide worden nadien met elkaar vergeleken (Oriaifo e.a., 2014). De verhouding van buigspanningen tussen de verouderde plaatjes en de referentie plaatjes zal meer dan 50% moeten bedragen om aan de criteria te voldoen (Mitchell & Nobel, 2008).

### 3.2.3 *Thick-Film cracking test*

Gedurende deze testmethode worden de teststukken ondergedompeld in artificieel zeewater, met een temperatuur van 40°C. Voor deze methode worden echter geen plaatjes gebruikt, de

testmethode zal worden uitgevoerd op een C-profiel (Oriaifo e.a., 2014). Na het doorlopen van de testmethode mogen er geen scheuren in de verf voorkomen (Mitchell & Nobel, 2008).

### 3.2.4 Cyclisch warm/nat

De cyclisch warm/nat procedure zal verlopen volgens de standaarden van ASTM G85. Testplaatjes zullen afwisselend worden blootgesteld aan drie uur drogen aan 60°C en drie uur een vochtige omgeving aan kamertemperatuur. Gebruikte testpanelen zullen voorafgaand voorzien worden van een kras (Oriaifo e.a., 2014). Na twaalf weken worden de kras testen geëvalueerd, er mag nergens een kruip van drie millimeter of meer waargenomen worden. Ook mag er geen teken van blarenvorming op het oppervlak aanwezig zijn (Mitchell & Nobel, 2008).

### 3.3 Besluit uit verschillende testmethodes

Als we de te behalen criteria van de testmethodes vergelijken zien we zowel gelijkenissen als uiteenlopende eisen. Bij de methoden gebruikt voor coatings van ballast tanks, niet offshore, zien we vaak dezelfde criteria terugkomen, zijnde geen blaren of roest -vorming. Ook worden de testplaatjes telkens maar blootgesteld aan één omgevingsconditie, bijvoorbeeld volledig ondergedompeld. In de realiteit komen er echter meerdere condities voor in een ballast tank. Zo zal deze regelmatig gevuld zijn maar ook regelmatig leeg. Een coating zal dus beoordeeld worden op basis van testresultaten behaald na een testmethode die niet representatief is voor de praktijk.

Wanneer we kijken naar de testmethoden voor ballast tanks in de offshore dan valt er op dat een verfproducent zijn verf meerdere testen zal laten ondergaan, en zo dus ook aan meerde criteria zal moeten voldoen.

### 3.4 Gebruikte testmethoden

In dit onderzoek zullen we gebruik maken van het cyclisch drogen/vernevelen en het volledig onderdompelen. We onderzoeken echter de testmethodes zelf en niet de performantie van een specifieke coating. De gebruikte methodes zijn hierdoor aangepaste versies van bestaande procedures. Zo zal het cyclisch drogen/vernevelen geen 180 dagen duren maar ingekort worden tot 2016 uur, wat neerkomt op 84 dagen. Ook bij de volledige onderdompeling zullen we afwijken van de oorspronkelijke testmethode. Zo zullen er aan het artificieel zeewater, samengesteld volgens ASTM D1141-98 *Standard Practice for the preparation of Substitute Ocean Water*, geen zware metalen worden toegevoegd.

In het eerste deel van dit onderzoek zullen in elke opstelling afzonderlijk vijftien testplaatjes geplaatst worden. Dit zijn niet geverfde plaatjes, geverfde plaatjes en geverfde plaatjes voorzien van een kras (*scribe*). We gebruiken van elk type vijf plaatjes per opstelling, wat neerkomt op vijftien plaatjes per test. Het gebruik maken van verschillende plaatjes laat ons toe om meerdere referentiewaarden te verkrijgen.

In het tweede deel van dit onderzoek zal een test opgestart worden die bestaat uit een combinatie van beide testmethoden. Zo zullen de plaatjes afwisselend het cyclisch drogen/vernevelen en de onderdompeling ondergaan. De testplaatjes zullen om de 72 uur van testopstelling wisselen. Op deze manier onderzoeken we een testmethode die al de verschillende situaties in een ballast tank omvat. De test zal onder de naam AMACORT CIFD – 01 worden uitgevoerd.



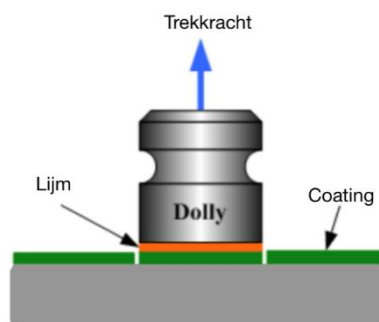
## 4 Evaluatiemethodes

Nadat testplaatjes een bepaalde testmethode hebben afgerond, is het tijd voor een evaluatie. Hiervoor bestaan verschillende methoden en testen. In de tekst hieronder zullen verschillende evaluatiemethodes besproken worden.

### 4.1 *Pull off* evaluatie test

Deze test zal de hechting tussen de coating en het testplaatje beproeven nadat het een bepaalde testmethode heeft doorstaan. Het resultaat van deze test zal een indicatie geven over de kwaliteit van de coating na blootgesteld te zijn geweest aan welbepaalde omstandigheden.

Bij de *Pull off* evaluatie methode, uitgevoerd volgens normen omschreven in ASTM D4541 en ISO 6424, zal een zogenoemde *dolly* vastgelijmd worden aan de coating. Weergegeven in figuur 5. Vervolgens zal door het *pull off* toestel een trekkracht uitgeoefend worden op de *dolly*, haaks op het plaatje. De kracht waarbij de *dolly* loskomt en de manier waarop, geven een maat van hechting tussen het plaatje en de coating weer (Fletcher & Barnes, 2015).



**Figuur 5** *Pull off* test

Bewerkt van bron: Kopeliovich, 2014

#### 4.1.1 Selecteren van *dolly*

Vooraleer aan een *pull off test* te beginnen moet men de gepaste maat van *dolly* kiezen. Er bestaan verschillende maten naargelang het oppervlak en de verwachte trekkracht, gaande van 10mm tot en met 50mm. Wanneer een lage kracht wordt verwacht en dus een slechte binding tussen de coating en het oppervlak, wordt een grotere maat van *dolly* gebruikt. Dit kan bijvoorbeeld zijn bij het testen van de hechting tussen een coating en een betonnen oppervlak. Wanneer men echter hoge waarden verwacht zal er een *dolly* gekozen worden met een kleinere diameter. Een kleinere *dolly* kan ook nodig zijn bij gebogen oppervlakten of kleine ruimten waar het gebruik van een grotere *dolly* niet mogelijk is. Algemeen is de *dolly* met een diameter van 20mm de meest gebruikte maat (Elcometer, 2020a).



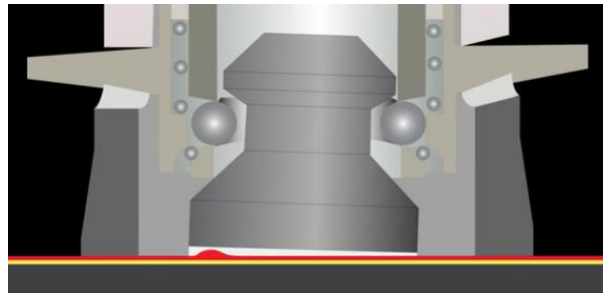
**Figuur 6** Verschillende maten van *dolly's*

Bron: Sunbelt, 2022

#### 4.1.2 Plaatsen van *dolly*

Alvorens de *dolly* te bevestigen op het oppervlak moet een geschikte plaats worden gezocht. De *dolly* moet geplaatst worden op een proper en egaal oppervlak. Een oneffen oppervlak zal ervoor zorgen dat de *dolly* niet loodrecht naar boven wordt getrokken, zoals zichtbaar in figuur

7. Ook moet er voldoende ruimte zijn rondom, zodat de bevestiging die over de *dolly* komt niet gehinderd wordt (Elcometer, 2020b).

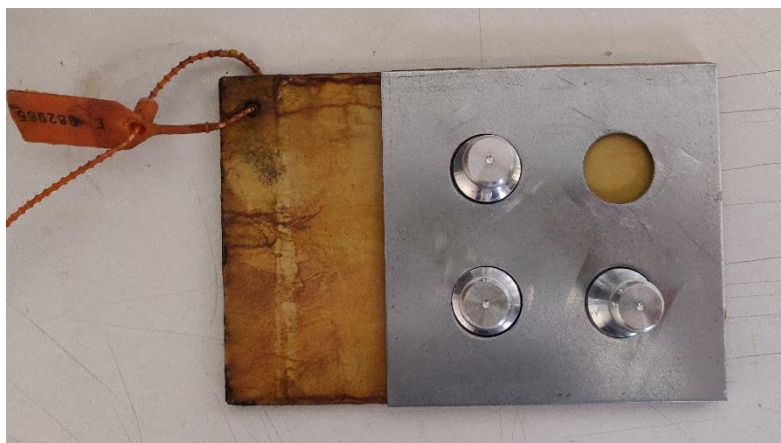


**Figuur 7** *Dolly op oneffen oppervlak*

Bron: Elcometer Inspection Equipment - Coating Industry, 2020

Nadat een geschikte locatie gekozen is kan het oppervlak worden voorbereid. Om te vermijden dat de lijm faalt, voordat de coating zelf faalt, zal het oppervlak en de *dolly* lichtjes worden opgeschuurd. Dit door enkele lichte passages over een schuurpapier zonder de randen van de *dolly* te beschadigen. Ook het geleverde oppervlak mag lichtjes worden opgeschuurd, dit echter wel zonder teveel de dikte van de coating te beïnvloeden. Nadien moeten beide oppervlakken gereinigd worden en ontvet (Elcometer, 2020b).

Wanneer de hierboven stappen zijn doorlopen kan gebruikte lijm aangebracht worden op de *dolly*. Om vervolgens op het te testen oppervlak te plaatsen en zachtjes te duwen. Overtollige lijm moet hierbij worden opgekuist. Indien er meerdere *dolly's* op hetzelfde oppervlak komen kan men gebruik maken van een mal, dit helpt om de *dolly's* op identieke en correcte locatie te plaatsen.



**Figuur 8** Mal voor het plaatsen van *dolly's*

Bron: eigen werk

#### 4.1.3 *Pull off* toestel

Er bestaan verschillende toestellen waarmee deze test kan worden uitgevoerd. Gaande van manuele tot volledig automatische toestellen. Bij de manuele versie zal men gebruik maken van een hydraulische pomp om zo een trekkracht te creëren. Doordat hiervoor geen elektrische stroom nodig is, kan men met het manuele toestel tests uitvoeren op meer afgelegen locaties. De automatische versie zal na een druk op de knop een toenemende kracht genereren totdat de *dolly* lost. Bij beide versies zal de verkregen waarde op het scherm zichtbaar zijn (Defelsko, 2009).



**Figuur 9** Manueel en automatisch *pull off* toestel

Bron: Defelsko, 2009

Om verschillende metingen met elkaar te vergelijken is het van belang telkens hetzelfde materiaal en methode te gebruiken. Dit wilt zeggen steeds hetzelfde toestel, met zelfde instellingen, en ook steeds dezelfde maat van *dolly*. Ook de manier van plaatsen en de tijd tussen het plaatsen en het uitvoeren van de test moet gelijk zijn (Elcometer, 2020a). Verder in dit onderzoek zullen er *pull off tests* afgenomen worden van verschillende testplaatjes. Hiervoor zullen we het toestel rechts op figuur 9, de PosiTest AT-A van Defelsko, gebruiken in combinatie met *dolly's* met een diameter van 20mm.

#### 4.1.4 Uitvoeren van test

Nadat de droogtijd van de lijm is verlopen, kan de *pull off test* van start gaan. Eerst wordt de coating onder de *dolly* losgemaakt van de omliggende coating. Dit kan door gebruik te maken van een mes of aan de hand van een specifiek gereedschap. Door de coatings te scheiden zal



de test specifiek zijn voor het oppervlak onder de *dolly* en zal de coating rondom rond geen invloed hebben (Elcometer, 2020c).



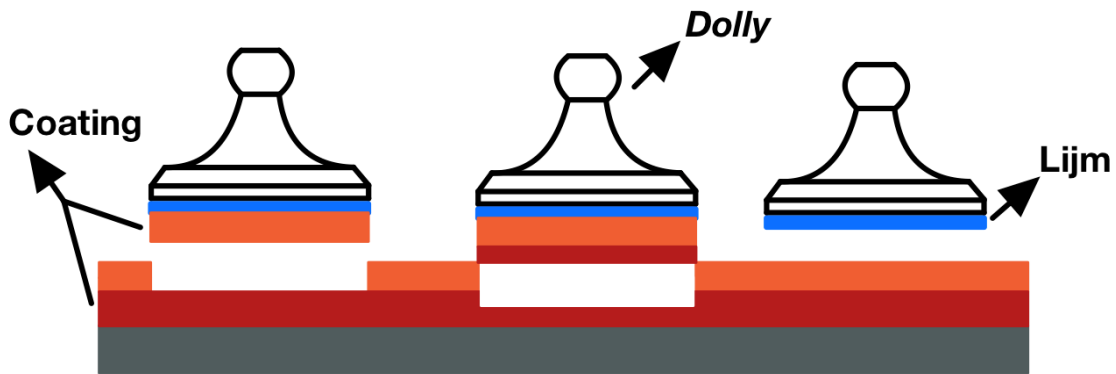
**Figuur 10** Krabber voor het losmaken van verf

Bron: eigen werk

Alvorens het toestel over de *dolly* te plaatsen zal deze correct ingesteld worden, dit voor de gebruikte maat van *dolly* en de mate waarin de kracht toeneemt. Nu kan men het toestel over de *dolly* plaatsen en de test starten. De kracht zal geleidelijk toenemen totdat de *dolly* loskomt. Deze kracht wordt in MPa weergegeven op het scherm van het toestel.

#### 4.1.5 Manier van falen

Algemeen zijn er drie mogelijke manieren waarop de hechting kan falen. Wanneer de volledige coating laag loskomt van een andere coating laag of het testplaatje zelf, spreken we van *adhesive failure*. Echter, wanneer slechts een deel van een bepaalde coating laag aan de *dolly* blijft kleven en de rest van diezelfde laag aan het testplaatje blijft hangen, spreken we van *cohesive failure* (Korozyon, 2017). Het is mogelijk dat zowel *adhesive* als *cohesive failure* zich gelijktijdig voordoen bij eenzelfde test. Een derde vorm van falen is wanneer de hechting van de lijm faalt, *glue failure*. Na het uitvoeren zal één of meerdere wijzen van falen aan het oppervlak worden toegekend (Elcometer, 2020d).



**Figuur 11** *Adhesive failure, cohesive failure en glue failure*

Bron: eigen werk

Het is mogelijk dat testmethodes bepaalde waarden voor zowel *adhesive* als *cohesive failure* opleggen. Zowel de test op gesimuleerde ballast tank condities als de condensatiekamer test eisen een resultaat groter dan 3.5 MPa voor *adhesive failure* en een minimum waarde van 3 MPa voor *cohesive failure*.

## 4.2 Krastest

Bij de krastest zal voorafgaand aan de corrosiesimulatie een kras aangebracht worden op het gecoate testplaatje. De coating wordt hiermee doelbewust beschadigd. De aangebrachte kras zal volledig door de coating heen gaan en zo voor een deel het testplaatje blootstellen. Hierdoor zal gedurende de simulatietest corrosie optreden in en naast de kras, weliswaar onder de coating. Op deze manier zal de hechting van de coating op de proef worden gesteld. Na afloop zal de vastgestelde hoeveelheid corrosie een maat geven voor de kwaliteit van de coating.

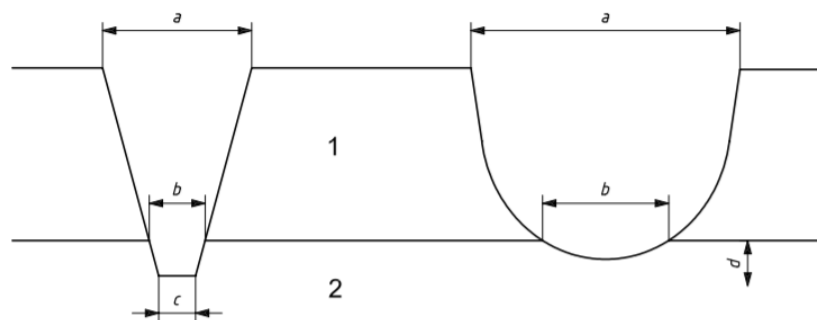
De plaatjes moeten zo geplaatst worden in de testopstelling dat druppels van de oplossing in de lengte van de kras naar omlaag kunnen lopen. Door gedurende de testperiode de stalen regelmatig te evalueren kunnen we ook de evolutie hiervan waarnemen.

#### 4.2.1 Het krastoestel

De kras kan aangebracht worden aan de hand van verschillende gereedschappen, gaande van een cutter mes tot meer specifieke toestellen. Hieronder zijn enkele door ASTM goedgekeurde toestellen opgesomd (D01 Committee, 2016);

- *Lathe Tool Type*: gereedschap met een puntig uiteinde uit zeer hard staal, vaak gemonteerd op een houder
- *Pencil Type*: toestel in de vorm van een pen, punt uit zeer hard staal kan vast of vervangbaar zijn
- *Motorized Circular Blade*: snijwiel met een breedte van 1 tot 2mm gemonteerd op een roterend toestel

Naargelang het gebruikte toestel zal de kras een andere vorm aannemen. Dit mag in de vorm van een V of een U zijn, zoals te zien in figuur 12. Bepaalde toestellen kunnen ook een rechthoekige kras plaatsen, waarbij  $a$  gelijk zal zijn aan  $b$ . Belangrijk is dat bij elke kras  $b$ , op de grens tussen coating (1) en het plaatje (2), groter of gelijk is aan 0,2mm. Om verschillende krassen met elkaar te vergelijken is het van belang dat de vorm van de kras steeds gelijk is. En dus wordt best steeds hetzelfde toestel gebruikt om de krassen te plaatsen (International Standard, 2007).



**Figuur 12** V en U vorm van kras

Bron: International Standard, 2007

Wanneer een toestel zoals een bijvoorbeeld een stanleymes wordt gebruikt, zal het moeilijk zijn om telkens even diep te krassen. Een verschil in diepte heeft als gevolg dat er meer of minder staal blootgesteld zal zijn. Toestellen specifiek ontworpen om een kras te plaatsen

zullen vaak voorzien zijn van instelbare wieltjes. Hiermee is de diepte van de kras instelbaar en is het mogelijk om steeds op dezelfde diepte te krassen.

In dit onderzoek zal de kras aangebracht worden doormiddel van een krastoestel met typenummer VF8605 – TYPE CC3000 van het merk TQC, te zien in figuur 13. Het toestel is voorzien van verstelbare wieltjes om zo op de gewenste diepte af te stellen. Hierdoor is het mogelijk om krassen te plaatsen die enkel de verf beschadigen of krassen die tot op het testplaatje gaan. Doordat het mes instelbaar is, kunnen we dus steeds uniforme krassen plaatsen. Het snijmes, uit gehard staal, van 1mm kan een maximale snijdiepte van 750  $\mu\text{m}$  behalen. Ook voldoet het krastoestel aan de standaarden omschreven in ISO 17872 (TQC B.V., 2020a). Het krastoestel zal een rechte kras plaatsen, wat wilt zeggen dat aan beide zijden de verf recht wordt weggekrast, en dus geen schuine of afgeronde kras zoals eerder gezien in figuur 12.



**Figuur 13** Krastoestel VF8605 – TYPE CC3000

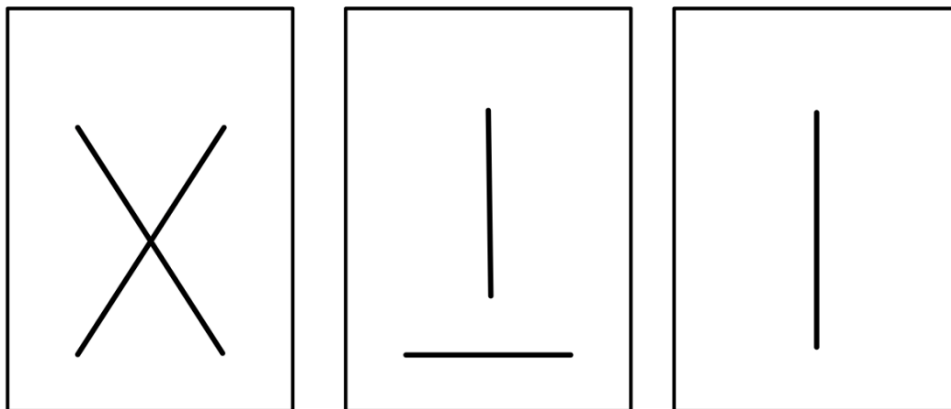
Bron: TQC B.V., 2020a

#### 4.2.2 Plaatsen van de kras

Bij het plaatsen van meerdere krassen, die later deel zullen uitmaken van een vergelijkende studie, is het van belang steeds dezelfde methode te gebruiken. Zodat de verschillende krassen als het ware identiek zijn. Zoals eerder besproken zijn verschillende toestellen toegestaan om een kras te plaatsen. Maar het spreekt voor zich dat de specifiek ontworpen toestellen een constanter resultaat zullen geven, dit door de instelbare diepte van het snijmes.

Het toestel zal een hoek tussen 70 en 90 graden maken met het plaatjes. Alleen de punt van het snijmes zal in aanraking mogen komen met de coating. Vervolgens zal de kras in een vlotte beweging geplaatst worden. De eindpunten van de kras moeten minstens op 125mm van de zijkant van het plaatje liggen. De lengte van de kras zal bepaalt worden naargelang de beschikbare ruimte, algemeen ligt deze lengte tussen de 50 en 70mm. De lengte van de kras zal steeds groter moeten zijn dan de verwachte kruip (D01 Committee, 2010).

Algemeen zijn er drie mogelijke modellen van krassen toegestaan. Dit zijnde de X-vormige, de T-vormige en de verticale enkele lijn, zoals te zien in figuur 14. In de testopstelling, gebruikt in dit onderzoek, zullen de plaatjes geplaatst moeten worden zodat de druppels van de oplossing in de richting van de kras naar omlaag lopen. Daarom kiezen we in dit onderzoek voor een verticale enkele lijn. Wanneer een testmethode enkel bestaat uit bijvoorbeeld een onderdompeling kan men opteren voor een X of T vormig krasmodel (International Standard, 2007).



**Figuur 14** X-vormig, T-vormig en verticale enkele lijn

Bron: eigen werk

Om ervoor te zorgen dat de kras telkens op dezelfde plek staat op het plaatje zal een mal gebruikt worden. De gebruikte mal in dit onderzoek bestaat uit een houten houder waarin het plaatje ligt. Vervolgens wordt een houten lat gebruikt die ervoor zorgt dat de kras telkens in het midden van het plaatje komt te staan. Door op deze lat het juiste begin en eindpunt aan te duiden zal ook de lengte en plaats van de kras steeds hetzelfde zijn.



**Figuur 15** Mal, houten lat en gebruikte krastoestel

Bron: eigen werk

#### 4.2.3 Reinigen van de kras

Nadat de test afgerond is, is het tijd voor het evalueren van de kras. Hiervoor zal eerst de kras gereinigd moeten worden. De eerste stap is het afspoelen met water van ongeveer 45°C. De tweede stap van het reinigen kan op verschillende manieren gebeuren. Hieronder staan twee methoden, volgens ASTM D1654 – 05 *Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*, kort beschreven.

- **Methode 1**

Bij de eerste methode zal gereinigd worden aan de hand van lucht onder druk gezet doormiddel van een compressor. De kras wordt hiermee proper geblazen onder een hoek van 45°. Belangrijk is dat dit proces gebeurt binnen vijftien minuten na het eindigen van de test. Als dit niet lukt zullen de plaatjes bewaard moeten worden in water op kamertemperatuur of opgeborgen in een plastic zak (D01 Committee, 2005).

- **Methode 2**

Ook bij methode 2 zullen de plaatjes eerst afgespoeld worden met water. Vervolgens zal de kras, met het correcte gereedschap, proper geschraapt worden. Door heen en weer over de kras te bewegen en regelmatig af te spoelen met water. Echter is het wel belangrijk dat enkel de verf dat is losgekomen verwijderd wordt, intacte verf moet behouden worden. Weer zal dit proces binnen vijftien minuten na het beëindigen van de procedure moeten gebeuren.

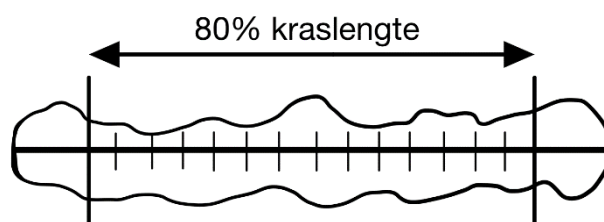
Anders zullen de plaatjes worden opgeborgen zoals beschreven in methode 1 (D01 Committee, 2005).

#### 4.2.4 Evalueren van de kras

Ook het evalueren van de kras kan op verschillende manieren gebeuren. Zo kan het visueel gebeuren of door gebruik te maken van speciaal ontworpen toestellen en programma's. In dit onderzoek zijn de verschillende krassen geëvalueerd door gebruik te maken van de visuele methode, beschreven onder ASTM D1654 – 05. Hier zal de kruip worden opgemeten, dit is de afstand tot hoever corrosie gegroeid is vanuit de kras.

Het aangetaste gebied rondom de kras zal getraceerd worden door gebruik te maken van een potlood of dunne zwarte stift. Hierdoor zal de grens beter zichtbaar zijn en dit zal dus het opmeten vergemakkelijken. Doordat het begin en einde van de kras anders beïnvloed zullen zijn, gedurende de testmethode, zullen deze geen deel uitmaken van de opmetingen. We beperken ons tot 80% van totale kraslengte. Nadien zullen volgende waarden worden opgemeten (D01 Committee, 2010);

- Gemiddelde kruip: dit door de gebruikte kraslengte op te delen in 14 gelijke delen, zoals te zien in figuur 16, en vervolgens op deze plaatsen de kruip aan beide zijden van de kras op te meten
- Maximale kruip: hierbij zoeken we de grootste waarde van kruip, en dus waar de grens tussen corrosie en coating het verst verwijderd ligt van de kras
- Minimale kruip: Zijnde de kortste afstand tussen de kras en grens tussen corrosie en de coating



**Figuur 16** Opdeling van de kras

Bron: eigen werk

Vervolgens zal door gebruik te maken van de gemiddelde kruip een rating worden toegekend aan elke kras. Dit door gebruik te maken van de tabel weergegeven in figuur 17.

**TABLE 1 Rating of Failure at Scribe (Procedure A)**

Representative Mean Creepage From Scribe		
Millimetres	Inches (Approximate)	Rating Number
Zero	0	10
Over 0 to 0.5	0 to $\frac{1}{64}$	9
Over 0.5 to 1.0	$\frac{1}{64}$ to $\frac{1}{32}$	8
Over 1.0 to 2.0	$\frac{1}{32}$ to $\frac{1}{16}$	7
Over 2.0 to 3.0	$\frac{1}{16}$ to $\frac{1}{8}$	6
Over 3.0 to 5.0	$\frac{1}{8}$ to $\frac{3}{16}$	5
Over 5.0 to 7.0	$\frac{3}{16}$ to $\frac{1}{4}$	4
Over 7.0 to 10.0	$\frac{1}{4}$ to $\frac{3}{8}$	3
Over 10.0 to 13.0	$\frac{3}{8}$ to $\frac{1}{2}$	2
Over 13.0 to 16.0	$\frac{1}{2}$ to $\frac{5}{8}$	1
Over 16.0 to more	$\frac{5}{8}$ to more	0

**Figuur 17** Tabel om gemiddelde kruip om te zetten in een rating

Bron: D01 Committee, 2010

### 4.3 Wegen van testplaatjes

In vergelijking met vorige methodes is het opwegen van de testplaatjes een eenvoudigere methode van evalueren. Door voor, tijdens en na de testperiode de gewichten op te meten kan de evolutie van het gewicht waargenomen worden. Het spreekt voor zich dat meer tussentijdse metingen een nauwkeuriger verloop zullen weergeven. Opmeten van testplaatjes kan gedaan worden door gebruik te maken van een nauwkeurige weegschaal.

### 4.4 Evalueren volgens Marintek

De testplaatjes die de testmethode volgens Marintek hebben ondergaan zullen op meerdere manieren geëvalueerd worden. Zowel voor, tijdens als na de test. Op voorhand worden twee plaatjes onderzocht door een laag voltage gaatjes detector (*low voltage pinhole detector*). Gedurende en na de tests zullen de plaatjes geëvalueerd worden op roest vorming en eventuele vorming van blaren. Ook zal na de procedures gekeken worden naar de hechtingsgraad van de coating, de mate van ontbinding zal doormiddel van de flexibiliteit test gemeten worden.



#### 4.4.1 Laag voltage gaatjes detector

Doormiddel van een laag voltage gaatjes detector, werkende op 90 volt, zullen twee plaatjes onderzocht worden naar eventuele bestaande defecten. Dit gebeurt voordat de testplaatjes de testmethoden ondergaan. Een krokodilklem moet bevestigd worden op een ongelakt stuk van het plaatje, vervolgens zal op het gecoate oppervlak gemeten worden met de gaatjes detector. Er zal dan doormiddel van een spons een spanning aangebracht worden op het gecoate oppervlak. Een defect zal worden waargenomen wanneer een stroom, hoger dan de kalibratiewaarde, door het plaatje loopt (TQC B.V., 2020b).



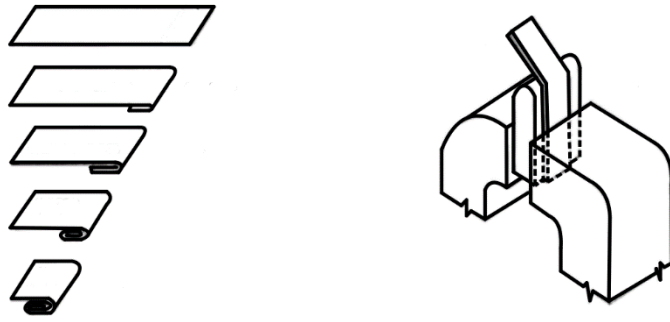
**Figuur 18** Laag voltage gaatjes detector

Bron: TQC B.V., 2020b

#### 4.4.2 Flexibiliteit test

De flexibiliteit test zal pas gebeuren na een periode van twee weken. De test zal gebeuren op drie panelen die zich aan de bovenzijde van de golftank test bevonden en één paneel dat niet blootgesteld is aan testomstandigheden (Vold, 1997).

De plaatjes worden 180° omgeplooid met telkens een verschillende diameter van plooiën. Dit kan gebeuren door het paneel om zich heen te buigen of door het paneel op te rollen rondom een mal. Zoals de opstelling in figuur 19 weergeeft. Het paneel zal deze test moeten passeren zonder barsten of scheuren in de coating (D01 Committee, 2018).



**Figuur 19** Flexibiliteit test

Bewerkt van bron: D01 Committee, 2018

#### 4.5 Evalueren van roest en blarenvorming

Deze evaluatie zal verlopen volgens ISO 4628 1-3. Deel 1 beschrijft de algemene introductie, deel 2 legt de focus op het evalueren van blarenvorming en deel 3 op de vorming van roest.

- **ISO 4628 deel 2**

Het evalueren van de blaren gebeurt door de testpanelen te vergelijken met gestandaardiseerde foto's. De hoeveelheid en grote van de blaren wordt gelinkt aan een rating van S1 tot en met S5, met S5 de hoogste vorm van aanwezigheid en S1 de minste. Dit gebeurt door een vergelijking met het blote oog. S1 kan echter niet met het blote oog worden waargenomen. Een vergroting met factor tien moet hiervoor gebruikt worden (International Organization for Standardization, 2016).

- **ISO 4628 deel 3**

De maat van roest wordt vastgesteld door de vergelijking van het testplaatje met gestandaardiseerde foto's. Het paneel zal een rating toegeschreven krijgen van Ri0 tot en met Ri5, met Ri0 de procentueel laagste hoeveelheid roest (0%) en Ri5 de hoogste (40 tot 50%) (International Organization for Standardization, 2015).

## 4.6 Gebruikte evaluatie methoden

Hierboven staan meerdere mogelijke evaluatie methoden uitgeschreven. Echter zullen we ons in dit onderzoek beperken tot de volgende drie methoden:

- De *pull off test*
- De krastest
- Het wegen van de plaatjes

Het wegen van de testplaatjes zal gebeuren voor dat de opstelling opgestart wordt. Maar ook zullen bij tussentijdse metingen de plaatjes gewogen worden. Verder zal ook visueel het verloop van de corrosievorming, blarenvorming en het falen van de coating worden waargenomen.



## 5 Praktische uitvoering

In wat volgt zal de praktische uitvoering van zowel de voorbereiding als de testen zelf besproken worden. Gaande van het aanbrengen van de coating tot het aanmaken van artificieel zoutwater. Ook bespreken we de drie testen die opgestart zullen worden.

### 5.1 Voorbereiden testplaatjes

Een totaal van 45 plaatjes zal getest worden, telkens 15 plaatjes per testopstelling. 15 hiervan zullen geen coating krijgen, de overige 30 plaatjes zullen wel een coating krijgen. Van de geverfde plaatjes zal de helft voorzien worden van een kras.

De natte coating dikte zal in totaal 400 micrometer bedragen. Deze wordt in twee lagen aangebracht: een eerste laag van 200 micrometer nat en na drogen aangevuld tot 400 micrometer met een tweede laag. Eerst moeten de testplaatjes een voorbereiding ondergaan vooraleer deze geverfd kunnen worden. Deze voorbereiding bestaat uit ontvetten gevolgd door het afspoelen en drogen van de plaatjes en uiteindelijk het zandstralen van het oppervlak.

#### 5.1.1 Oppervlakte voorbereiding

Het ontvetten wordt gedaan met niet verdunde keukenazijn, aangebracht met een keukenspons. De ruwe kant van de spons werd gebruikt om hardnekkige vlekken te verwijderen. Over de andere plaatsen werd gewoon gewreven met de zachte kant van de spons. Hierna werden de testplaatjes allemaal gespoeld met gedemineraliseerd water, telkens driemaal, dit om zeker te zijn dat de plaatjes proper zijn. Na deze handeling worden de testplaatjes te drogen gelegd op keukenpapier.

De volgende stap in het voorbereidingsproces is het zandstralen van de testplaatjes. Er werd gebruik gemaakt van de voorziene straalcabine op de campus. Het gebruikte staalgrit voor dit proces is 50 GH. De oppervlaktes worden op een gelijkmatige manier gereinigd. Dit is

belangrijk om een uniform resultaat te verkrijgen en dit zal ervoor zorgen dat de verf zich goed kan hechten aan het stalen plaatje.

### 5.1.2 Aanbrengen van de coating

De testplaatjes zijn nu klaar om geverfd te worden. Zoals reeds vermeld zullen de testplaatjes voorzien worden van een verflaag van 200  $\mu\text{m}$  nat en na drogen aangevuld tot een dikte van 400  $\mu\text{m}$  in een tweede laag nat. Dit werd gerealiseerd aan de hand van een applicator. De applicator heeft vier zijdes: 200, 400, 600 en 800  $\mu\text{m}$ . De eerste laag wordt aangebracht met de 200  $\mu\text{m}$  zijde en de tweede laag met de 400  $\mu\text{m}$  zijde. De gebruikte verf is van het merk 'Hempel', meer bepaald de *Hempadur 45141 part A* en *Hempel's Curing Agent 97430 part B*. De verhouding tussen part A & B is drie op één met een maximum toevoeging van vijf procent thinner. Hempel's thinner 08450 werd hiervoor gebruikt. De bruikbare tijd na het maken van de mengeling bedraagt twee uur. De verf heeft acht uur nodig om te drogen. De optimale aanbrengingscondities zijn tussen de 18°C en 22°C.



**Figuur 20** Aanbrengen van verf (laag één)

Bron: eigen werk



**Figuur 21** Opmeten temperatuur testplaatjes

Bron: eigen werk

Tijdens de aanbrenging van de eerste laag was de temperatuur ongeveer 18,4°C met een luchtvochtigheid van 32,3%. Bij de tweede laag was de temperatuur ongeveer 21,2°C met een luchtvochtigheid van 42%. Deze waarden zijn opgemeten met de 'TQC DeWcheck 4'. De plaatjes hadden ook steeds een gemiddelde temperatuur van 21,5°C. Deze waarden zijn bekomen aan de hand van meettoestel 'TQC TM015', zoals te zien in figuur 21.

Tussen laag één en twee zat een droogperiode van drie dagen.

Het representatief testoppervlak is nu klaar voor gebruik maar er zijn nog plaatsen waar geen verf op aangebracht is. Dit zijn de randen en de achterkant van het testplaatje. Op deze plaatsen werd één laag verf aangebracht aan de hand van een verfborstel. De samenstelling van de verf was, zoals hierboven, volgens de voorgeschreven verhouding van *Hempel*. Dit deel van de coating dient alleen om het representatief oppervlak te beschermen. Het voorkomt dat water langs de randen de coating en/of het testplaatje zou aantasten.

### 5.1.3 Wegen van de testplaatjes

De volgende stap in het proces bestaat uit het wegen van de initiële gewichten van alle plaatjes. De plaatjes werden gewogen met de "Kern KB" weegschaal en tot op een honderdste van een gram genoteerd. Vervolgens werden van elke groep plaatjes apart de nodige waarden berekend.

**Tabel 5** Minima, maxima en gemiddelde gewichten testplaatjes

Bron: eigen opmetingen

	Minima (gram)	Gemiddelde (gram) ( $\pm$ Standard Error)	Maxima (gram)
Geverfde plaatjes	370,37 ( $\pm 0,01$ )	376,69 ( $\pm 0,87$ )	382,30 ( $\pm 0,01$ )
Plaatjes met kras	369,85 ( $\pm 0,01$ )	377,25 ( $\pm 0,96$ )	381,40 ( $\pm 0,01$ )
Blanco plaatjes	356,65 ( $\pm 0,01$ )	362,15 ( $\pm 0,60$ )	364,97 ( $\pm 0,01$ )

#### 5.1.4 Opmeten van de verfdikte

Ook de verfdikte werd opgemeten vooraleer de testmethoden te beginnen. Het is de verfdikte van het representatief oppervlak dat hier gemeten wordt. Dit werd gedaan aan de hand van de "elcometer MB09215". Het apparaat meet de verfdikte op in micrometer zonder cijfers na de komma. De verfdikte wordt per plaatje twaalf keer opgemeten, op twaalf verschillende plaatsen volgens het patroon weergegeven in figuur 22. Van deze twaalf meetwaarden werd het gemiddelde berekend voor alle geverfde testplaatjes, te zien in tabel 6.

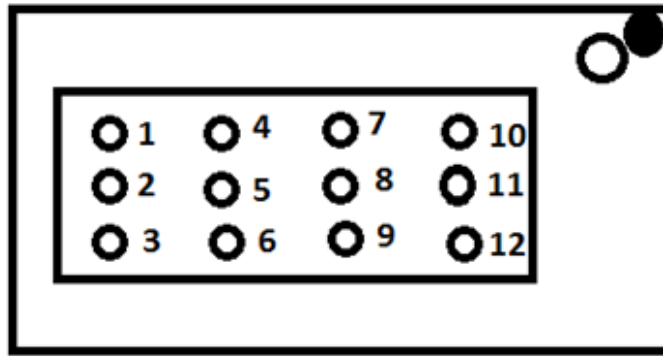
**Tabel 6** Minima, maxima en gemiddelde opgemeten verfdiktes

Bron: eigen opmetingen

	Minima ( $\mu\text{m}$ )	Gemiddelde ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ Standard Error)	Maxima ( $\mu\text{m}$ )
Verfdikte	181 ( $\pm 1,00$ )	477 ( $\pm 7,39$ )	629 ( $\pm 1,00$ )

In het onderzoek "a study into the coating thickness of ship ballast tanks" werd in 84 verschillende ballast tanks de gemiddelde verfdikte opgemeten. Hierbij was te zien dat in de realiteit de standaard deviatie van de gemiddelde verfdikte 162  $\mu\text{m}$  bedraagt, wat aantoont dat er een grote variatie zit in dikte van de coating tussen verschillende ballast tanks. Met ook lage minima 's en hoge maxima's. Dus ook in de realiteit zit er een verschil in de verfdiktes en zal niet overal de opgelegde waarde behaald worden (Willemen e.a., 2020).





**Figuur 22** Opmeten verfdikte

Bron: correspondentie promotor

### 5.1.5 Aanbrengen van kras

De krassen aangebracht op de testplaatjes moeten zo uniform mogelijk zijn. Daardoor zal gebruik gemaakt worden van een mal. Om zo telkens de kras op gelijke afstand te plaatsen en de krassen van een gelijke lengte te voorzien.



**Figuur 23** Mal voor aanbrengen van kras

Bron: eigen werk

Een kras van negen centimeter zal op de testplaatjes worden aangebracht. Echter mag de kras niet in contact komen met de rand van het plaatje, we houden hiervoor een afstand van vijftien millimeter van de rand. Belangrijk is dat de volledige verflaag hierbij weggekrast wordt. De kras wordt in het midden van het plaatje aangebracht door met het wielje van het krastoestel langs de mal te bewegen. Elke kras zal ook op dezelfde manier aangebracht worden, dit om een uniform resultaat te verkrijgen (D01 Committee, 2005).



**Figuur 24** Aangebrachte kras

Bron: eigen werk

#### 5.1.6 Tussentijdse metingen

Om de evolutie zo nauwkeurig mogelijk te kunnen opvolgen zullen er op regelmatige basis waarnemingen vastgelegd worden. Dit zijnde het gewicht als ook het nemen van foto's van de testplaatjes. We beperken de duur van deze opmetingen tot een minimum, zijnde maximaal 60 minuten, om zo de testen zo min mogelijk te beïnvloeden. Het wegen van de gewichten zal gebeuren met dezelfde weegschaal die eerder al gebruikt werd bij het wegen van het initiële gewicht. De foto's zullen ons een beeld geven van de evolutie doorheen de volledige testperiode.



**Figuur 25** Opstelling tussentijdse foto's

Bron: eigen werk

## 5.2 Aanmaken zoutoplossing

### 5.2.1 Aanmaken zoutwater voor cyclisch drogen/vernevelen

In dit onderzoek zullen we zoutwater volgens ASTM B117-11 gebruiken. We zullen telkens per twintig liter aanmaken, en zo vervolgens het reservoir van de *Q-fog* testcabine aanvullen. Voor twintig liter zoutwater hebben we nodig:

- 1052,63 gram NaCl
- 40 ml 0,1N NaOH
- Gedemineraliseerd water

Eerst zullen we de hoeveelheid NaCl oplossen in telkens kleine hoeveelheden gedemineraliseerd water, tot dat we een volledig homogeen mengsel verkrijgen. Vervolgens vullen we het mengsel aan tot een totaal volume van twintig liter met gedemineraliseerd water. Tussentijds zal met de bidon geschud worden om het geheel te mengen. Uiteindelijk zal aan het totaal volume de afgemeten NaOH worden toegevoegd. Dit doen we om de Ph waarden op het gewenste niveau te verkrijgen.

### 5.2.2 Aanmaken van artificieel zoutwater volgens ASTM D1141-98

Het artificieel oceaانwater bestaat uit een mengeling van stock oplossing één en stock oplossing twee samen met natriumchloride en natriumsulfaat. De vorige opgenoemde producten worden met een bepaalde verhouding samengevoegd.

In ASTM D1141-98 wordt artificieel oceaانwater gemaakt voor tien liter. De opstelling die in dit onderzoek gebruikt wordt bestaat uit een plastic bak van vijftien liter. Daarom zullen alle verhoudingen maal 1.5 gedaan worden.

**Tabel 7** Gebruikte hoeveelheden voor oceaan water

Bron: D19 Committee, 2013

Productnaam	Hoeveelheid (gram)
NaCl	368,02
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	61,41

Eerst zullen beide stoffen samen opgelost worden in 7500mL gedemineraliseerd water. Hierna zal 300mL van stock oplossing één en 150mL van stock oplossing twee aan het mengsel toegevoegd worden. Ten slotte wordt het geheel aangelengd met gedemineraliseerd water, om een totaal van vijftien liter te bekomen. In dit geval nog 7050mL gedemineraliseerd water.

De pH-waarde van het artificieel oceaanwater moet 8.2 bedragen. Voor de pH te kunnen regelen wordt een natriumhydroxide oplossing gemaakt van 0,1 mol per liter. Hierbij moet er vier gram opgelost worden in één liter gedemineraliseerd water. Voor de methode gebruikt in dit onderzoek volstaat een oplossing van één gram opgelost in 250mL gedemineraliseerd water.

Alle oplossingen werden gemaakt volgens de regels van de kunst van de chemie, zoals aangeleerd in de praktijklessen. Dit wilt zeggen, gebruik maken van gedemineraliseerd water voor het naspoelen van de maatbekers waar restanten in zaten en deze zo bij de oplossing te voegen. Na het gebruik werd elke maatbeker uitgespoeld met kraantjeswater (driemaal) en daarna nog eens gereinigd met gedemineraliseerd water (driemaal).

#### 5.2.2.1 Aanmaken stock oplossing één

Stock oplossing één, beschreven in ASTM D1141-98, is opgesteld voor zeven liter oplossing. De chemische producten worden correct afgewogen en opgelost in gedemineraliseerd water tot een oplossing van zeven liter.

**Tabel 8** Hoeveelheden stock één

Bron: D19 Committee, 2013

Productnaam	Hoeveelheid (gram)
MgCl <sub>2</sub> ·6(H <sub>2</sub> O)	3889,0
CaCl <sub>2</sub>	405,6
SrCl <sub>2</sub> ·6(H <sub>2</sub> O)	14,8

#### 5.2.2.2 Aanmaken stock oplossing twee

Stock oplossing twee, beschreven in ASTM D1141-98, is eveneens opgesteld voor zeven liter van de oplossing. Weer zullen de chemische producten opgelost worden in gedemineraliseerd water tot we een totale oplossing van zeven liter bekommen.

**Tabel 9** Hoeveelheden stock twee

Bron: D19 Committee, 2013

Productnaam	Hoeveelheid (gram)
KCl	486,2
NaHCO <sub>3</sub>	140,7
KBr	70,4
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	19,0
NaF	2,1

### 5.3 Testmethoden

Zoals eerder vermeld in hoofdstuk drie zullen er in dit onderzoek drie verschillende testen worden opgestart. Wel gebruiken we hier een aangepaste versie van de bestaande testmethoden. De testperiode zal voor alle testen gereduceerd worden tot 2016 uur. In dit onderzoek is het namelijk niet de performantie van de coating die onderzocht wordt, maar de verschillende testmethoden worden naast elkaar gezet en met elkaar vergeleken.

Elke test zal gebruik maken van 15 plaatjes. Telkens vijf geschilderde, vijf geschilderde plaatjes voorzien van een kras en vijf blanco plaatjes. Tijdens de testperiode zullen er wekelijks tussentijdse metingen en waarnemingen worden genomen. Deze bestaan uit het nemen van foto's en het wegen van de plaatjes. Na afloop zullen de plaatjes een uitgebreide evaluatie ondergaan.

### 5.3.1 Cyclisch drogen/vernevelen

Een eerste test die gedurende dit onderzoek zal worden doorlopen is het cyclisch drogen/vernevelen. Hier zullen vijftien testplaatjes afwisselend vier uur verneveld worden met zoutwater, aangemaakt zoals eerder beschreven in 5.2.1, gevolgd door een droogfase van twee uur. Het vernevelen gebeurt op een temperatuur van 25°C, tijdens de droogfase zal de temperatuur toenemen tot 35°C.

Het praktisch uitvoeren van deze test is mogelijk door gebruik te maken een specifieke testopstelling, in dit onderzoek werd gebruik gemaakt van een *Q-fog* testcabine die eerder al te zien was in figuur 4. Gedurende de testperiode zal regelmatig het zoutwater reservoir moeten worden aangevuld zodat de testcabine niet zonder komt te staan.

### 5.3.2 Onderdompelingsmethode

Bij de volledige onderdompeling zullen we een testmethode gebruiken gebaseerd op de procedures van NACE0104-2004. De temperatuur van het artificieel water zal gedurende de volledige testperiode op 40°C gehouden worden. We houden het water op temperatuur door gebruik te maken van een *au bain-marie*. De vijftien testplaatjes zullen onder een hoek in het bassin worden geplaatst, zoals te zien in figuur 26. De opstelling zal aan de bovenzijde afgesloten zijn om zo het verlies aan water door verdamping tegen te gaan. Het gebruikte artificieel zoutwater is aangemaakt volgens de methode beschreven in 5.2.2.



**Figuur 26** Opstelling onderdompelingsmethode

Bron: eigen werk

### 5.3.3 AMACORT CIFD – 01

Een derde en laatste testmode die gedurende dit onderzoek zal worden opgestart bestaat uit een combinatie van het cyclisch drogen/vernevelen en de volledige onderdompeling. Hier zullen gedurende 2016 uur, wat neerkomt op 84 dagen, testplaatjes afwisselend blootgesteld worden aan het cyclisch drogen/vernevelen en de onderdompeling. Deze vijftien plaatjes zullen om de 72 uur van opstelling wisselen. Uiteindelijk zullen de plaatjes in totaal 168 verneveling cyclussen doorlopen hebben.

Zoals eerder al vermeld zullen we door het afwisselen van beide testmethoden een test evalueren die meer aansluit bij de realiteit. In de realiteit komen ook beide milieus voor in een ballast tank. Een ballast tank is namelijk niet altijd gevuld (onderdompelingsmethode) of leeg (cyclisch drogen/vernevelen), maar beide milieus komen afwisselend voor. Door achteraf de resultaten van de afzonderlijke testen, zijnde de volledige onderdompeling en het cyclisch drogen vernevelen, te vergelijken met de resultaten uit het AMACORT CIFD – 01 testprotocol,

kunnen we nagaan of het beter benaderen van de realiteit, weliswaar op laboschaal, een verschil oplevert.



## 6 Analyse resultaten

Na het afronden van de drie testen is het tijd om de verschillende testplaatjes te evalueren en om vervolgens de verschillende testen met elkaar te vergelijken. In eerste instantie zullen de twee afzonderlijke, bestaande testen met elkaar vergeleken worden. Nadien zullen de plaatjes uit de derde test, zijnde het AMACORT CIFD – 01 protocol, besproken worden. Als laatste zullen we de resultaten uit de drie testen naast elkaar leggen om zo op zoek te gaan naar verschillen tussen de bestaande testen en de combinatie hiervan.

### 6.1 Analyse van het cyclisch drogen/vernevelen en volledige onderdompeling

Nadat de plaatjes de testperiode van 2016 uur hebben doorstaan zullen deze opgemeten en geëvalueerd worden. Net als bij de tussentijdse metingen zullen we de plaatjes wegen als ook foto's ervan nemen. Maar ook evalueren we de kras en zal een *Pull off test* afgenomen worden. Op deze manier kunnen we de plaatjes uit de verschillende testopstellingen met elkaar vergelijken.

De eindevaluaties werden uitgevoerd onder volgende omstandigheden;

- Relatieve vochtigheid (%RH Relative Humidity): 43.9%
- Omgevingstemperatuur (TA Ambient Temperature): 23.8°C
- Dauwpunttemperatuur (TD Dewpoint Temperature): 10.7°C
- Temperatuur plaatjes: 21.1°C

Alle genoteerde tijden van de twee testen zijn overgenomen van de looptijd van de *Q-fog* testcabine. Door omstandigheden heeft de looptijd tegenover de realiteit vertraging opgelopen. Dit kan zijn door algemene stroompanne of een panne aan de *Q-fog* testcabine zelf. Zo zien we dat bij het doorlopen van cyclisch drogen/vernevelen en de volledige onderdompeling apart, er in totaal 37 dagen vertraging is opgelopen.

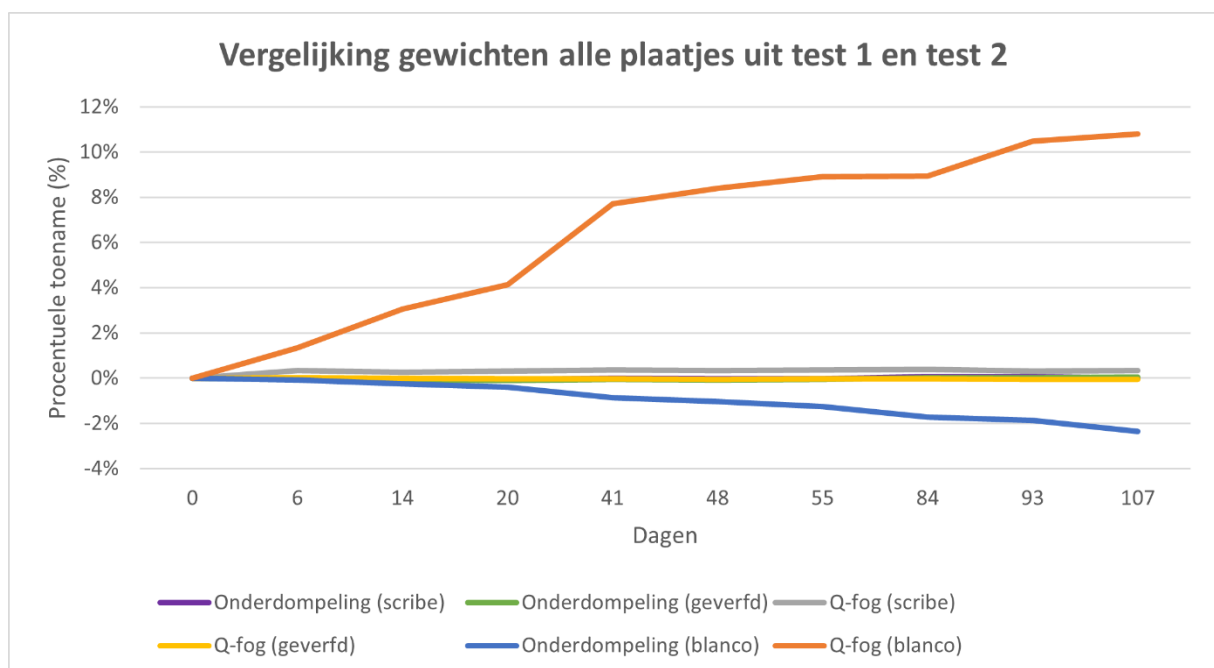
- Tussen 05/04 en 11/04: 11m door algemene stroompanne
- Tussen 11/04 en 19/04: 5u30m door panne aan de *Q-fog* testcabine
- Tussen 03/05 en 10/06: 562u door panne aan de *Q-fog* testcabine
- Tussen 10/06-24/06: 326u door panne aan de *Q-fog* testcabine

Uiteindelijk is besloten om beide testen af te ronden na 107 dagen.

### 6.1.1 Evaluatie van de gewichten

Bij de tussentijdse metingen werden steeds de gewichten van alle plaatjes opgemeten. Hierdoor kunnen we de evolutie van het gewicht weergeven doorheen de gehele testperiode. Het zijn de blanco, en dus niet geverfde, plaatjes die het meest zichtbaar zullen veranderen op basis van gewicht doorheen de testperiode. Het opwegen van de plaatjes gebeurt tot op een honderdste van een gram nauwkeurig.

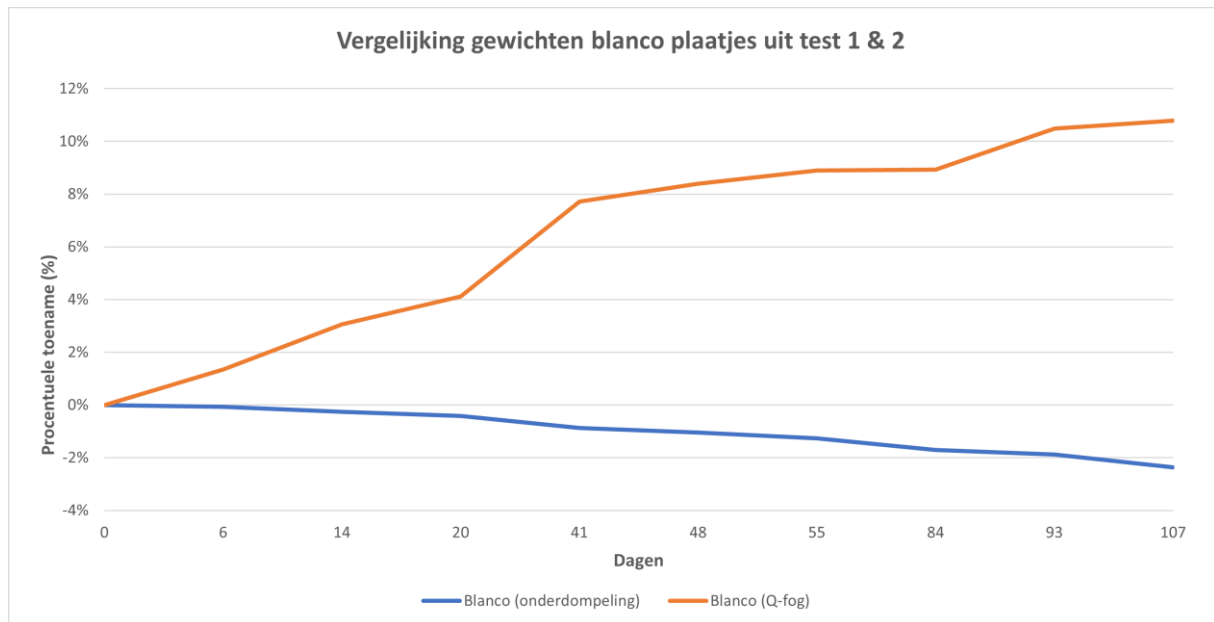
Wanneer we alle gewichten van de verschillende testplaatjes voor de volledige testperiode naast elkaar zetten, zal het verloop zichtbaar worden. Door telkens gebruik te maken van het gemiddelde van de procentuele verandering in gewicht, ten opzichte van de beginsituatie, per tussentijdse opmeting bekomen we volgende grafiek, weergegeven in figuur 27. We kunnen hier zien dat de geverfde plaatjes en geverfde plaatjes voorzien van een kras weinig tot niet veranderen in gewicht. Het is daarom dat we in dit onderdeel van de evaluatie voornamelijk focussen op de verandering van de gewichten van de niet geverfde plaatjes.



**Figuur 27** Procentuele verandering in gewicht voor alle plaatjes uit volledige onderdompeling en cyclisch drogen/vernevelen

Bron: eigen werk

Als we nu enkel kijken naar de verandering van de gewichten van de blanco plaatjes uit beide opstellingen is een duidelijk verschil merkbaar. De plaatjes die het cyclisch drogen/vernevelen hebben doorstaan nemen duidelijk toe in gewicht naarmate de test vordert. Dit terwijl de plaatjes die in de onderdompeling hebben gezeten langzaam gewicht verliezen. Weliswaar is de mate van verandering minder bij de plaatjes uit de onderdompeling in vergelijking met deze uit het cyclisch drogen/vernevelen, zoals te zien is in de grafiek in figuur 28.



**Figuur 28** Grafiek met procentuele verandering in gewicht t.o.v. de beginsituatie uit onderdompeling en cyclisch drogen/vernevelen

Bron: eigen werk

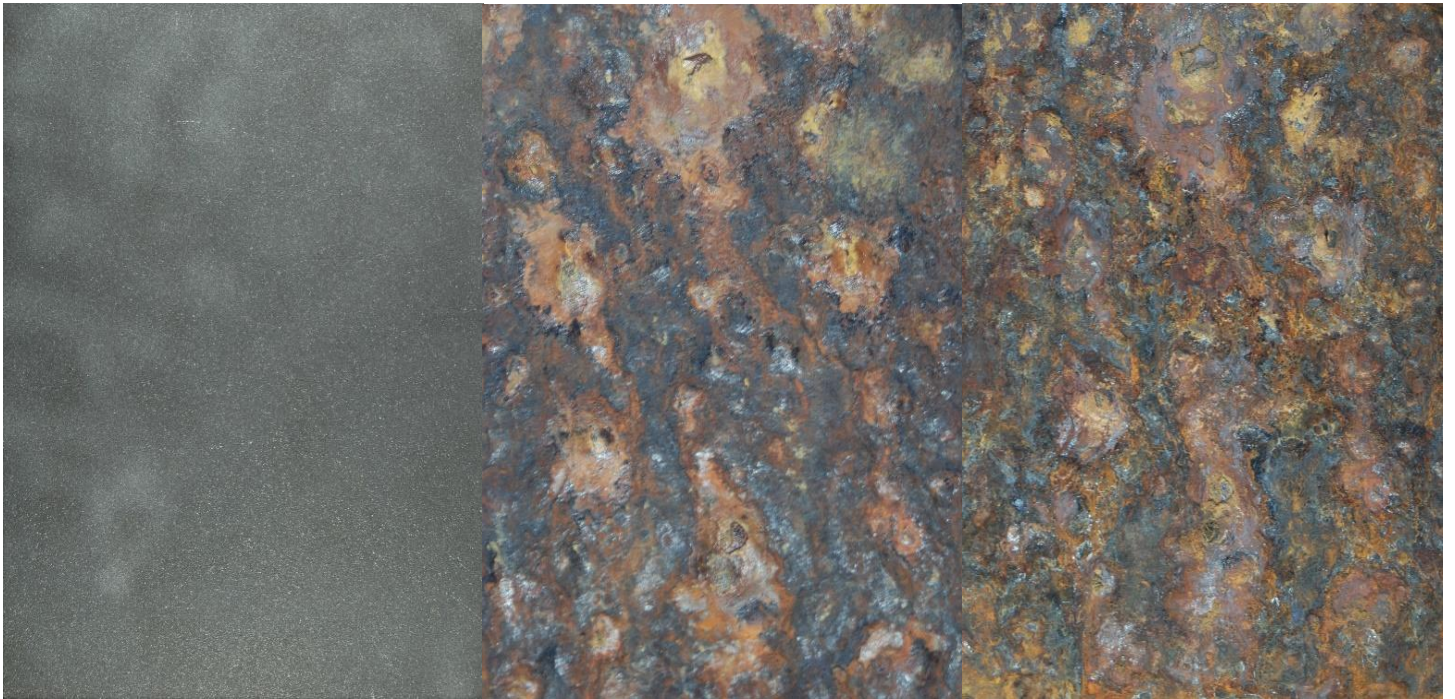
Deze mate van verandering is ook zichtbaar in tabel 10, deze geeft het gemiddelde van de totale verandering in gewicht weer. Als ook de minimale en maximale verandering in gewicht, zowel voor plaatjes uit de onderdompeling als voor de plaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen.

**Tabel 10** Minimale, gemiddelde en maximale verandering in gewicht van blanco plaatjes uit onderdompeling en cyclisch drogen/vernevelen

Bron: eigen werk

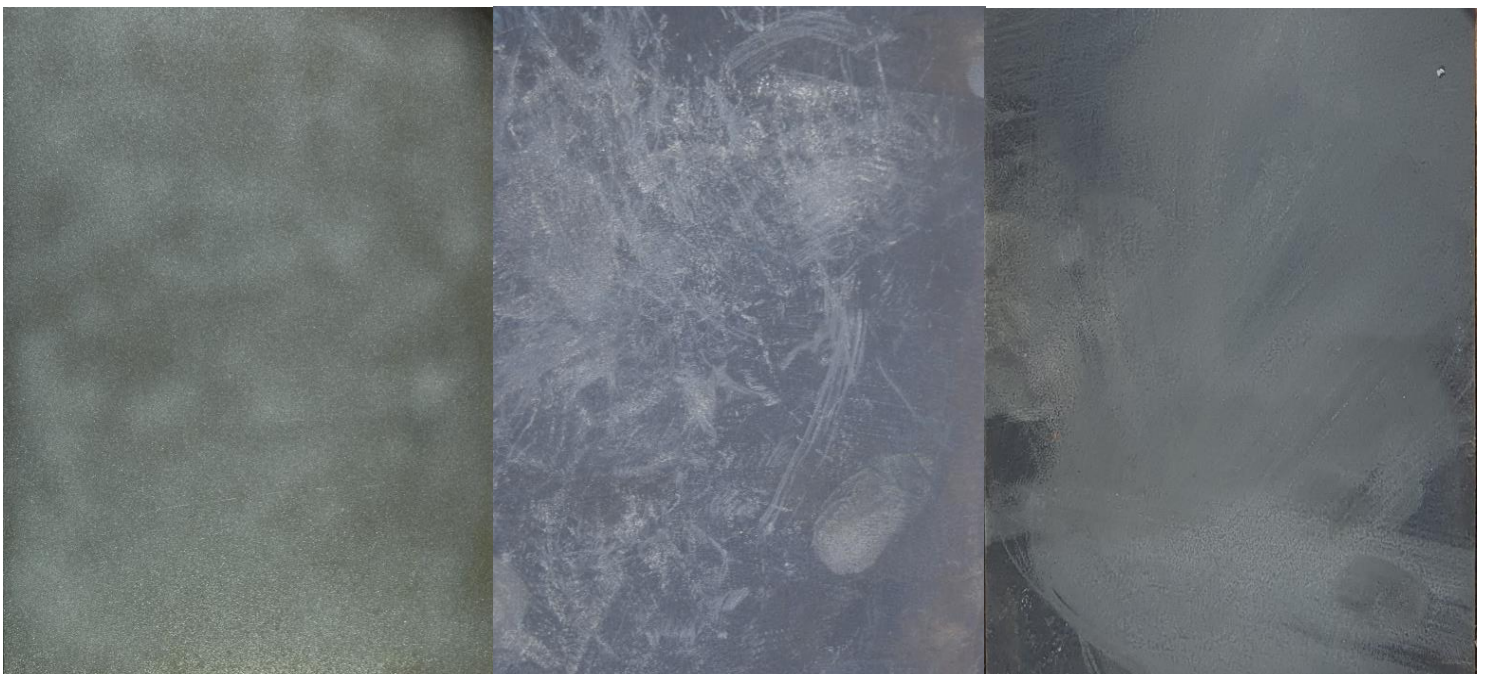
	Minimale waarde	Gemiddelde verandering ( $\pm$ SE)	Maximale verandering
Onderdompeling	-1,67% -4,67g	-1,71% ( $\pm$ 0,00) -6,20g ( $\pm$ 0,05)	-1,76% -6,38g
Cyclisch drogen/vernevelen	+4,67% +17,04g	+8,93% ( $\pm$ 0,01) +32,42g ( $\pm$ 3,50)	+10,36% +37,81g

Als we aan de hand van foto's het verloop bekijken doorheen de testperiode van de blanco plaatjes, kunnen we de gegevens uit de vorige grafiek koppelen aan de zichtbare verandering van deze plaatjes. In figuur 29 en figuur 30 zien we telkens drie momentopnames uit de volledige testperiode. Een eerste voor aanvang van de test, een tweede genomen tijdens een tussentijdse meting ongeveer halfweg de testperiode en een laatste foto genomen vlak na afloop van de volledige testperiode. Voor het plaatje dat het cyclisch drogen/vernevelen heeft doorstaan zien we duidelijk aangroei van corrosie naarmate de test vordert. Dit verklaart de toename in gewicht dat ook te zien was op de grafiek in figuur 28. Kijken we naar de plaatjes uit de onderdompeling is er, in vergelijking met plaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen, minder zichtbare aangroei van corrosie op te merken. Toch hebben deze plaatjes te maken met materiaalverlies, dit was op te merken telkens wanneer deze uit het water werden genomen bij tussentijdse metingen. De plaatjes waren steeds bedekt met een zwarte laag die bij het droogdeppen van de plaatjes verwijderd werd. Het verlies aan materiaal is ook te zien aan het gewichtsverlies doorheen de testperiode op de grafiek in figuur 28.



**Figuur 29** Verloop blanco plaatje uit cyclisch drogen/vernevelen (982954)

Bron: eigen werk



**Figuur 30** Verloop blanco plaatje uit onderdompeling (982482)

Bron: eigen werk

### 6.1.2 Evaluatie van de kras

Deze evaluatie richt zich uiteraard enkel op de tien plaatje die vooraf voorzien werden van een kras. Van deze tien hebben er vijf de onderdompeling en vijf het cyclisch drogen/vernevelen ondergaan. Door deze krassen na afloop te evalueren kunnen we vergelijken wat voor impact beide milieus hebben gehad op de coating.

Vooraleer de kras te kunnen evalueren moet deze gereinigd worden zoals eerder al beschreven in 4.2.3. Dit kan door proper te blazen met lucht onder hoge druk of door te krabben met toepasselijk gereedschap. Het krabben moet wel zo gedaan worden zonder onbeschadigde verf te verwijderen. In dit onderzoek werd gereinigd door gebruik te maken van lucht onder hoge druk.

Het reinigen van de kras zal geen invloed hebben op de meetwaarden. We hebben in dit onderzoek de kras zowel voor als na het reinigen opgemeten en de waarden vergeleken. Deze waarden waren identiek aan de waarden voor het reinigen. Het reinigen heeft dus geen invloed op de metingen maar zal het opmeten wel vergemakkelijken.

Volgende stappen zijn doorgenomen om de kras te evalueren;

1. Testplaatjes afspoelen onder een zachte waterstraal
2. Testplaatjes droogdeppen met papier
3. Noteren van verlies van verf (ja/nee)
4. Noteren of er blarenvorming is (ja/nee)
5. Noteren of verkleuring door corrosie zichtbaar is (ja/nee)
6. Minimale en maximale breedte van de kras gemeten vanaf de rand van de kras, met en zonder blaren
7. Rating van de kras vaststellen door gebruik te maken van de tabel weergegeven in figuur 17, ook eenmaal met en eenmaal zonder rekening te houden met de blaren
8. De totale kras opdelen in 14 gelijke delen met een marge van vijf mm aan bovenzijde en onderzijde van de kras
9. Kras opmeten op de 15 verschillende plaatsen, aan beide zijden van de kras, ook weer met en zonder rekening te houden met blarenvorming

10. Vervolgens zal een rating worden toegekend aan de kras aan de hand van de gemeten waarden

Door het opmeten van de gemiddelde uitwijking, ook kruip genoemd, van de kras kunnen we een rating toekennen aan elk plaatje. Deze rating kan gezien worden als een score op tien, waarbij een tien staat voor het niet falen van de kras en nul voor het maximaal falen.

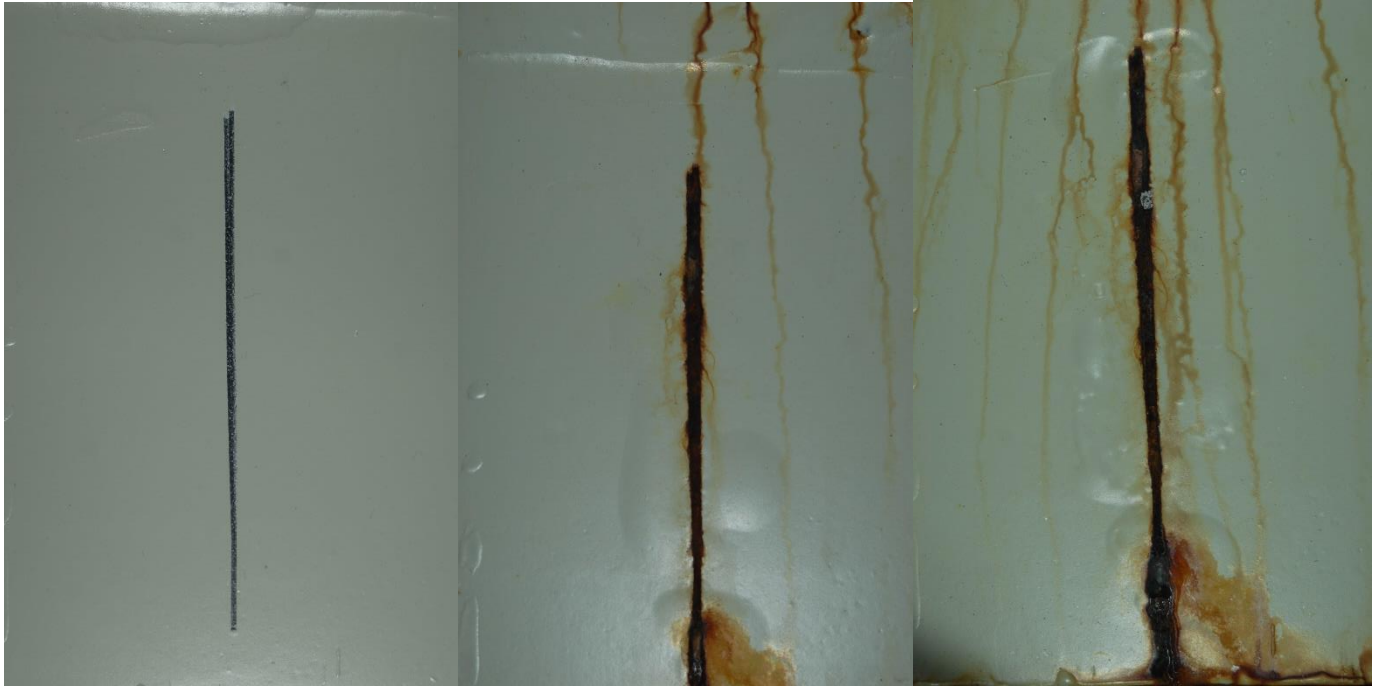
Deze rating wordt bepaald aan de hand van de vijftien verschillende metingen die gedaan zijn langs elke zijde van de kras. Van de waarden, opgemeten in millimeter, werd uiteindelijk het gemiddelde berekend. Door met dit gemiddelde in bijhorende tabel te gaan, eerder al weergegeven in figuur 17, vinden we de bijhorende rating.

We hebben telkens tweemaal deze waarden opgemeten, zijnde één keer zonder de eventuele blaren mee te rekenen en vervolgens door dit wel te doen. Zonder rekening te houden met de blaren is het niet altijd eenvoudig om de grens vast te stellen tussen de coating en de corrosie uit de kras. De aanwezige blaren rondom de kras kunnen eenvoudig getraceerd worden met een potlood of fijne stift. Deze grens is hierdoor goed zichtbaar en het opmeten van de kras verloopt dus ook eenvoudiger wanneer rekening gehouden wordt met de blaren.

#### 6.1.2.1 Visueel verloop van de kras

Figuren 31 en 32 geven het verloop van de kras weer aan de hand van drie verschillende momentopnames. Dit zowel voor een plaatje uit de onderdompeling als een plaatje uit het cyclisch drogen/vernevelen. Een eerste juist voor aanvang van de test, een volgende bij een tussentijdse opmeting ongeveer halfweg de testperiode en uiteindelijk een foto van de kras bij afloop van de testperiode.

Visueel is hier duidelijk een verschil merkbaar tussen de krassen uit beide opstellingen. Bij de kras die in de opstelling met cyclisch drogen/vernevelen heeft gezeten, figuur 32, zien we naast de kras duidelijk de vorming van blaren. Dit wijst erop dat corrosie, ontstaan vanuit de kras, zich een weg heeft gebaad onder de coating door. Waardoor hier vervolgens blarenvorming plaatsvond. Dit fenomeen is echter niet waar te nemen langs de kras uit de onderdompeling. Wel zien we hier, net zoals bij de plaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen, duidelijk corrosievorming langsheen de kras.



**Figuur 31** Verloop kras uit onderdompeling (982471)

Bron: eigen werk



**Figuur 32** Verloop kras tijdens cyclisch drogen/vernevelen (982489)

Bron: eigen werk



### 6.1.2.2 Resultaat na het evalueren van de kras

Hier gaan we de opgemeten waarden van alle krassen met elkaar vergelijken. Zoals eerder als vermeld hebben we verschillende waarden opgemeten als ook een rating toegekend aan elke kras.

Zoals te zien in vorige figuren, die het verloop weergeven van de kras uit beide opstellingen, is er langsheen de kras uit het cyclisch drogen/vernevelen duidelijk vormingen van blaren. Dit is niet het geval bij de krassen die uit de onderdamping komen. Dit is waarom we voor de krassen uit het cyclisch drogen/vernevelen twee keer de opmetingen hebben gedaan. Een eerste maal door geen rekening te houden met de blaren en vervolgens door dit wel te doen. Zo bekomen we uiteindelijk twee ratings per kras voor de plaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen.

Naast de vijftien metingen, aan elke zijde, is ook de minimale en maximale uitwijken van elke kras opgemeten. In tabel 11 is het gemiddelde van deze waarden als ook de gemiddelde rating van de krassen weergegeven. Dit telkens voor de vijf plaatjes uit de volledige onderdamping en voor de vijf plaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen, voor zowel zonder als met blaren.

**Tabel 11** Gemiddelde waarden voor minima, maxima, 15 opmetingen (L&R) en rating voor krassen uit volledige onderdamping en cyclisch drogen/vernevelen

Bron: eigen werk

	Minima (mm) ( $\pm$ SE)	Maxima (mm) ( $\pm$ SE)	15 metingen (L&R) (mm) ( $\pm$ SE)	Rating ( $\pm$ SE)
<b>Onderdamping</b>	0,00 ( $\pm$ 0,00)	0,80 ( $\pm$ 0,11)	0,22 ( $\pm$ 0,024)	8,80 ( $\pm$ 0,18)
<b>Cyclisch drogen/vernevelen (zonder blaren)</b>	0,00 ( $\pm$ 0,00)	1,80 ( $\pm$ 0,36)	0,32 ( $\pm$ 0,032)	8,80 ( $\pm$ 0,18)
<b>Cyclisch drogen/vernevelen (met blaren)</b>	1,30 ( $\pm$ 0,48)	15,80 ( $\pm$ 2,14)	7,50 ( $\pm$ 0,42)	3,60 ( $\pm$ 0,36)

Als we kijken naar de rating, en geen rekening houden met de blarenvorming van de plaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen, bekomen we gemiddeld een identieke rating. Rekening houden met de blaren krijgen we, zoals te verwachten, een opmerkelijk lagere rating voor

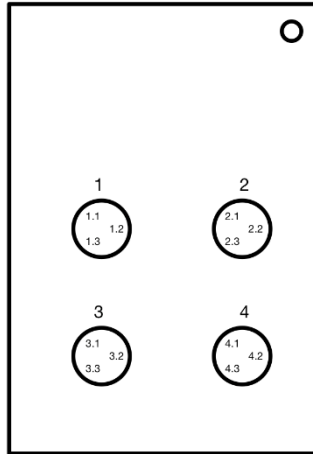
diezelfde krassen. De waarde voor de maximale uitwijking van de kras ligt gemiddeld ook hoger voor de krassen uit het cyclisch drogen/vernevelen.

De blaren die we waarnemen op de plaatjes afkomstig uit het cyclisch drogen/vernevelen kunnen we als volgt verklaren. Blaren vormen zich wanneer ze toegang krijgen tot zuurstof en een elektrolytoplossing. Deze elektrolytoplossing heeft vrije ionen, deze vrije ionen kunnen via de kras onder de coating geraken. Een anodische reactie zal hier dan plaatsvinden onder de coating en dit zal blaren tot stand brengen (Cassidy & Kibler, 2021).

### 6.1.3 *Pull off test* evaluatie

De tien geverfde plaatjes zonder kras, vijf uit onderdompeling en vijf uit het cyclische drogen/vernevelen, zullen gebruikt worden om de *pull off test* op uit te voeren. We gebruiken hiervoor het volgende toestel: PosiTest AT-A Automatic. Deze test wordt voorbereid volgens de volgende stappen;

1. Opmeten van de verfdikte op locaties waar de *dolly's* geplakt zullen worden, drie metingen per oppervlak, volgens het patroon op figuur 33
2. *Dolly* opschuren met bijgeleverde schuurpapier, vijf passages
3. Testoppervlak van het plaatje opschuren met zelfde schuurpapier, twee passages
4. Testoppervlak reinigen en ontvetten met isopropanol en vervolgens droogdeppen met papier
5. Uniform aanbrengen van LOCTITE 401 op oppervlakte van de *dolly*
6. *Dolly's* plaatsen op toegewezen plaatsen, gebruik makend van een mal, op het testoppervlak en zachtjes drukken zodat overtollige lijm kan opgekuist worden
7. De *dolly's* mogen niet meer verplaatst of gedraaid worden op het oppervlak om luchtbellen te voorkomen



**Figuur 33**      Patroon opmetingen verfdikte

Bron: eigen werk

Nadat de *dolly's* geplakt zijn zullen deze na verschillende tijd de *pull off test* ondergaan. De eerste, zijnde *dolly 1*, zal binnen de 8 uur, na het beëindigen van de testperiode, getrokken worden. Deze tijdsperiode is voorgeschreven volgens ASTM D4541 *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers* (NACE International, 2004). Maar de gebruikte lijm, zijnde LOCTITE 401, schrijft een droogtijd voor van minstens 24 uur. Daarom zal de *pull off test* op *dolly 2* en *3* pas na droogtijd van minimum 24 uur worden uitgevoerd.

Het toestel zal met een opbouwende kracht aan de *dolly* trekken totdat deze loskomt. Deze kracht, waarbij de binding faalt zal weergegeven worden op het scherm van het toestel. Nadien schatten we hoeveel procent van het oppervlak op welke wijze gefaald heeft. Dit kan zijn;

- Falen van de hechting tussen testplaat en verf, verf komt los van de plaat. De plaat is dus zichtbaar
- Falen van verf zelf, verf aan zowel *dolly* als nog aan het plaatje
- Falen van hechting lijm, lijm nog aan verf maar gelost aan *dolly* (of omgekeerd)



**Figuur 34** *Pull off test* uitgevoerd op plaatje 982959 (Q-fog)

Bron: eigen werk

Zo verdelen we het oppervlak op figuur 34 als volgt: 40% falen tussen plaat en verflaag, 20% falen van verf zelf en de overige 40% voor het falen van de lijm.

Wanneer alle testen zijn afgerond kunnen de waarden, en de manier van falen met elkaar vergeleken worden.

#### 6.1.3.1 Resultaat *pull off test*

De eerste *dolly* werd na een droogtijd van zes uur van de plaat getrokken, *dolly* twee en drie na 29 uur. Tabel 12 geeft hiervan de gemiddelde resultaten weer. Voor beide momenten van afname liggen de waarden voor de plaatjes uit de onderdompeling opmerkelijk lager. Als we kijken naar de manier van falen voor *dolly's* uit beide opstellingen is het voor plaatjes uit de onderdompeling steeds de lijm die lijkt te falen. Terwijl we voor plaatjes uit het cyclisch drogen vernevelen wel falen van coating kunnen waarnemen. Tabel 13 geeft de manier van falen, procentueel verdeeld over falen tussen coating en plaat (*adhesive*) en falen in coating zelf (*cohesive*), weer.

**Tabel 12** Gemiddelde resultaten *pull off* test MPa uit volledige onderdompeling en cyclisch drogen/vernevelen

Bron: eigen werk

	<u>Na 6 uur</u> <i>Dolly 1</i> MPa ( $\pm$ SE)	<u>Na 29 uur</u> <i>Dolly 2 &amp; 3</i> MPa ( $\pm$ SE)
<b>Onderdompeling</b>	2,46 ( $\pm$ 0,31)	1,78( $\pm$ 0,16)
<b>Cyclisch drogen/vernevelen</b>	5,41 ( $\pm$ 0,43)	4,72( $\pm$ 0,45)

Gebruiken we de waarden opgelegd voor testen als “test op gesimuleerde ballast tank condities” of “condensatiekamer test” als referentie waarden kunnen we verschillende dingen waarnemen. Op vlak van trekkracht zouden deze minimum een waarde van 3,5MPa voor *adhesive failure* en 3MPa voor *cohesive failure* moeten behalen. De testplaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen hebben hier zeker aan voldaan. De plaatjes uit de onderdompeling daarentegen behalen waarden die gemiddeld onder deze grens liggen. Maar als we vervolgens kijken naar de manier waarop de *dolly* is losgekomen, zien we dat het steeds de hechting tussen de lijm en de *dolly* blijkt te falen. Concluderen dat de coating niet aan de norm voldoet kunnen we hier niet. Door het falen van de lijm onder de te behalen grens, hebben we geen waarde voor het falen van de coating zelf. De manier waarop de coating uit het cyclisch drogen/vernevelen faalt is voornamelijk *cohesive failure*, wat wilt zeggen falen in de verflaag zelf. Dit met af en toe een klein oppervlak waar ook de hechting tussen de coating en het plaatje faalt. In figuur 35 zijn twee plaatjes te zien na het afnemen van de *pull off test*, één plaatje uit de onderdompeling en één plaatje uit het cyclisch drogen/vernevelen. Hier is duidelijk te zien dat bij het plaatje uit de onderdompeling lijmrestanten aanwezig zijn als gevolg van het falen hiervan. Het plaatje uit het cyclisch drogen/vernevelen vertoont ook de verschillende vormen van falen. Op figuur 36 zijn de *dolly's* te zien die horen bij de plaatjes uit figuur 35.

**Tabel 13** Gemiddelde manier van falen *pull off test* van volledige onderdompeling en cyclisch drogen/vernevelen

Bron: eigen werk

	Na 6 uur ( <i>dolly 1</i> )		Na 29 uur ( <i>dolly 2&amp;3</i> )	
	<i>Adhesive Failure % (±SE)</i>	<i>Cohesive failure % (±SE)</i>	<i>Adhesive Failure % (±SE)</i>	<i>Cohesive Failure % (±SE)</i>
<b>Onderdompeling</b>	Falen lijm	Falen lijm	Falen lijm	Falen lijm
<b>Cyclisch drogen/vernevelen</b>	5,00 (±2,74)	26,25 (±8,17)	7,80 (±3,67)	17,10 (±2,86)



**Figuur 35** Foto's na het afnemen van *pull off test* (onderdompeling 982478)(cyclisch drogen/vernevelen 982952)

Bron: eigen werk

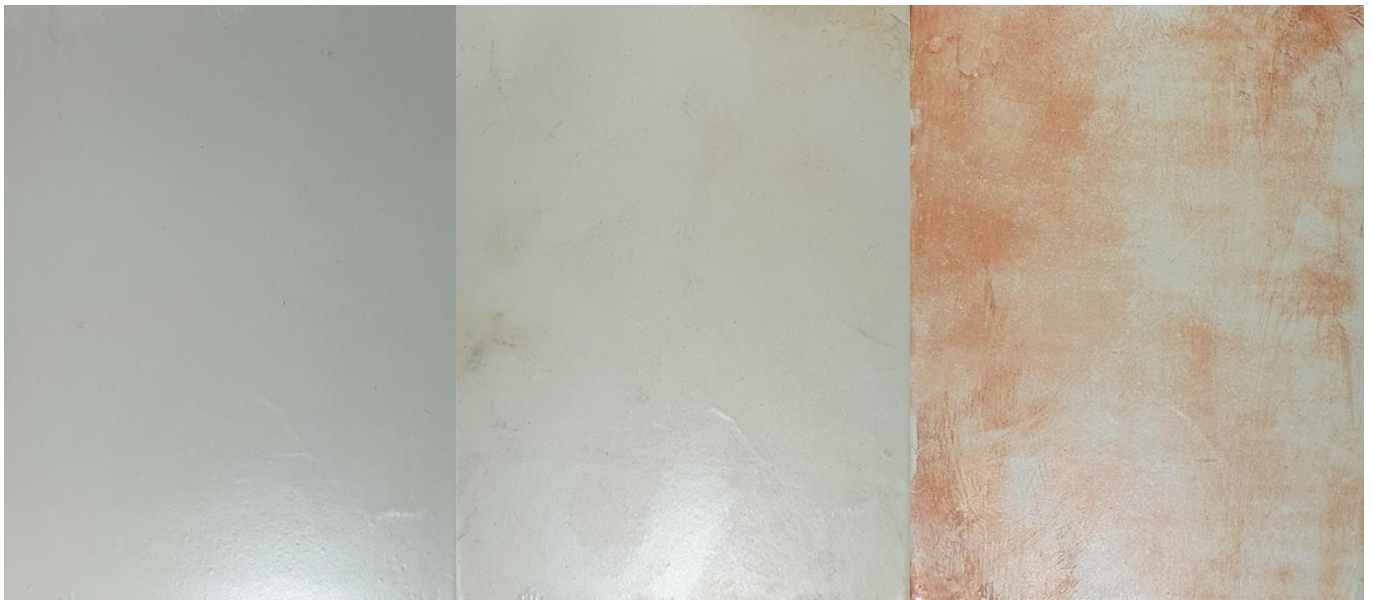


**Figuur 36** *Dolly's* na *pull off test* (onderdompeling 982478) (cyclisch drogen/vernevelen 982952)

Bron: eigen werk

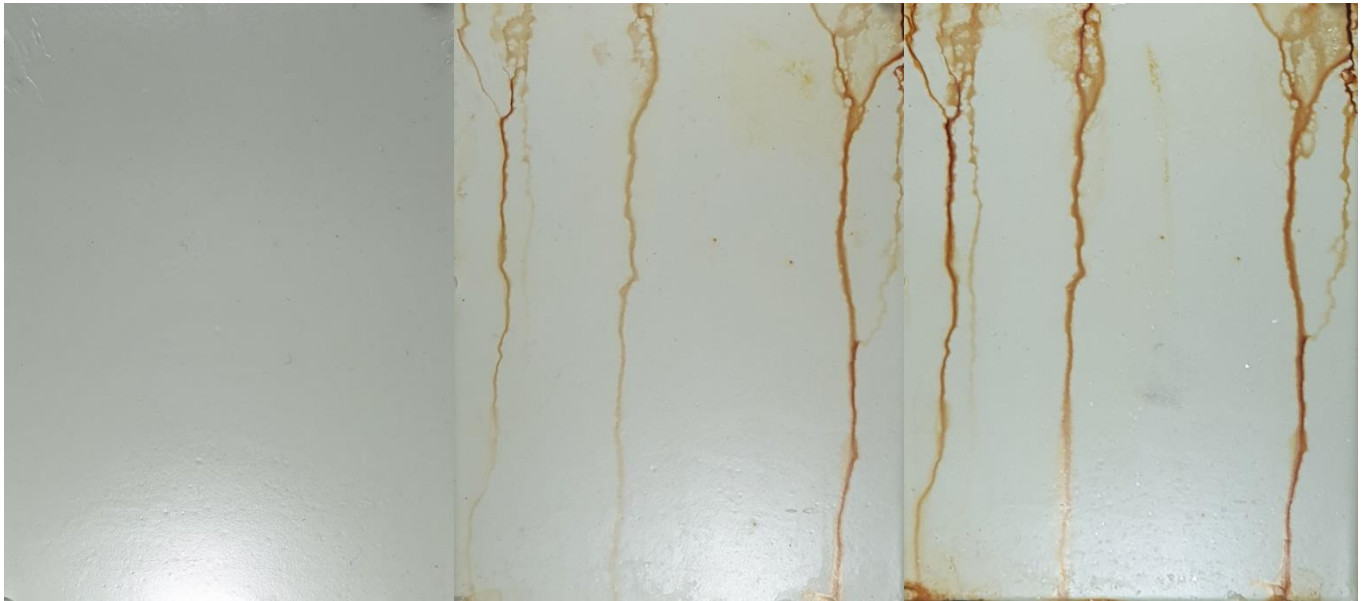
### 6.1.3.2 Visueel verloop van geverfde plaatjes

Het afnemen van de *pull off test* zal, zoals eerder vermeld, uitgevoerd worden op de geverfde plaatjes. Vooraleer deze af te nemen bekijken we eerst de verandering van de plaatjes doorheen de testperiode. De verandering is hier minder spectaculair dan wanneer we kijken naar de niet geverfde plaatjes of de geverfde plaatjes voorzien van een kras. Toch is er verandering zichtbaar naarmate de test vordert. Bij de plaatjes uit de volledige onderdompeling is dit niet in de vorm van corrosie maar eerder vuil dat zich hecht aan de coating. Op de plaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen zijn lijnen van corrosie te zien. Deze zijn afkomstig uit corrosie dat zich gevormd heeft buiten het representatief oppervlak van het testplaatje. Het verschil tussen de geverfde plaatjes uit beide testopstellingen is te zien in figuur 37 en figuur 38.



**Figuur 37** Visueel verloop geverfd plaatje uit onderdompeling (982477)

Bron: eigen werk



**Figuur 38** Visueel verloop geverfd plaatje uit cyclisch drogen/vernevel (982961)

Bron: eigen werk

## 6.2 AMACORT CIFD - 01 testmethode

Net als na afloop van de eerste twee testen zullen we hier de plaatjes evalueren, na afloop van de testperiode, op basis van hun gewicht, de geplaatste kras en het resultaat van de *pull off test*. Ook zullen deze evaluaties gevisualiseerd worden door het verloop weer te geven aan de hand van foto's genomen op verschillende momenten gedurende de testperiode. Doorheen de ganse testperiode zijn regelmatig tussentijdse metingen genomen. Deze bestaan uit het nemen van foto's en het wegen van de plaatjes.

De eindevaluaties werden uitgevoerd onder volgende omstandigheden;

- Relatieve vochtigheid (%RH Relative Humidity): 31,2%
- Omgevingstemperatuur (TA Ambient Temperature): 18,9°C
- Dauwpunttemperatuur (TD Dewpoint Temperature): 1,2°C
- Temperatuur plaatjes: 18°C

Bij het doorlopen van de AMACORT-CIFD01 procedure hebben we in totaal 3 dagen en 6 uur vertraging opgelopen doorheen de gehele testperiode.

- Tussen 17/11 en 19/11: 42u door panne aan de *Q-fog* testcabine (*air valve leak*)
- Tussen 12/12 en 15/12: 36u door panne aan de *Q-fog* testcabine (*air valve leak*)

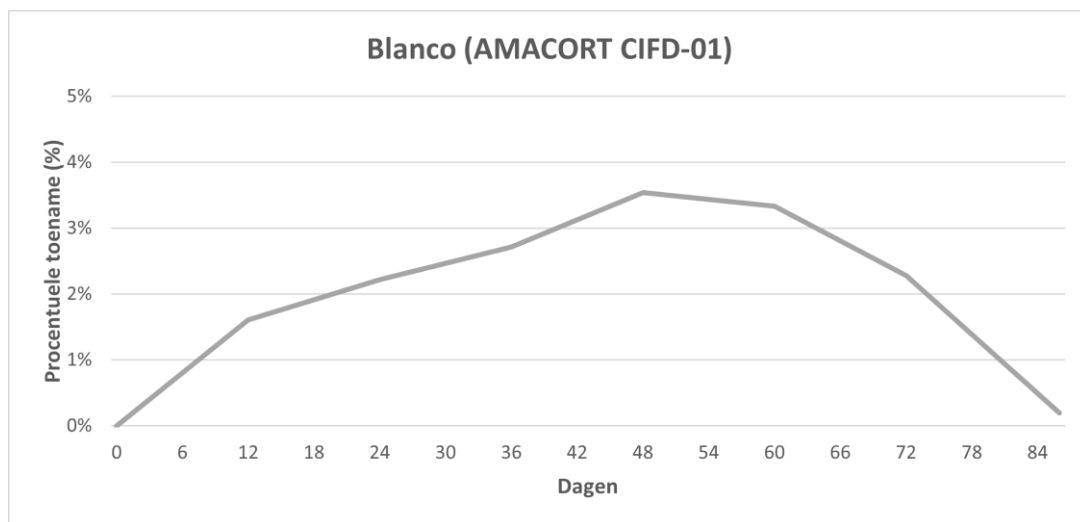
Bij beide pannes is door onze promotor het probleem tijdelijk overbrugd of opgelost.



Algemene opmerking: Door de tussentijdse opmeting staat de klok van de *Q-fog* testcabine wel altijd stil. Het opmeten van de plaatjes duurde altijd ongeveer 20 minuten.

### 6.2.1 Evaluatie van het gewicht

Tijdens de tussentijdse metingen werden de plaatjes telkens gewogen om zo achteraf de verandering doorheen de testperiode weer te kunnen geven. De grafiek in figuur 39 geeft de gemiddelde procentuele verandering van het gewicht van de testplaatjes weer. Hier is te zien dat gedurende de eerste helft van de testperiode de plaatjes in gewicht toenamen. Terwijl ze nadien gewicht verloren om uiteindelijk ongeveer te stranden op hun initiële gewicht.



**Figuur 39** Gemiddelde procentuele verandering van gewicht uit AMACORT CIFD - 01

Bron: eigen werk

De gemiddelde verandering in gewicht tussen begin en einde van de tweede onderzoeksprocedure kunnen we ook terugvinden in tabel 14. Hier is te zien dat gemiddeld het gewicht bij afloop maar 0,20% verschilt met het initiële gewicht van de testplaatjes.

**Tabel 14** Minimale, gemiddelde en maximale verandering in gewicht tussen begin en einde testperiode

Bron: eigen werk

	Minimale verandering	Gemiddelde verandering ( $\pm$ SE)	Maximale verandering
Blanco AMACORT	-2,32%	+0,20% ( $\pm$ 0,01)	+2,46%
CIFD - 1	-8,45g	+0,69g ( $\pm$ 2,93)	+8,77g

Deze veranderingen in gewicht is ook visueel waar te nemen. Tijdens tussentijdse opmetingen in de eerste helft van de testperiode was er een duidelijke aangroei van corrosie zichtbaar. De corrosie aangroei zorgt hier voor een toename in gewicht van de testplaatjes. Wat eerder al zichtbaar was op de grafiek in figuur 38. Naargelang de testperiode vorderde, vorderde ook de aangroei van corrosie. Tot op een punt dat stukken corrosie te zwaar werden en van de testplaat loskwamen. Dit verklaart de verandering in verloop van de grafiek, ongeveer halweg de testperiode.

Het verloop van de blanco plaatjes en de aangroei van corrosie is ook te zien in figuur 40. Deze figuur toont drie verschillende momentopnamen van eenzelfde testplaatje dat de AMACORT CIFD – 01 testmethode heeft doorstaan. Een eerste bij aanvang van de testmethode, een tweede genomen bij een tussentijdse meting ongeveer halweg de testperiode en een derde foto genomen na afloop.



**Figuur 40** Visueel verloop blanco plaatje uit AMACORT CIFD – 01 (982958)

Bron: eigen werk

## 6.2.2 Evaluatie van de kras

Net als bij de evaluatie van de volledige onderdompeling en het cyclisch drogen/vernevelen zijn ook bij deze test plaatjes voorzien van een kras gebruikt. Bij vijf plaatjes werd een kras geplaatst alvorens ze in de testopstelling te plaatsen. De evaluatie van deze krassen zal op identieke wijze verlopen als de evaluatie van krassen uit de eerste twee testen. De minimale, maximale en gemiddelde uitwijking van de kras zal opgemeten worden en de kras zal uiteindelijk ook een rating krijgen. Maar ook zal het verloop van de kras gedurende de testperiode visueel weergegeven worden.

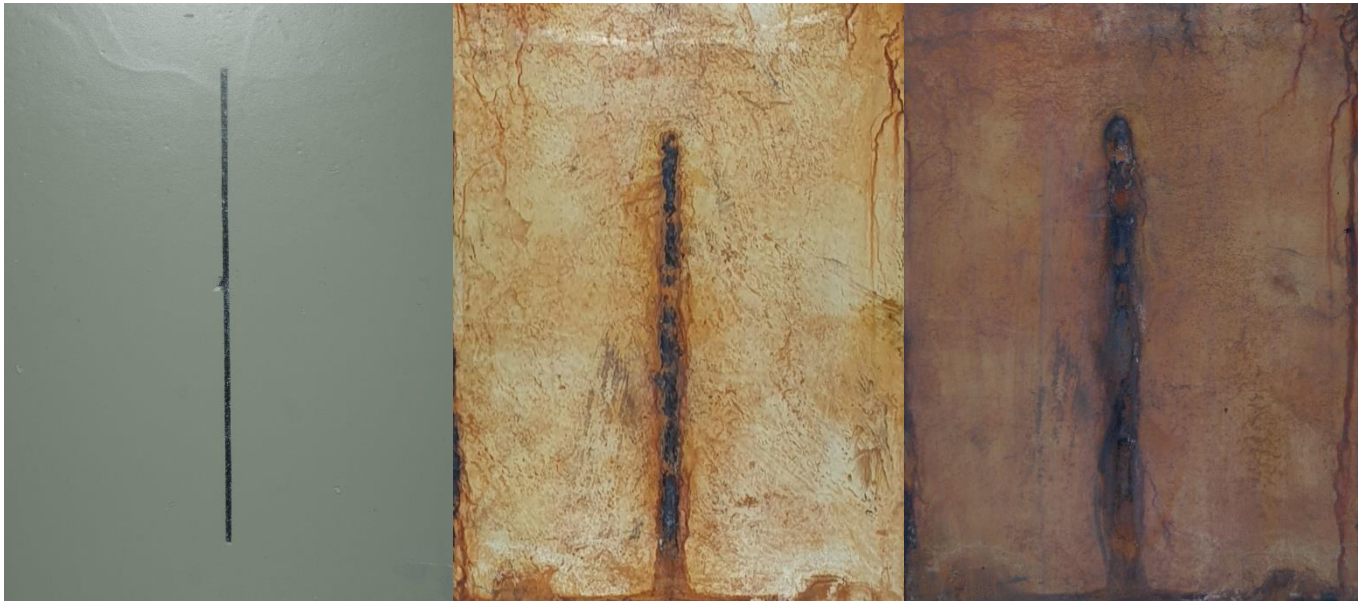
De resultaten van deze opmetingen zijn terug te vinden in tabel 15. Doordat er zich langs de kras blaren hebben gevormd hebben voor elke kras de opmetingen twee keer gedaan. Eenmaal zonder rekening te houden met de blaren en een volgende maal door dit wel te doen. Zo bekomen we twee verschillende ratings.

**Tabel 15** Gemiddelde waarden voor minima, maxima, 15 opmetingen (L&R) en rating voor krassen uit AMACORT CIFD - 01

Bron: eigen werk

	Minima (mm) ( $\pm$ SE)	Maxima (mm) ( $\pm$ SE)	15 metingen (L&R) (mm) ( $\pm$ SE)	Rating ( $\pm$ SE)
<b>AMACORT CIFD-01 (zonder blaren)</b>	0,00 ( $\pm$ 0,00)	2,20 ( $\pm$ 0,18)	0,81 ( $\pm$ 0,12)	8,00 ( $\pm$ 0,28)
<b>AMACORT CIFD-01 (met blaren)</b>	2,20 ( $\pm$ 0,18)	10,40 ( $\pm$ 1,04)	4,85 ( $\pm$ 0,41)	4,80 ( $\pm$ 0,18)

Om de evolutie van de kras weer te geven maken we in figuur 41 gebruik van drie momentopnamen. Hier zien we duidelijk de verandering en corrosievorming in en langs de kras naargelang de testperiode vordert. Ook is de blarengroei langsheen de kras te zien.



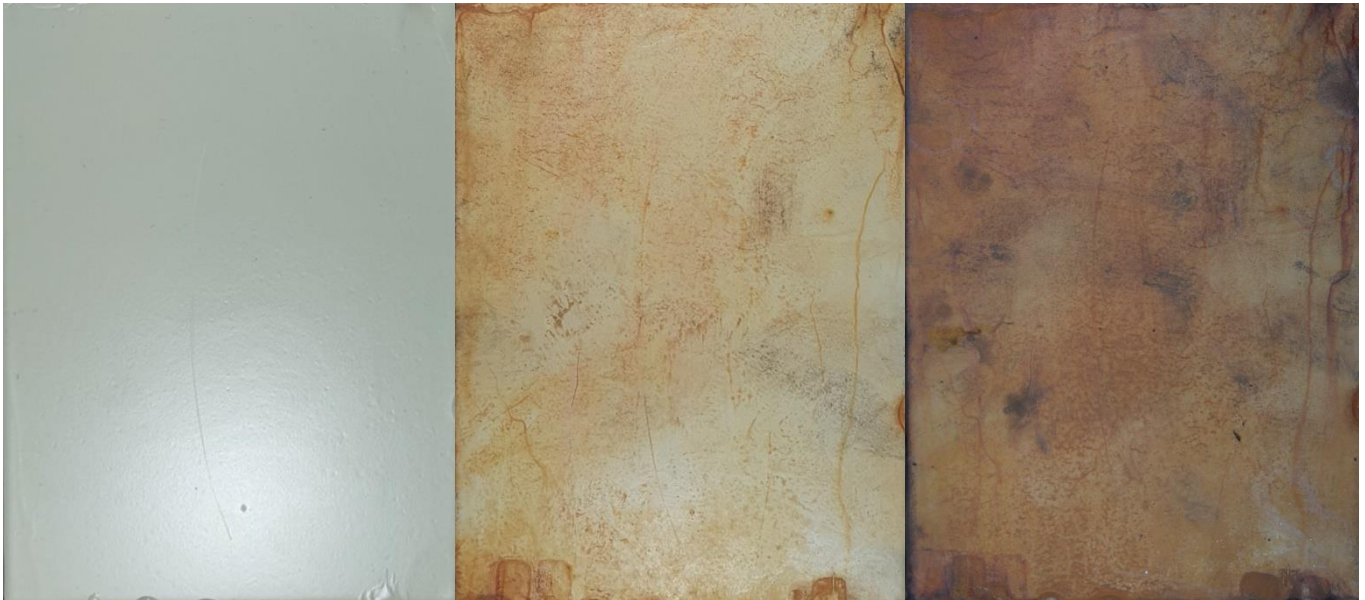
**Figuur 41** Visueel verloop kras op plaatje uit AMACORT CIFD – 01 (982969)

Bron: eigen werk

### 6.2.3 *Pull off test* evaluatie

Hier zullen we de vijf geverfde plaatjes evalueren op basis van de *pull off test*. Op elk plaatje zullen drie *dolly's* worden geplaatst, het plaatsen hiervan gebeurt identiek aan de methode beschreven in 6.1.3. Ook zal de eerste *dolly* eerder worden getrokken en *dolly's* twee en drie op een later moment. Het is van belang dat dezelfde methode wordt gebruikt, maar ook dat de tijd tussen het plaatsen en de *pull off test* zelf gelijk zijn. Zo kunnen we verder in dit onderzoek de resultaten uit de eerste twee afzonderlijke testen vergelijken met de resultaten die uit deze evaluatie volgen.

Het visueel verloop van de geverfde plaatjes uit de AMACORT CIFD – 01 testopstelling is weergegeven aan de hand van drie momentopnames in figuur 42.



**Figuur 42** Visueel verloop geverfde plaatje uit AMACORT CIFD – 01 (982962)

Bron: eigen werk

De tijd tussen het plaatsen van de *dolly's* en het afnemen van de *pull off test* is identiek aan de tijd gehanteerd bij de evaluatie van de twee afzonderlijke testen. Een eerste *dolly* na 6 uur en de tweede en derde pas na 29 uur. De behaalde resultaten zijn te zien in tabel 16. Zowel de waarden na zes uur als de waarden na 29 uur liggen gemiddeld onder de 3 MPa.

**Tabel 16** Gemiddeld resultaat van *pull off test* uit AMACORT CIFD - 01

Bron: eigen werk

	<u>Na 6 uur</u> Dolly 1 MPa ( $\pm$ SE)	<u>Na 29 uur</u> Dolly 2&3 MPa ( $\pm$ SE)
<b>AMACORT CIFD - 01</b>	2,81 ( $\pm$ 0,09)	2,63( $\pm$ 0,25)

Kijken we naar de manier waarop deze *dolly's* gefaald hebben, te zien in tabel 17, zien we dat het voornamelijk falen tussen verflagen zelf blijkt te zijn. In geen enkel geval was het de hechting tussen het testplaatje en de coating dat faalde. Het was voornamelijk de hechting tussen de lijm en de *dolly* dat faalde. Bij enkele was het zelfs enkel deze hechting dat faalde en niets van coating dat loskwam. In het geval dat de verflaag wel faalde ging het voornamelijk over de bovenste laag dat gedeeltelijk loskwam. Dit is ook te zien in figuur 43, hier is een foto

te zien van een testplaatje met bijhorende *dolly's*, genomen na het afnemen van de *pull off test*. De restanten van lijm zijn zichtbaar als ook het falen van de verflaag.

**Tabel 17** Gemiddelde manier van falen *pull off test* uit AMACORT C1FD - 01

Bron: eigen werk

	Na 6 uur ( <i>dolly 1</i> )		Na 29 uur ( <i>dolly 2&amp;3</i> )	
	<i>Adhesive failure % (±SE)</i>	<i>Cohesive failure % (±SE)</i>	<i>Adhesive failure % (±SE)</i>	<i>Cohesive failure % (±SE)</i>
<b>AMACORT C1FD - 01</b>	0,40 (±0,09)	15,20 (±7,07)	0,00 (±0,00)	8,90 (±3,58)



**Figuur 43** Plaatje uit AMACORT C1FD – 01 en bijhorende *dolly's* na afnemen *pull off test* (982962)

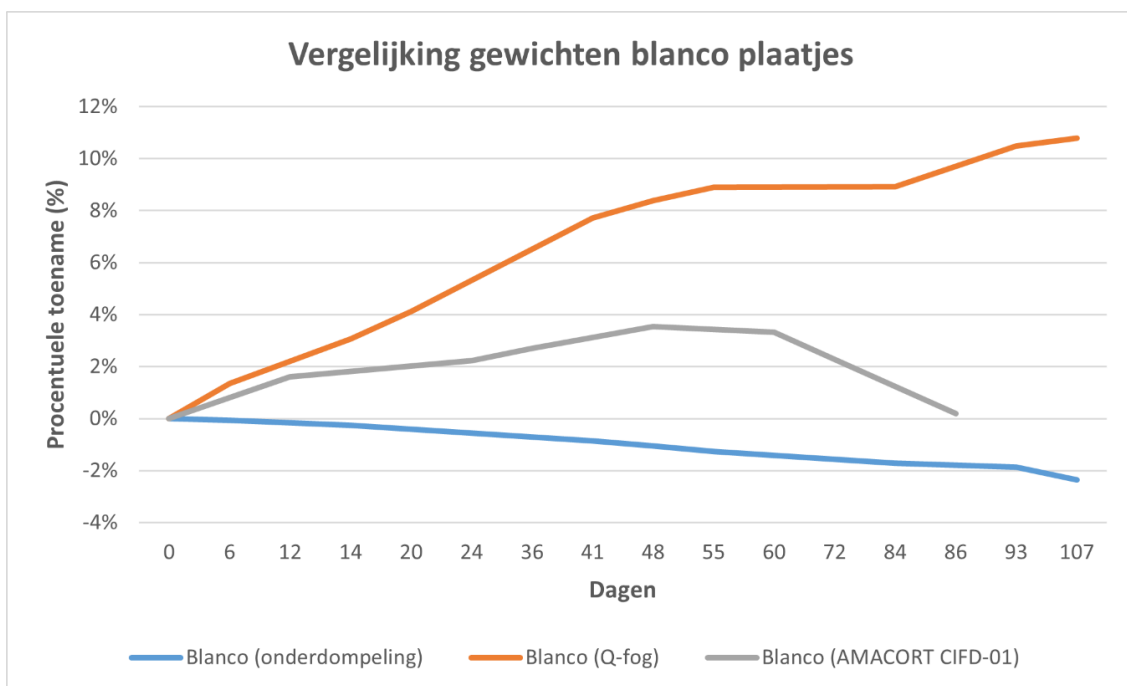
Bron: eigen werk

### 6.3 Vergelijken van de verschillende testen

Na het afzonderlijk evalueren gaan we de resultaten van de drie verschillende testen naast elkaar zetten. Op deze manier gaan we zien of er verschillen zijn tussen enerzijds de aparte, bestaande testmethoden en de testmethode die tracht meer aan te sluiten bij de realiteit aan boord. We maken hiervoor gebruik van alle evaluatie elementen die eerder reeds aan bod kwamen. Dit zijnde de gewichten van de plaatjes, het verloop van de kras en resultaten van de *pull off test*. We zullen gebruik maken van foto's om ook visueel het verschil aan te tonen tussen de drie verschillende testen.

### 6.3.1 Vergelijken van de gewichten

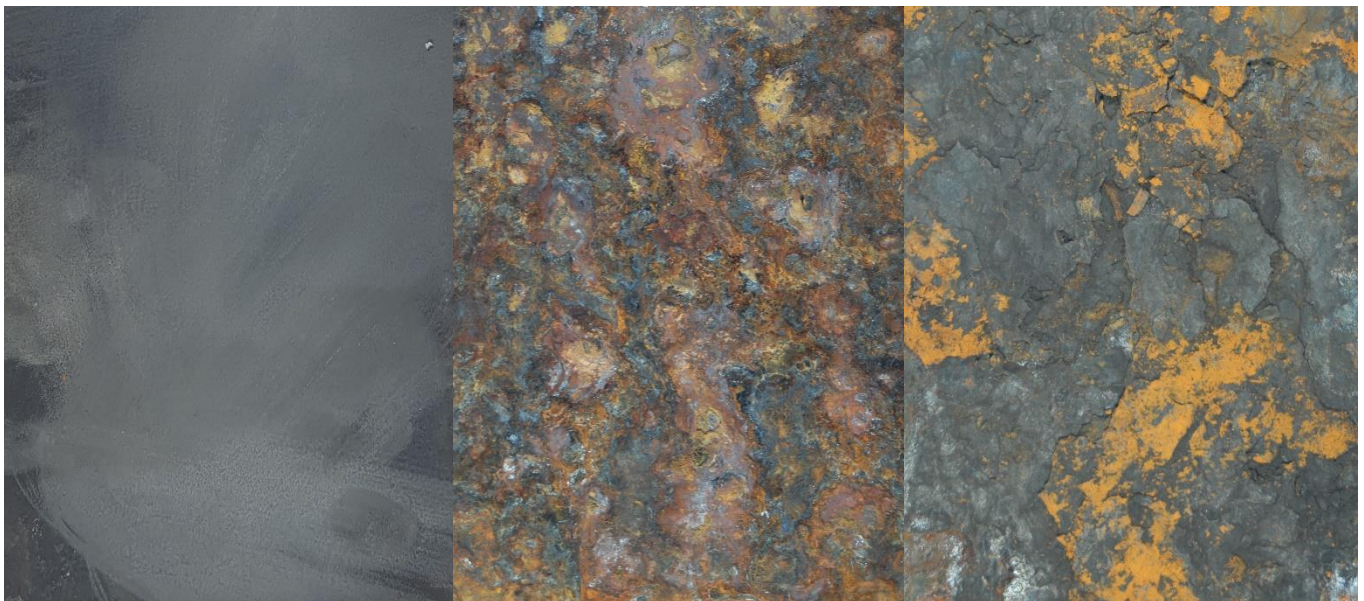
Om het verloop van de gewichten uit de verschillende testopstellingen weer te geven, plaatsen we alle gegevens in éénzelfde grafiek. We maken hier wederom gebruik van het verloop van de gewichten van de blanco testplaatjes. Op de grafiek in figuur 44 is de gemiddelde procentuele verandering in het gewicht weergegeven doorheen de ganse testperiode. Hier zien we duidelijk dat de drie verschillende testen elk een verschillend verloop weergeven. Enerzijds hebben we de plaatjes uit de onderdamping die naarmate de testperiode vordert in gewicht afnemen. Anderzijds nemen de testplaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen in gewicht toe. De grafieklijn voor de plaatjes uit de AMACORT CIFD - 01 test valt tussen deze twee aparte testmethoden. In het begin nemen de plaatjes in gewicht toe net als de plaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen, weliswaar in mindere mate. Verder in de testperiode nemen ze in gewicht af, net zoals dat de plaatjes uit de volledige onderdamping in gewicht afnemen doorheen de testperiode. Het verlies aan gewicht is bij plaatjes uit de AMACORT CIFD – 01 testmethode wel groter in vergelijking met de plaatjes uit de volledige onderdamping. We stellen dus vast dat het combineren van beide testmethode als het ware ook een combinatie geeft van beide verlopen.



**Figuur 44** Procentueel verloop van de gewichten van blanco plaatjes uit de verschillende testmethoden

Bron: eigen werk

Plaatsen we vervolgens drie foto's, van blanco plaatjes, na afloop van elke test naast elkaar zijn deze ook duidelijk uit elkaar te houden. Het testplaatje uit de onderdompeling is nauwelijks veranderd, wat overeenkomt met het minieme verlies aan gewicht. Op plaatje twee, uit het cyclisch drogen/vernevelen, is duidelijk aangroei van corrosie zichtbaar. Het laatste plaatje, uit de gecombineerde testmethode, vertoont ook corrosievorming, al zijn dit hier losse stukken. Deze stukken corrosie leken aan te groeien gedurende hun periodes in de cyclisch drogen/vernevelen opstelling. Tijdens hun periodes in de onderdompelingsopstelling leken deze stukken te weken in het warme artificiële zeewater om vervolgens los te komen van het plaatje. Wat resulteert in verlies aan gewicht.



**Figuur 45** Blanco plaatjes na afloop van testperiode (onderdompeling 982482, cyclisch drogen/vernevelen 982954, AMACORT CIFD – 01 982958)

Bron: eigen werk

Na afronden van alle evaluaties hebben getracht zoveel mogelijk corrosie te verwijderen van de blanco plaatjes. Om nadien de plaatjes opnieuw te wegen en zo een idee te verkrijgen van de hoeveelheid corrosie die aanwezig was op de testplaatjes. We hebben dit gedaan door gebruik te maken van de straalcabine op de campus, deze werd eerder al gebruikt tijdens de oppervlakte voorbereiding van de testplaatjes. Ook werd hetzelfde type straalgrit hier gebruikt, zijnde 50 GH. Hiermee werden alle losse stukken corrosie verwijderd, maar alle roest



verwijderen was niet mogelijk. Dit werd telkens gedaan met drie blanco plaatjes uit de drie verschillende testen, het resultaat hiervan is te zien in figuur 46.

Plaatjes afkomstig uit de volledige onderdompeling en het cyclisch drogen/vernevelen zijn tussen het afronden van de testen en het stralen gedurende tien maanden bewaard in plastic zakken. Hoewel deze zakken luchtdicht afgesloten zijn heeft er zich toch corrosievorming voorgedaan in deze periode. Dit is te zien aan het verschil in gewicht tussen de opmeting na afronden van de testperiode en het gewicht net voor het stralen. De aangroei van corrosie tijdens deze periode is verschillende voor plaatjes die oorspronkelijk uit de volledige onderdompeling komen in vergelijking met de plaatjes afkomstig uit het cyclisch drogen/vernevelen. Dit is ook te zien aan de toename in gewicht weergegeven in tabel 18, hier is ook het verschil tussen voor en na het stralen te zien.

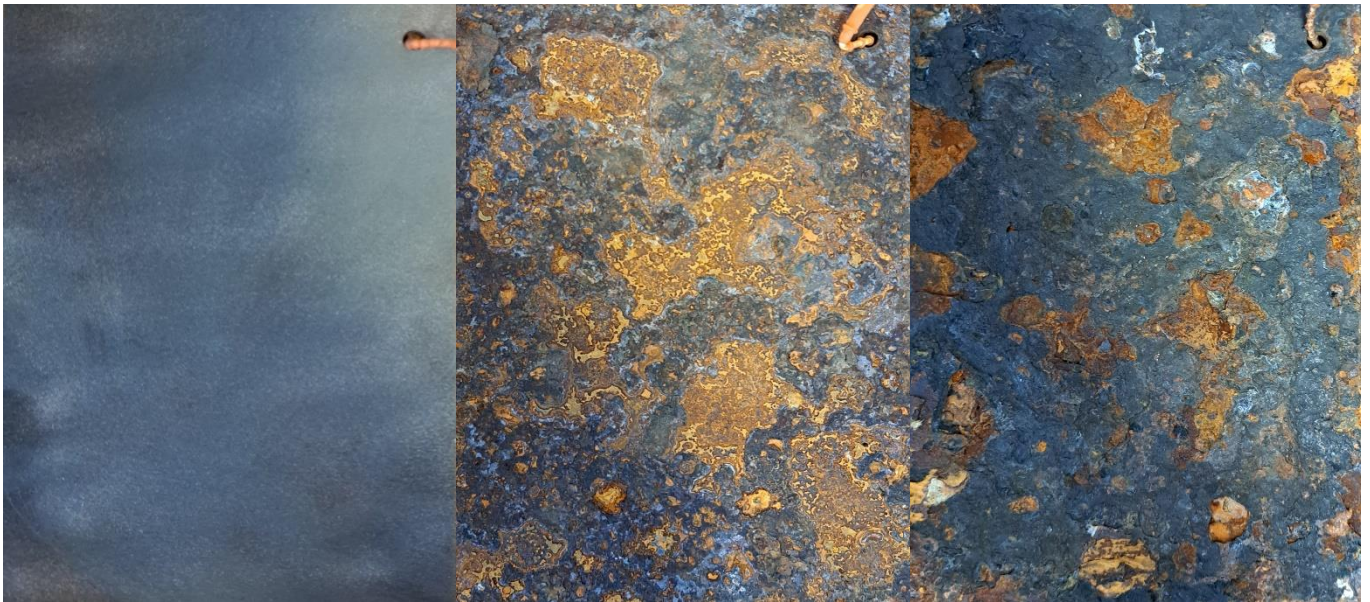
**Tabel 18** Gewichten van drie blanco plaatjes uit de drie verschillende testen voor en na stralen

Bron: eigen werk

	Plaatnummer	Initieel gewicht (gram)	Aflopen test (gram)	Toename (gram)	Voor stralen (gram)	Na stralen (gram)	Vershil (gram)
<b>Onderdompeling</b>	982484	364,53	356,12	0,21	356,33	356,10	0,23
	982485	361,81	353,56	0,13	353,69	353,51	0,18
	982482	362,75	353,96	0,24	354,2	354,05	0,15
<b>Cyclisch drogen/vernevelen</b>	982954	358,47	397,16	0,75	397,91	304,18	93,73
	982945	364,97	407,21	1,88	409,09	305,78	103,31
	982943	363,88	405,84	1,57	407,41	304,85	102,56
<b>AMACORT CIFD - 01</b>	982957	362,97	362,76	/	/	342,88	19,88
	982955	356,65	365,42	/	/	334,16	31,26
	982992	364,04	355,59	/	/	328,14	27,45

Bij de plaatjes die uit de volledige onderdompeling komen is het verschil tussen voor en na het stralen miniem. Bij de plaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen was het verschil een stuk groter. Bij deze plaatjes kwamen er na het stralen grote stukken corrosie los van de plaatjes. Voorbeelden van deze stukken zijn te zien in figuur 47. Hierdoor komt het gewicht van deze plaatjes uiteindelijk opmerkelijk onder het initiële gewicht, gemeten bij aanvang van de test, te liggen. Voor de drie plaatjes afkomstig uit de AMACORT CIFD – 01 testmethode is

de hoeveelheid corrosie die verwijderd werd minder dan bij het cyclisch drogen/vernevelen. Wanneer we kijken naar het gewicht van de plaatjes na het stralen, zien we dat het gewicht van de plaatjes uit de AMACORT CIFD – 01 testmethode tussen de gewichten uit de volledige onderdompeling en uit het cyclisch drogen/vernevelen liggen. We krijgen hier weer te zien dat door het combineren van beide testen we ook een waarde bekomen die tussen de waarden van de afzonderlijke testen ligt.



**Figuur 46** Blanco plaatjes na stralen (onderdompeling 982482, cyclisch drogen/vernevelen 982943, AMACORT CIFD – 01 982957)



**Figuur 47** Stukken corrosie afkomstig van plaatjes uit cyclisch drogen/vernevelen

Bron: eigen werk

### 6.3.2 Vergelijken van de kras

Een volgende methode waarmee we de verschillende testopstellingen met elkaar gaan vergelijken is aan de hand van de kras. De verschillende krassen zijn hiervoor apart al geëvalueerd en besproken. Hier gaan we deze resultaten naast elkaar zetten en zien of we verschillen kunnen opmerken tussen de bestaande, aparte testen en de AMACORT CIFD – 01 testmethode.

Aan elke kras is een rating toegekend. We hebben deze rating, in het geval van blarenvorming rondom de kras, tweemaal bepaald. In wat volgt zullen we gebruik maken van de rating voor de kras inclusief de blarenvorming. Dit omdat deze blarenvorming wel degelijk afkomstig is uit de kras en hier dus ook deel van uitmaakt, de coating is in deze gevallen ook erger aangetast. De gemiddelde rating van telkens de vijf testplaatjes uit elke testmethode is weergegeven in tabel 19.

**Tabel 19** Gemiddelde rating van krassen uit verschillende testmethoden

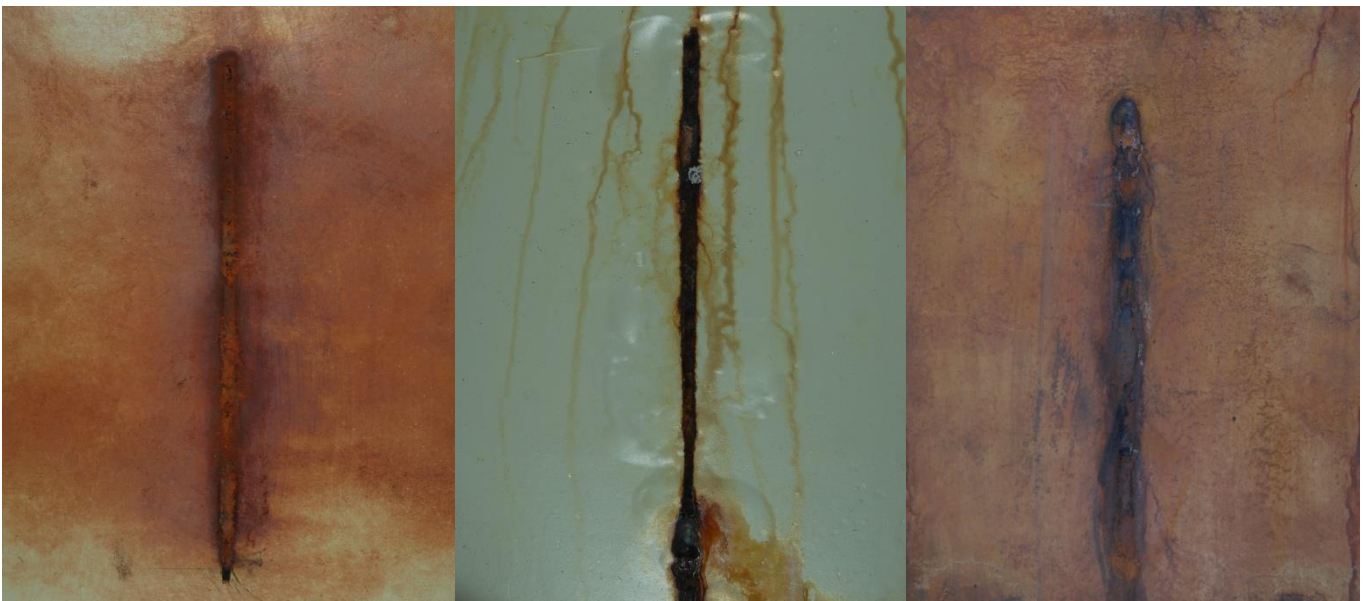
Bron: eigen werk

	<b>Onderdompeling</b>	<b>Cyclisch drogen/vernevelen</b>	<b>AMACOT CIFD - 01</b>
Rating ( $\pm$ SE)	8.80 ( $\pm$ 0.18)	3.60 ( $\pm$ 0.36)	4.80 ( $\pm$ 0,18)

Een hogere rating, gaande van 0 tot en met 10, wijst op een kras waarbij corrosie minder ver uitgegroeid is in vergelijking met krassen met een lagere rating. Tijdens het evalueren van de eerste twee testen konden we bij de kras afkomstig uit de onderdompeling geen blaren vaststellen, hierdoor de relatief hogere gemiddelde rating. Deze blaren waren wel aanwezig rondom de krassen uit het cyclisch drogen/vernevelen. Dit wijst op de opmerkelijk lagere rating die gemiddeld werd toegekend aan deze krassen. Krassen uit de AMACORT CIFD – 01 opstelling kregen gemiddeld een rating die meer aanleunt bij de ratings voor het cyclisch drogen/vernevelen. Weliswaar liggen deze waarden hoger, doordat de blarengroei rondom deze krassen minder uitgesproken zijn.

Als we drie foto's naast elkaar plaatsen van krassen uit verschillende opstellingen na afloop van elke testperiode, te zien in figuur 48, zien we enerzijds verschillen maar evengoed

gelijkenissen. Tussen de krassen uit de onderdompeling en het cyclisch drogen/vernevelen zien we duidelijk verschil, voornamelijk door de extensieve blarenvorming langsheen de kras. De kras uit de AMACORT CIFD – 01 testmethode vertoont eigenschappen die in beide krassen uit de aparte testmethoden terug te vinden zijn. Langsheen de kras is er ook blarenvorming aanwezig, dit wel in mindere mate dan bij de krassen uit het cyclisch drogen vernevelen. Maar de corrosiegroei in de kras zelf valt meer te vergelijken met de corrosiegroei in de kras uit de onderdompeling. De krassen uit de AMACORT CIFD – 01 testmethode lijken dus als het ware op een combinatie van de krassen uit de aparte testopstellingen.



**Figuur 48** Krassen na afloop testperiode uit de drie verschillende testmethoden (onderdompeling 982471, cyclisch drogen/vernevelen 982489, AMACORT CIFD – 01 982969)

Bron eigen werk

### 6.3.3 Vergelijking *pull off* test

In dit hoofdstuk zullen we aan de hand van de resultaten van de afgenomen *pull off* testen opzoek gaan naar verschillen tussen de drie testen en gaan we na of het we door het combineren van beide methoden andere resultaten verkrijgen of niet. We maken hiervoor gebruik van de behaalde trekkrachten als ook de manier van falen. Tabel 20 geeft van al deze waarden een overzicht weer.

Wanneer we kijken naar de gemiddelde behaalde trekkrachten alvorens dat de *dolly* loskwam van de plaat, merken we op dat de waarden uit de AMACORT CIFD - 01 methode niet veel hoger liggen dan de waarden uit de onderdompeling. Dit terwijl de *dolly's* van de testplaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen opmerkelijk hogere waarden behalen. Ook de manier van falen is voor deze plaatjes meer in lijn met wat te verwachten valt na een *pull off test*. Hier is wel degelijk falen tussen de verflaag en het plaatje als ook falen tussen de verflagen onderling zichtbaar. Terwijl het bij de onderdompeling hoofdzakelijk de hechting tussen *dolly* en lijm was dat faalde. Bij de testplaatjes uit de AMACORT CIFD – 01 testmethoden was het ook voornamelijk deze hechting dat faalde, met hierbij enkele keren een andere vorm van falen.

**Tabel 20** Gemiddelde resultaten van *pull off* testen uit de verschillende testmethoden

Bron: eigen werk

	Na 6 uur <i>Dolly 1</i> MPa ( $\pm$ SE)	Na 29 uur <i>Dolly 2&amp;3</i> MPa ( $\pm$ SE)	Manier van falen (%) ( $\pm$ SE)			
			<u>Adhesive</u>		<u>Cohesive</u>	
			6 uur	29 uur	6 uur	29 uur
<b>Onderdompeling</b>	2,46 ( $\pm$ 0,31)	1,78 ( $\pm$ 0,16)	Falen lijm		Falen lijm	
<b>Cyclisch drogen/vernevelen</b>	5,42 ( $\pm$ 0,43)	4,72 ( $\pm$ 0,45)	5,00 ( $\pm$ 2,74)	7,80 ( $\pm$ 3,67)	26,25 ( $\pm$ 8,17)	17,10 ( $\pm$ 2,86)
<b>AMACORT CIFD – 01</b>	2,81 ( $\pm$ 0,09)	2,63 ( $\pm$ 0,25)	0,40 ( $\pm$ 0,36)	0,00 ( $\pm$ 0,00)	15,20 ( $\pm$ 7,07)	8,90 ( $\pm$ 3,58)

Nemen we wederom de waarden uit de “test op gesimuleerde ballast tank condities” en de “condensatiekamer test”, zijnde 3 MPa voor *adhesive failure* en 3,5 MPa voor *cohesive failure*, zien we dat zowel bij onderdompeling als bij AMACORT CIFD – 01 gemiddeld de resultaten hier onder liggen. Een coating zou dus minimaal die trekkrachten moeten kunnen weerstaan, wat dus wilt zeggen dat dit ook geldt voor de hechting van de lijm. Hieruit valt af te leiden dat de hechting van de lijm niet voldoende was om een representatieve *pull off test* te bekomen.

De drie foto's in figuur 49 tonen telkens een geveerd plaatje uit elke opstelling na afloop van de testperioden.



**Figuur 49** Geverfde plaatjes na afloop testperiode (onderdompeling 982477, cyclisch drogen/vernevelen 982961, AMACORT CIFD – 01 982962)

Bron eigen werk

## 7 Conclusie

Uit de literatuurstudie is gebleken dat er vandaag de dag veel uiteenlopende testmethoden bestaan. Ze hebben elk hun eigen manier van aanpakken als ook verschillende te behalen criteria. De testmethodes behandelen steeds maar één bepaalde situatie die aan boord kan voorkomen. Zo simuleert het cyclisch drogen/vernevelen de situatie waarbij een ballast tank leeg of zeer vochtig is. Een testmethode dat gebruik maakt van een volledige onderdompeling simuleert dan weer de situatie waarbij de ballast tank gevuld is. Thans zal een ballast tank, aan boord van een tanker, regelmatig afwisselen tussen de verschillende situaties. Hierdoor kunnen we concluderen dat tot op heden coatings worden beoordeeld op basis van testen die niet volledig representatief zijn voor de praktijk.

Na het evalueren van de drie testen, die zijn doorlopen in dit onderzoek, zijn er verschillen vast te stellen. Enerzijds verschillen tussen de twee bestaande testen zelf, zijnde de volledige onderdompeling en het cyclisch drogen/vernevelen, maar ook tussen deze testen en de combinatie hiervan. De twee afzonderlijke testen zijn bestaande testmethoden voor het evalueren van een ballast tank coating, toch hadden ze elks een verschillend effect op de testplaatjes. Blanco testplaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen nemen door aangroei van corrosie opvallend in gewicht toe doorheen de testperiode. Dit terwijl de plaatjes uit de volledige onderdompeling doorheen de testperiode geleidelijk in gewicht afnemen. Bij het verwijderen van de corrosie, doormiddel van stralen, komen er bij de plaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen grote stukken corrosie los. Hoewel er bij de plaatjes uit de volledige onderdompeling maar een miniem verschil in gewicht waarneembaar was. Ook de krassen uit het cyclisch drogen/vernevelen kregen een opmerkelijk lagere rating in vergelijking met de krassen uit de volledige onderdompeling. Dit voornamelijk door de aanwezige blarenvorming langsheen de kras. Het was enkel bij de *pull off test* dat de plaatjes uit de volledige onderdompeling minder goed presteerden dan de plaatjes uit het cyclisch drogen/vernevelen. Al was het hier voornamelijk de hechting tussen de lijm en de *dolly* die onvoldoende bleek te zijn. Uit de verschillende evaluaties kan vastgesteld worden dat de twee bestaande testmethoden wel degelijk een verschillend effect hebben op de testplaatjes. Het lijkt erop dat het cyclisch drogen/vernevelen een agressiever milieu simuleert voor de testplaatjes.

De test die tracht meer aan te sluiten bij de realiteit, zijnde het AMACORT CIFD – 01 testprotocol, levert na de evaluatie resultaten op die tussen de resultaten van de afzonderlijke testen liggen. Het is niet enkel aan de hand van de evaluatiemethoden vast te stellen dat het gaat om een combinatie van de aparte testen, maar ook visueel is dit waar te nemen.

Door een corrosief milieu te simuleren dat meer aansluit bij de realistische situatie in een ballast tank bekomen we resultaten die verschillen met de resultaten van de aparte, bestaande testmethoden. Al is er ook een merkbaar verschil waar te nemen tussen deze twee bestaande testen zelf. De resultaten van de AMACORT CIFD – 01 testmethode liggen tussen de resultaten van de aparte testen. Zo kan vastgesteld worden dat de test met het cyclisch drogen/vernevelen een corrosief milieu simuleert dat destructiever is in vergelijking met de meer realistische simulatie. Daartegenover is de volledige onderdompeling minder destructief.

## Reflectie

De testen, en zo ook de resultaten, zijn in dit onderzoek beïnvloedt geweest door de pannes van de testcabine voor het cyclisch drogen/vernevelen. Hierdoor zijn de testen niet exact verlopen zoals ze oorspronkelijk gepland waren. Ook bij de *pull off test* was er tegenslag, doordat het vaak de hechting van de lijm was die faalde. Enkel bij de test op het cyclisch drogen vernevelen waren de *pull off* resultaten in lijn met wat te verwachten is van deze test. Bij de volledige onderdompeling en de AMACORT CIFD – 01 testmethode was het voornamelijk de lijm dat faalde. Hierdoor konden we, naar ons gevoel, de *pull off test* niet ten volle benutten om de testmethoden met elkaar te vergelijken.



# Bibliografie

- Aamodt, M., Guy, A., & Kattan, R. (2021, 6 februari). Solvent-free epoxy coatings—A common universal definition. Geraadpleegd 24 februari 2022, van [materialperformance.com](http://materialperformance.com)
- Admin, N. (2020, 15 februari). The importance of corrosion prevention & how polyurethane can help. *TPC INC urethane*. Geraadpleegd 25 februari 2022, van [goturethane.com](http://goturethane.com)
- Cassidy, P., & Kibler, M. (2021, 20 augustus). Analysis of coating blister failures and associated coating and substrate risks. *KTA*. Geraadpleegd 23 maart 2022, van <https://kta.com/kta-university/coating-blister-failures-risks/>
- Corrosionpedia. (2015, 6 november). Solvent-Free. Geraadpleegd 24 februari 2022, van [www.corrosionpedia.com](http://www.corrosionpedia.com)
- Corrosionpedia. (2021a, 23 oktober). Edge Retention. Corrosionpedia. Geraadpleegd van <https://www.corrosionpedia.com/definition/5503/edge-retention#:~:text=Definition%20%2D%20What%20does%20Edge%20Retention,edges%20in%20a%20sufficient%20amount>
- Corrosionpedia. (2021b, 15 juni). Cathodic Disbondment. Corrosionpedia. Geraadpleegd van <https://www.corrosionpedia.com/definition/228/cathodic-disbondment>
- D01 Committee. (2005). *Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*. ASTM International. doi:10.1520/D1654-05
- D01 Committee. (2010). *Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*. ASTM International. doi:10.1520/D1654-05

- D01 Committee. (2016). *Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*. ASTM International. doi:10.1520/D1654-08R16E01
- D01 Committee. (2018). *Test Method for Coating Flexibility of Prepainted Sheet*. ASTM International. doi:10.1520/D4145-10R18
- D19 Committee. (2013). *Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water*. ASTM International. doi:10.1520/D1141-98R13
- De Baere, K., Verstraelen, H., Rigo, P., Van Passel, S., Lenaerts, S., & Potters, G. (2012, 12 februari). Reducing the cost of ballast tank corrosion: An economic modeling approach. Elsevier. Geraadpleegd van [www.elsevier.com/locate/marstruc](http://www.elsevier.com/locate/marstruc)
- Defelsko. (2009). Pull-off Adhesion Testers. *PosiTest AT*. Geraadpleegd 21 februari 2022, van [defelsko.com](http://defelsko.com)
- DNVGL. (2017 juni). Protective coating systems for seawater ballast tanks and double-side skin spaces. Geraadpleegd van <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/CP/2015-12/DNVGL-CP-0108.pdf>
- Elcometer. (2020a, 16 januari). 2. Selecting the Dolly Diameter and Gauge. Geraadpleegd 21 februari 2022, a van [elcometer.com](http://elcometer.com)
- Elcometer. (2020b, 16 januari). 3. Selecting the most appropriate position for an adhesion test. Geraadpleegd 21 februari 2022, b van [elcometer.com](http://elcometer.com)
- Elcometer. (2020c, 16 januari). 5. To Cut or Not to cut? Geraadpleegd 21 februari 2022, c van [elcometer.com](http://elcometer.com)
- Elcometer. (2020d, 16 januari). 7. Assessing the Result; Glue, adhesive and cohesive failures. Geraadpleegd 21 februari 2022, d van [elcometer.com](http://elcometer.com)

Eliasson, J., & Towers, R. (2007). The future of ballast tank coatings. Geraadpleegd van [paintsquare.com](http://paintsquare.com)

European Commission. (2019, 2 augustus). The VOC Solvents Emissions Directive. *Industrial Emissions*. Geraadpleegd 24 februari 2022, van [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu)

Fletcher, J., & Barnes, D. (2015). PULL-OFF ADHESION TESTING OF COATINGS – IMPROVE YOUR TECHNIQUE. Elcometer Limited. Geraadpleegd van [https://www.elcometer.com/images/stories/PDFs/Pull-Off\\_Adhesion\\_Testing\\_of\\_Coatings\\_Improve\\_Your\\_Technique.pdf](https://www.elcometer.com/images/stories/PDFs/Pull-Off_Adhesion_Testing_of_Coatings_Improve_Your_Technique.pdf)

G01 Committee. (2009). *Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing*. ASTM International. doi:10.1520/G0085-09

G01 Committee. (2021). *Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus* (p. 12). United States, ASTM International. doi:10.1520/B0117-11

Hempel. (2007 december). Hempadur45141/Hempadur 45143. Geraadpleegd van <https://www.hempel.com.hk/product-list/PDS-AI-Download?download=1&quality=45141&doctype=pds&lang=en-GB&fileName=%22PDS%20HEMPADUR%2045141%20en-GB.pdf%22>

HMG Paints Ltd. (2021, 10 maart). Preparation Guide For Painting Steel Surfaces. Geraadpleegd van <https://www.hmgpaint.com/PDF/knowledge-base/KNB0026.pdf>

International Association of Classification Societies. (2015). *Guidelines for coating maintenance & repairs for ballast tanks and combined cargo/ballast tanks on oil tankers* (pp. 5–8). Geraadpleegd van <https://www.iacs.org.uk/publications/recommendations/81-100/rec-87-rev2-cln/>

International Organization for Standardization. (2015, 15 januari). Paints and varnishes — Evaluation of degradation of coatings—Designation of quantity and size of defects,

and of intensity of uniform changes in appearance—Part 3: Assessment of degree of rusting. Geraadpleegd van <https://www.sis.se/api/document/preview/920033/>

International Organization for Standardization. (2016, 15 januari). Paints and varnishes—Evaluation of degradation of coatings—Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance—Part 2: Assessment of degree of blistering. Geraadpleegd van <https://www.sis.se/api/document/preview/920032/>

International Standard. (2007, 1 maart). Paints and varnishes—Guidelines for the introduction of scribe marks through coatings on metallic panels for corrosion testing. Geraadpleegd van <https://img.nbchao.com/upload/2017/7/1500445507353.pdf>

Internationale Maritieme Organisatie. (1974). International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). *IMO international maritime organization*. Geraadpleegd 20 april 2021, van [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)

Kopeliovich, D. (2014). *Adhesion Tests*. Geraadpleegd 18 februari 2021, van [https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=adhesion\\_tests](https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=adhesion_tests)

Korozyon, U. (2017, 10 januari). Evaluation and Reporting of Pull-Off Test Results. Geraadpleegd van <https://www.korozyonuzmani.com/en/pull-off-test-sonuclarinin-degerlendirilmesi-ve-rapor-edilmesi/#:~:text=For%20a%20valid%20pull%20test,invalid%20and%20should%20be%20repeated>

Lohmann, T., & Engel, D. (2007, 6 september). CORROSION PROTECTION REGULATIONS TO IMPROVE SHIP'S SAFETY? Shipbuilding Technology ISST 2007. Geraadpleegd van

[https://www.nmri.go.jp/oldpages/main/cooperation/imo\\_iso/ISST2007/CD/paper/27\\_Lohmann.pdf](https://www.nmri.go.jp/oldpages/main/cooperation/imo_iso/ISST2007/CD/paper/27_Lohmann.pdf)

Metalogic. (2021). *Kesternich test opnieuw beschikbaar*. Geraadpleegd 3 maart 2021, van <https://blog.metalogic.be/2017/09/kesterlich-test-opnieuw-beschikbaar.html>

Mitchell, M., & Nobel, A. (2008, 28 maart). Testing of Offshore systems—Is there a realistic testing scenario or is there still work to be done. International Protective Coatings. Geraadpleegd van [https://www.asminternational.org/home/-/journal\\_content/56/33542825/NACE2004CP04004/PUBLICATION-CONFERENCEPAPER-TEMPLATE](https://www.asminternational.org/home/-/journal_content/56/33542825/NACE2004CP04004/PUBLICATION-CONFERENCEPAPER-TEMPLATE)

NACE International. (2004). *Standard test method: Offshore platform ballast water tank coating system evaluation*. Houston, Tex.: NACE International.

National Research Council. (1996). *Stemming the tide: Controlling introductions of nonindigenous species by ships' ballast water*. Geraadpleegd van <https://nap.nationalacademies.org/read/5294/chapter/4>

Oriaifo, E. A., Perera, N., Guy, A., Leung, P. S., & Tan, K. T. (2014). A Review Of Test Protocols For Assessing Coating Performance Of Water Ballast Tank Coatings. Zenodo. doi:10.5281/ZENODO.1096381

RD Coatings USA. (2013, 15 augustus). PERFORMANCE CRITERIA, RD-ELASTOMETAL. Geraadpleegd van [www.rdcoatingsusa.com](http://www.rdcoatingsusa.com)

The Maritime Safety Committee. (2006, 8 december). PERFORMANCE STANDARD FOR PROTECTIVE COATINGS FOR DEDICATED SEAWATER BALLAST TANKS IN ALL TYPES OF SHIPS AND DOUBLE-SIDE SKIN SPACES OF BULK CARRIERS. IMO. Geraadpleegd van [https://www.imo.org/sites/imocloud-Dev/en/OurWork/Safety/Documents/215\(82\).pdf](https://www.imo.org/sites/imocloud-Dev/en/OurWork/Safety/Documents/215(82).pdf)

TQC B.V. (2020a). TQC Machu—Krasmes VF8605 – TYPE CC3000. TQC B.V. Geraadpleegd van [www.tqc.eu](http://www.tqc.eu)

TQC B.V. (2020b). TQC LOW VOLTAGE PINHOLE DETECTOR. TQC B.V. Geraadpleegd van <https://www.tqcsheen.com/nl/product/low-voltage-pinhole-detector/>

Vold, H. (1997). Evaluating Protective Coatings for Ballast Tanks Evaluating Protective. Technology Publishing Company. Geraadpleegd van [https://www.paintsquare.com/library/articles/Evaluating\\_Protective\\_Coatings\\_for\\_Ballast\\_Tanks.pdf](https://www.paintsquare.com/library/articles/Evaluating_Protective_Coatings_for_Ballast_Tanks.pdf)

Wankhebe, A. (2021, 31 augustus). A guide to ballast tanks on ships. Geraadpleegd 23 februari 2022, van [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com)

Wei, C., Eliasson, J., Jansen, E., Wang, G., & Basu, R. I. (2011, 13 maart). IMO PSPC implementation and 15 years of target useful coating life. ABS. Geraadpleegd van <http://www.shipstructure.org/pdf/11symp01.pdf>

Willemen, R., Luyckx, D., Meskens, R., Lenaerts, S., & De Baere, K. (2020). A Study into the Coating Thickness of Ship Ballast Tanks. *International Journal of Maritime Engineering*, 162(A3). doi:10.3940/rina.ijme.2020.a3.618

Zwirner Equipment Company. (2016, 27 september). Benefits of Epoxy Coating For Metal. Geraadpleegd van <https://www.zwirnerequipment.com/blog/benefits-epoxy-coatings/#:~:text=Epoxy%20coatings%20provide%20optimum%20protection,metal%20concrete%20and%20more>

# Lijst van bijlagen

Bijlage A Opgemeten gewichten van testplaatjes	91
Bijlage B Opgemeten verfdiktes	95
Bijlage C Opmetingen <i>pull off test</i>	97
Bijlage D Opmetingen kras	101
Bijlage E Opmetingen van de initiële gewichten van testplaatjes	105





# Bijlage A Manco data van gewichten

## Onderdompeling

	Plaatnummer	Initieel (g)	15-mrt	23-mrt	29-mrt	19-apr	26-apr	3-mei	1-jun	10-jun	24-jun
<b>Scribe</b>	982471	376,59	376,45	376,27	376,20	376,40	376,32	376,35	376,70	376,75	376,52
	982473	381,08	380,96	380,80	380,81	381,06	380,94	380,99	381,44	381,27	380,92
	982474	380,03	380,11	379,91	379,85	380,07	380,07	380,14	380,70	380,69	380,45
	982475	381,40	381,30	381,20	381,12	381,51	381,34	381,42	381,84	381,80	381,57
	982476	380,90	380,84	380,57	380,52	380,67	380,50	380,69	380,73	380,70	380,42
<b>Geverfd</b>	982477	379,78	379,75	379,50	379,44	379,57	379,52	379,55	379,72	379,69	379,80
	982478	370,37	370,26	370,15	370,00	370,12	369,98	370,09	370,33	370,30	370,45
	982479	377,24	377,21	377,13	376,94	377,24	377,20	377,29	377,70	377,73	377,96
	982481	380,45	380,36	380,26	380,15	380,18	380,14	380,19	380,43	380,37	380,45
	982487	382,30	382,10	381,40	381,78	381,95	381,90	381,93	382,15	382,16	382,18
<b>Blanco</b>	982482	362,75	362,37	361,69	361,21	359,60	358,83	358,31	356,37	355,60	353,96
	982483	361,22	361,12	360,39	359,80	358,32	357,56	355,77	355,10	354,43	352,45
	982484	364,53	364,17	363,52	362,95	361,58	360,78	360,25	358,33	357,70	356,12
	982485	361,81	361,60	361,00	360,37	358,32	358,10	357,61	355,77	355,60	353,56
	982486	360,89	360,58	360,00	359,48	357,67	356,97	356,44	354,65	353,90	352,29

Tabel 10 is opgesteld uit resultaten van bovenstaande bijlage.

### Cyclisch drogen/vernevelen

	Plaatnummer	Initieel (g)	15-mrt	23-mrt	29-mrt	19-apr	26-apr	3-mei	1-jun	10-jun	24-jun
<b>Scribe</b>	982488	372,55	372,64	372,57	372,59	372,68	372,55	372,61	372,65	372,68	372,45
	982489	369,85	369,93	369,88	369,79	370,02	369,91	369,99	370,46	370,49	370,31
	982490	374,42	380,44	379,37	380,38	380,38	380,42	380,43	380,50	380,34	380,33
	982941	377,99	378,12	377,91	377,96	378,16	378,13	378,27	378,35	376,93	378,12
	982951	370,18	370,19	370,09	370,05	370,39	370,33	370,42	370,33	370,22	370,24
<b>Geverfd</b>	982952	373,00	373,05	372,93	372,82	372,85	372,75	372,85	372,80	372,78	372,73
	982953	372,25	372,39	372,19	372,07	372,10	372,02	372,08	372,09	372,04	372,05
	982959	379,57	379,56	379,50	379,49	379,50	379,45	379,45	379,44	379,39	379,37
	982960	377,28	377,29	377,27	377,10	377,13	377,07	377,18	377,18	377,14	377,09
	982961	376,65	376,77	376,57	376,48	376,48	376,43	376,43	376,48	376,34	376,43
<b>Blanco</b>	982942	364,57	369,90	376,07	380,24	391,86	394,12	395,72	381,61	401,46	402,67
	982943	363,88	369,25	375,81	379,98	393,38	396,09	397,83	401,37	404,30	405,84
	982944	363,56	367,88	373,93	377,36	389,50	391,91	393,72	397,30	398,09	398,48
	982945	364,97	369,30	375,63	379,41	394,64	397,00	398,79	402,78	406,20	407,21
	982954	358,47	363,49	369,60	373,31	386,17	388,61	390,95	394,50	395,77	397,16

Tabel 10 is opgesteld uit resultaten van bovenstaande bijlage.

AMACORT CIFD – 01

	Plaatnummer	Initieel (g)	30-nov	12-dec	24-dec	5-jan	17-jan	29-jan	12-feb
<b>Scribe</b>	982967	381,01	380,60	380,55	380,84	380,93	381,10	381,22	381,21
	982968	378,69	378,34	378,28	378,49	378,77	378,88	378,91	379,25
	982969	379,06	377,98	378,73	378,98	379,07	379,20	379,16	379,33
	982970	378,09	377,73	377,75	378,04	378,16	378,30	378,25	378,45
	982991	376,88	376,65	376,55	376,99	377,00	377,05	377,16	377,31
<b>Geverfd</b>	982962	378,70	378,68	378,21	378,82	378,47	378,57	378,58	378,58
	982963	371,38	371,05	370,80	371,10	371,05	371,09	371,17	371,09
	982964	376,53	376,29	379,06	376,55	376,44	376,51	376,41	376,49
	982965	376,80	376,58	376,35	376,73	376,65	376,66	376,75	376,66
	982966	377,98	377,61	377,42	377,84	377,80	377,81	377,85	377,87
<b>Blanco</b>	982955	356,65	362,95	364,45	368,06	369,87	372,03	373,07	365,42
	982956	359,61	366,66	367,16	368,40	371,94	372,77	365,41	355,68
	982957	362,97	369,51	371,31	372,37	375,39	370,64	367,20	362,76
	982958	362,31	368,22	370,89	373,23	376,64	377,45	371,39	369,58
	982992	364,04	367,22	371,85	372,47	375,63	372,77	369,61	355,59

		met water en lucht afgespoeld in gram
<b>Blanco</b>	982955	346,67
	982956	345,37
	982957	352,37
	982958	357,16
	982992	344,96

Tabel 14 en tabel 15 zijn opgesteld uit resultaten van bovenstaande bijlage.



# Bijlage B Manco data na 0 uur blootstelling

Plaatnummer	Verfdikte (µm)	Verfdikte (µm)	Verfdikte (µm)	Verfdikte (µm)	Verfdikte (µm)	Verfdikte (µm)	Verfdikte (µm)	Verfdikte (µm)	Verfdikte (µm)	Verfdikte (µm)	Verfdikte (µm)	Verfdikte (µm)	Gemiddelde
982471	561	639	712	525	599	602	504	520	572	380	407	432	538
982473	480	559	653	428	474	562	395	430	551	278	300	348	455
982474	463	555	715	357	420	520	268	325	422	226	266	503	420
982475	495	564	693	577	500	426	353	378	752	307	311	371	477
982476	404	471	702	316	354	460	240	292	521	181	202	312	371
982477	427	496	692	382	409	517	356	314	239	281	324	400	403
982478	516	601	713	655	589	495	483	527	586	593	464	409	553
982479	522	620	708	768	575	478	445	426	549	391	444	470	533
982481	476	568	728	604	462	359	393	418	607	395	315	491	485
982487	628	782	915	778	603	551	600	506	433	402	722	622	629
982488	564	687	733	656	569	545	596	718	595	508	467	555	599
982489	528	603	793	696	629	538	460	475	632	424	388	354	543
982490	380	498	703	611	453	356	309	370	455	372	270	227	417
982941	414	499	669	554	406	322	281	324	439	388	278	212	399
982951	420	570	712	678	526	458	432	470	567	586	427	521	531
982952	512	601	716	854	590	505	461	520	693	549	375	400	565
982953	520	580	755	651	534	453	425	499	485	509	434	416	522
982959	469	534	739	579	392	476	576	418	296	305	236	274	441
982960	527	618	739	708	620	529	493	589	622	556	494	405	575
982961	534	543	699	633	532	471	423	449	605	508	356	325	507
982962	485	572	711	442	492	587	513	439	367	333	346	429	476
982963	608	690	849	786	676	594	598	635	518	421	380	626	615
982964	455	546	745	292	363	422	362	243	214	284	188	438	379
982965	422	512	539	438	316	250	211	232	348	273	226	203	331
982966	428	525	649	597	445	389	358	395	474	406	320	279	439
982967	505	569	666	598	500	439	405	437	535	455	355	338	484
982968	466	525	705	629	489	426	332	356	437	350	297	261	439
982969	428	474	510	474	386	224	264	295	386	314	268	216	353
982970	414	482	497	660	405	331	305	338	382	351	280	207	388
982991	428	445	647	494	403	367	423	510	482	381	333	463	448

Tabel 6 is opgesteld uit resultaten van bovenstaande bijlage.



# Bijlage C Manco data resultaten *pull off test*

## Onderdompeling

na 6 uur (dolly 1)				
plaatnummer	Mpa	% los plaat	% los verf	falen lijm
982477	1,69	0	0	/
982478	3,33	0	41	/
982479	2,15	0	0	/
982481	/	/	/	/
982487	2,68	0	0	/
na 29 uur (dolly 2)				
plaatnummer	Mpa	% los plaat	% los verf	falen lijm
982477	1,15	/	/	falen lijm
982478	1,64	/	/	falen lijm
982479	1,37	/	/	falen lijm
982481	1,66	/	/	falen lijm
982487	1,57	/	/	falen lijm
na 29 uur (dolly 3)				
plaatnummer	Mpa	% los plaat	% los verf	falen lijm
982477	2,6	/	/	falen lijm
982478	2,84	/	/	falen lijm
982479	1,48	/	/	falen lijm
982481	2,02	/	/	falen lijm
982487	1,44	/	/	falen lijm

Tabel 12, tabel 13 en tabel 20 zijn opgesteld uit resultaten van bovenstaande bijlage.

### Cyclisch drogen/vernevelen

na 6 uur (dolly 1)				
plaatnummer	Mpa	% los plaat	% los verf	falen lijm
982952	/	/	/	/
982953	4,1	0	8	/
982959	5,55	5	35	/
982960	5,52	0	10	/
982961	6,49	15	52	/
na 29 uur (dolly 2)				
plaatnummer	Mpa	% los plaat	% los verf	falen lijm
982952	5,9	10	21	/
982953	2,47	0	2	falen lijm
982959	4,52	3	17	/
982960	2,3	0	0	falen lijm
982961	4,86	13	14	/
na 29 uur (dolly 3)				
plaatnummer	Mpa	% los plaat	% los verf	falen lijm
982952	5,7	1	28	/
982953	5,12	0	26	/
982959	6,29	40	20	/
982960	6,39	8	25	/
982961	3,63	3	18	/

Tabel 12, tabel 13 en tabel 20 zijn opgesteld uit resultaten van bovenstaande bijlage.



AMACORT CIFD – 01

na 6 uur (dolly 1)				
plaatnummer	Mpa	% los plaat	% los verf	falen lijm
982962	2,94	0	28	/
982963	2,81	2	40	/
982964	3,08	0	3	/
982965	2,67	0	3	/
982966	2,53	0	2	/
na 29 uur (dolly 2)				
plaatnummer	Mpa	% los plaat	% los verf	falen lijm
982962	2,64	0	22	/
982963	3,64	0	5	/
982964	1,81	0	0	falen lijm
982965	3,55	0	36	/
982966	1,98	0	10	/
na 29 uur (dolly 3)				
plaatnummer	Mpa	% los plaat	% los verf	falen lijm
982962	2,06	0	13	/
982963	3,99	0	2	/
982964	2,86	0	0	falen lijm
982965	2,06	0	0	falen lijm
982966	1,73	0	1	/

Tabel 17, tabel 18 en tabel 20 zijn opgesteld uit resultaten van bovenstaande bijlage.



# Bijlage D Manco data resultaat evaluatie kras

## Onderdompeling

Zonder Blaren	Plaatnummer:	982471	982473	982474	982475	982476					
Visueel	Verf verlies	nee	ja	ja	nee	nee					
	blaren	nee	nee*	nee*	nee*	nee*					
	kleurverandering	ja	ja	ja	ja	ja					
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
	Max	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50					
	Gemiddelde	0,17	0,58	0,18	0,13	0,04					
	Rating	9	8	9	9	9					
		Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts
	1	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,50
	2	0,25	0,25	0,50	0,50	0,25	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,25	0,00
	5	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00
	6	0,00	0,50	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
	7	0,00	0,50	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
	8	0,25	0,25	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
	9	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
	10	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	13	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
	14	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
	15	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 11 en tabel 19 zijn opgesteld uit resultaten van bovenstaande bijlage.

## Cyclisch drogen/vernevelen

Zonder Blaren	Plaatnummer:	982488	982489	982490	982941	982951					
Visueel	Verf verlies	ja	ja	ja	ja	ja					
	blaren	ja	ja	ja	ja	ja					
	kleurverandering	ja	ja	ja	ja	ja					
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
	Max	1,50	0,50	2,00	3,00	2,00					
	Gemiddelde	0,1	0,18	0,67	0,46	0,18					
	Rating	9	9	8	9	9					
		Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts
	1	0,00	0,50	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00
	2	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,50	0,50	0,25	0,00	0,00
	3	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,25	0,50	0,25
	4	0,50	0,00	0,25	0,25	0,50	0,00	0,50	0,25	1,50	0,50
	5	0,50	0,50	0,25	0,25	1,50	1,50	0,25	0,25	0,00	0,00
	6	0,00	0,00	0,25	0,25	1,00	1,00	0,25	0,25	0,00	0,00
	7	0,00	0,00	0,25	0,25	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	8	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25
	9	0,00	0,00	0,25	0,25	1,00	1,00	0,50	0,25	0,25	0,25
	10	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50	0,00	0,50	0,25	0,25	0,25
	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,25	0,25	0,25
	12	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,50	0,25	0,25
	13	0,50	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,50	0,50	0,00	0,00
	14	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	2,00	1,00	0,00	0,00
	15	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,50	0,25	0,00	0,00
Met Blaren	Min	0,5		3		1		0		2	
	Max	17		18		10		11		23	
	Gemiddelde	8,12		9,67		4,6		5,67		9,43	
	Rating	3		3		5		4		3	
		Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts
	1	8,00	12,00	18,00	17,00	3,00	4,00	3,00	3,00	7,00	6,00
	2	4,00	7,00	12,00	14,00	5,00	3,00	5,00	6,00	3,00	7,00
	3	3,00	0,50	8,00	9,00	4,00	9,00	5,00	9,00	3,00	11,00
	4	3,00	2,00	12,00	4,00	4,00	8,00	4,00	9,00	3,00	12,00
	5	5,00	15,00	12,00	9,00	2,00	3,00	3,00	10,00	3,00	19,00
	6	5,00	15,00	10,00	8,00	4,00	6,00	5,00	11,00	4,00	19,00
	7	8,00	13,00	3,00	5,00	4,00	4,00	6,00	10,00	3,00	3,00
	8	9,00	4,00	3,00	3,00	4,00	2,00	7,00	7,00	4,00	3,00
	9	11,00	9,00	12,00	6,00	4,00	6,00	6,00	4,00	5,00	3,00
	10	10,00	8,00	12,00	15,00	2,00	10,00	3,00	8,00	3,00	20,00
	11	3,00	3,00	13,00	15,00	2,00	10,00	3,00	8,00	3,00	22,00
	12	2,00	7,00	13,00	13,00	3,00	8,00	3,00	3,00	7,00	22,00
	13	4,00	16,00	12,00	5,00	2,00	2,00	7,00	5,00	18,00	21,00
	14	12,00	17,00	10,00	3,00	7,00	3,00	7,00	7,00	22,00	2,00
	15	13,00	15,00	7,00	7,00	6,00	4,00	3,00	0,00	23,00	2,00

Tabel 11 en tabel 19 zijn opgesteld uit resultaten van bovenstaande bijlage.

AMACORT CIFD – 01

Zonder Blaren	Plaatnummer:	982967	982968	982969	982970	982991					
Visueel	Verf verlies	ja	ja	ja	ja	ja					
	blaren	ja	ja	ja	ja	ja					
	kleurverandering	ja	ja	ja	ja	ja					
	Min	0	0	0	0	0					
	Max	2	2	2	3	2					
	Gemiddelde	0,28	0,85	0,73	1,32	0,87					
	Rating	9	8	8	7	8					
		Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts
	1	0,50	0,50	0,00	0,50	1,50	0,50	3,00	2,00	0,50	0,50
	2	0,50	0,00	0,50	0,50	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50
	3	1,00	0,00	0,50	0,50	2,00	1,00	2,00	1,00	0,50	0,50
	4	2,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	3,00	2,00	0,50	0,50
	5	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50
	6	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	2,00	0,50	1,00	0,50
	7	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	8	0,00	0,00	2,00	2,00	0,50	1,00	2,00	2,00	1,50	1,00
	9	0,00	0,00	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00
	10	0,00	0,00	2,00	1,00	0,50	0,00	2,00	1,00	1,00	0,50
	11	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	2,00	0,50	2,00	0,50
	12	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,00	1,00	0,50	1,00	0,50
	13	0,50	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,50	0,50	1,50	0,50
	14	0,00	0,00	1,00	1,00	0,50	0,00	0,50	0,50	1,00	1,00
	15	0,50	0,00	0,00	0,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
Met Blaren	Min	2	2	3	2	2					
	Max	8	10	12	14	8					
	Gemiddelde	4,30	5,27	5,00	4,90	4,77					
	Rating	5	4	5	5	5					
		Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts	Links	rechts
	1	5,00	6,00	2,00	3,00	3,00	3,00	4,00	2,00	4,00	3,00
	2	6,00	6,00	3,00	3,00	4,00	4,00	6,00	7,00	5,00	3,00
	3	5,00	5,00	4,00	5,00	2,00	4,00	7,00	8,00	4,00	2,00
	4	3,00	3,00	5,00	6,00	3,00	4,00	5,00	4,00	3,00	3,00
	5	3,00	3,00	6,00	6,00	3,00	5,00	4,00	2,00	4,00	3,00
	6	2,00	3,00	5,00	6,00	4,00	7,00	4,00	3,00	6,00	7,00
	7	4,00	4,00	6,00	7,00	7,00	6,00	3,00	3,00	7,00	7,00
	8	4,00	5,00	6,00	7,00	6,00	5,00	2,00	2,00	6,00	4,00
	9	4,00	3,00	9,00	8,00	4,00	5,00	2,00	3,00	5,00	2,00
	10	3,00	2,00	9,00	7,00	4,00	5,00	4,00	10,00	5,00	3,00
	11	3,00	2,00	7,00	7,00	3,00	5,00	3,00	14,00	3,00	4,00
	12	4,00	3,00	5,00	4,00	4,00	5,00	5,00	13,00	5,00	7,00
	13	6,00	7,00	2,00	3,00	5,00	10,00	3,00	12,00	8,00	8,00
	14	7,00	8,00	2,00	5,00	4,00	11,00	2,00	4,00	6,00	7,00
	15	5,00	5,00	4,00	6,00	5,00	10,00	3,00	3,00	4,00	5,00

Tabel 16 en tabel 19 zijn opgesteld uit resultaten van bovenstaande bijlage.



## Bijlage E Manco data van de initiële gewichten

	Onderdompeling		Q-fog		Amacort CIFD-01	
	Plaatnummer	Initieel (g)	Plaatnummer	Initieel (g)	Plaatnummer	Initieel (g)
<b>Geverfd</b>	982477	379,78	982952	373,00	982962	378,70
	982478	370,37	982953	372,25	982963	371,38
	982479	377,24	982959	379,57	982964	376,53
	982481	380,45	982960	377,28	982965	376,80
	982487	382,30	982961	376,65	982966	377,98
<b>Verf + Kras</b>	982471	376,59	982488	372,55	982967	381,01
	982473	381,08	982489	369,85	982968	378,69
	982474	380,03	982490	374,42	982969	379,06
	982475	381,40	982941	377,99	982970	378,09
	982476	380,90	982951	370,18	982991	376,88
<b>Blanco</b>	982482	362,75	982942	364,57	982955	356,65
	982483	361,22	982943	363,88	982956	359,61
	982484	364,53	982944	363,56	982957	362,97
	982485	361,81	982945	364,97	982958	362,31
	982486	360,89	982954	358,47	982992	364,04

Tabel 5 is opgesteld uit resultaten van bovenstaande bijlage.