Coatingdegradatie – Afstudeerrapport

Opleiding & organisatie:	Civiele Techniek, Hogeschool Rotterdam
In opdracht van:	Havenbedrijf Rotterdam N.V. - Asset Management Constructions
Auteur:	J.F. (Jeffrey) Banis
Bedrijfsbegeleider:	M. (Marc) Wormmeester
Stagedocent:	A. (Aart) Westerduin
Versie:	Definitief 2.0
Plaats:	Rotterdam
Datum:	27 juli 2017

Voorwoord

Dit eindrapport is geschreven in het kader van de afstudeeropdracht van Jeffrey Banis, student Civiele Techniek aan de Hogeschool Rotterdam, in opdracht van Havenbedrijf Rotterdam N.V. (hierna te noemen: 'het Havenbedrijf'), vertegenwoordigd door dhr. M. (Marc) Wormmeester, asset manager namens de afdeling Asset Management Constructions (AM-CON). Dit eindrapport omvat een studie naar een degradatiemodel voor coatingsystemen.

In dit onderzoek is gekeken naar de realisatie mogelijkheden van een model voor coatingdegradatie op civiele werken in het Rotterdamse havengebied. AM-CON is op zoek naar een model dat de levensduur van coatingsystemen in kaart kan brengen. Hiervoor zijn verschillende literaire bronnen geraadpleegd en is er onderzoek gedaan met behulp van bestaande rapporten over coatingdegradatie. Het onderzoek heeft geleid tot de basisbeginselen van het coatingdegradatie model, waarmee het Havenbedrijf verder kan werken aan de realisatie van een volledig model.

Dit rapport is in eerste instantie bedoeld voor het Havenbedrijf met in het bijzonder de afdeling AM-CON. Dit rapport kan gebruikt worden om de realisatie van het volledige model te vereenvoudigen. Het document biedt onderbouwde conclusies waarmee het Havenbedrijf uit te voeten kan in de toekomst.

Tevens wil ik de afdeling AM-CON van het Havenbedrijf bedanken voor de prettige afstudeerperiode. In het bijzonder wil ik Marc Wormmeester bedanken voor het beschikbaar stellen van deze opdracht en de begeleiding gaandeweg het afstuderen.

Veel leesplezier toegewenst,

Rotterdam, 27 juli 2017,
Jeffrey Banis.

Samenvatting

De afdeling AM-CON van het Havenbedrijf beheert vele constructies in het Rotterdamse havengebied. Binnen het beheer valt onder andere een groot aantal losse afmeerpalen, remmingwerken en steigers. Het beheren van assets is van economisch en maatschappelijk belang voor het Havenbedrijf. Het Havenbedrijf gebruikt hiervoor asset management en de asset management activiteiten zijn er op gericht om de bedrijfsdoelstellingen uit de havenvisie en het ondernemingsplan te behalen.
Dit komt ook terug in de missie van AM-CON:
AM-CON staat voor het in stand houden van het gewenste functionele niveau van de aan de afdeling toebedeelde assets tegen een optimale prestatie/risico's/kosten verhouding (AM-CON, 2017).

De afdeling streeft naar het inzichtelijk krijgen van het werkvolume en de budgetten van toekomstig onderhoud. Vanuit deze gedachte wilt de afdeling kunnen voorspellen wanneer een constructie gebreken zal gaan vertonen en onderhoud noodzakelijk is. Op dit moment is het al mogelijk om staal en betondegradatie in kaart te brengen met eigen ontworpen degradatiemodellen. Deze modellen zijn samen met een tool voor risico analyse, geïntegreerd in een 'Kademuur modellering systeem'. In deze tool wordt de prestatie/risico/kosten afweging voor toekomstig onderhoud gemaakt.

De door de afdeling te beheren stalen constructies kunnen worden aangetast door corrosie en dit brengt risico's met zich mee op het gebied van functionele geschiktheid. Ook visueel kunnen zich problemen voordoen, alleen leidt dit niet direct tot grote risico's voor de constructie. Indien echter de corrosieschade schade zich voordoet in de maatgevende staaldoorsnede van een constructie kan de constructieve veiligheid in het geding komen. Om deze reden zijn de stalen constructies voorzien van beschermde coatingsystemen. Deze coatingsystemen bestaan uit een aantal lagen verf die een barrière vormen voor de intreding van schadelijke ionen die corrosie kunnen veroorzaken.

Het is bij het Havenbedrijf bekend dat als gevolg van degradatie van coatingsystemen de barrière werking verminderd en het risico op corrosie op een bepaald moment in de tijd dermate groot is dat onderhoud aan de coating noodzakelijk is. De snelheid waarmee coatingsystemen degraderen en daarmee het moment van het moeten uitvoeren van onderhoud, is echter niet bekend. Daarnaast is het onduidelijk welke factoren de coatingdegradatie beïnvloeden. Vanuit deze problematiek is de behoefte aan een coatingdegradatiemodel ontstaan.

Uit de uitgevoerde literatuurstudie is gebleken dat een veelvoud van factoren de degradatie kunnen beïnvloeden. Deze factoren zijn allen van invloed op de eigenschappen van het coatingsysteem. De eigenschappen van dit systeem vormen de basis voor de prestatie van de coating en zijn onder te verdelen in drie groepen:

1. Substraateigenschappen
2. Coatingeigenschappen
3. Milieueigenschappen

De substraateigenschappen die coatingdegradatie kunnen beïnvloeden zijn in dit onderzoek niet nader beschouwd. Het Havenbedrijf neemt altijd een garantietermijn van drie jaar in haar contracten op waarmee het risico op afwijking is afgedekt. Het opnemen van langere garantietermijnen is niet zinvol.
Dit blijkt allereerst uit onderzoek van het Havenbedrijf dat afwijkingen van substraateigenschappen zich altijd openbaren in de eerste drie jaren na de applicatie van de coating.

Bovendien is gebleken dat de aantoonbaarheid van uitvoeringsfouten in een object dat al in gebruik is na deze periode van drie jaar problematisch is.

De coatingeigenschappen zijn in dit onderzoek ook niet nader beschouwd. Deze zijn door het Havenbedrijf beheersbaar gemaakt door de keuze van een drietal hoofdcoatingsystemen. De keuze voor deze coatingsystemen is kwaliteit gedreven en zijn gekozen vanuit onderzoek binnen het Havenbedrijf. Gebleken is dat de drie gekozen hoofdcoatingsystemen de laagste life cycle kosten opleveren. In de contracten van het Havenbedrijf wordt kwaliteitsborging door de aannemer verplicht gesteld om de gewenste kwaliteit van de coatingeigenschappen te waarborgen.

Wat rest zijn de milieueigenschappen die van invloed zijn op de degradatie van een coatingsysteem. Op de milieueigenschappen heeft het Havenbedrijf geen invloed, hierdoor komen uit deze groep de maatgevende factoren die van invloed zijn op het op te stellen degradatiemodel. In de literatuurstudie zijn diverse factoren nader onderzocht en is geconcludeerd dat o.a. saliniteit, temperatuur en UV straling dominante factoren zijn die bijdragen aan coatingedegradatie. In het afstudeeronderzoek zijn overige degradatiefactoren vanuit het milieu niet nader onderzocht om een duidelijke scope te behouden gedurende het afstuderen.

In de gemaakte literatuurstudie is onderzoek gedaan naar meetmethoden voor coatingsystemen. Een uniform degradatiemodel is nog nooit ontwikkeld en gezien de veelvoud aan factoren is een theoretisch model mogelijk niet haalbaar, dus is er voorgesteld een statistisch model op te stellen op basis van te verzamelen empirische data. Verschillende standaard laboratoriumtesten zijn reeds beschikbaar, alleen een groot nadeel is dat deze vaak alleen testen op een enkel aspect en niet op combinatie van factoren zoals in de praktijk. In Elektrochemische Impedantie Spectroscopie (EIS) metingen worden gecombineerde factoren wel bemeten. EIS meet coatingweerstanden die representatieve waarden geven van invloed door gecombineerde factoren.

In het onderzoek is de uitvoering van EIS metingen in diverse delen van het havengebied uitgezet. De gekozen locaties zijn representatief voor de verschillende saliniteitsgehalten die in de Rotterdamse haven voorkomen. Daarnaast is een testprotocol opgesteld voor uit te voeren ondersteunende laboratorium onderzoeken. De combinatie van beide testen moeten de basisbeginselen van het model realiseren, gebaseerd op de invloed van milieueigenschappen. Indien de testen in herhaling over de tijd uitgevoerd zullen worden zal de validideit toenemen. De statistische benadering van het model wordt hierdoor steeds meer accuraat.

Het Havenbedrijf kan met behulp van de testresultaten starten met het opstellen van een coatingdegradatie model. Om volledige simulatie van coatingdegradatie mogelijk te maken wordt aangeraden om laboratorium testen verder te ontwikkelen, zodat meerdere situaties uit de praktijk nagebootst kunnen worden. Verder moet er opnieuw onderzoek gedaan worden naar de coatingkwalificatie eisen van coatingsystemen die vanuit het Havenbedrijf opgesteld zijn, hier kan naar eigen mening veel gewonnen worden. De coatingweerstand eis ligt bij oplevering dermate laag dat deze door de aannemers makkelijk te behalen valt, wat kan resulteren in nalatigheid bij applicatie van de coating. De voornaamste aanbeveling is om tijdsgebonden coatingsystemen te meten met behulp van EIS. Al deze oplossingen zullen bijdragen aan een steeds nauwkeuriger degradatiemodel.

Inhoud

Voorwoord 3
Samenvatting 4
Figuren- en tabellenlijst 7
Afkortingen 7
1 Inleiding 8
1.1 Aanleiding 8
1.2 Doelstelling 9
1.3 Benadering 10
1.4 Leeswijzer 11
2 Coating en coatingdegradatie 12
2.1 Literatuurstudie 12
2.2 Analyse schadebeelden 16
2.3 Conclusie 20
3 Onderzoeksmethoden 21
3.1 Deskresearch 21
3.2 Fieldresearch 22
4 Resultaten 23
4.1 Databank EIS metingen 23
4.2 Monitoren van milieufactoren 26
4.3 Coatingweerstand bij oplevering 26
4.4 Testprotocol Simco Technologies 27
4.5 On-site metingen Rotterdamse haven 30
4.6 Verwerking testresultaten 32
5 Conclusie 33
6 Aanbevelingen 35
Bibliografie 36
Bijlagen 37

Figuren- en tabellenlijst

FIGUUR 1: DEGRADATIE CURVE....10
FIGUUR 2: SCHEMATISCHE COATING STRUCTUUR (REMA TIP TOP)....12
FIGUUR 3: FACTOREN DIE COATINGDEGRADATIE BEÏNVLOEDEN (SØRENSEN, NUYGEN, HUBBARD, & MCFADDEN, 1991)....13
FIGUUR 4: LOCATIE BARTEL WILTONKADE (INGENIEURSBUREAU HAVENWERKEN, 1994)....16
FIGUUR 5: CORROSIEPRODUCTEN LANGS EEN LASNAAD (BANIS, SCHADEBEELDEN)....17
FIGUUR 6: LOCATIE STEIGER ODFJELL (GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM, 1992)....18
FIGUUR 7: AFBLADEREN VAN HERSTELCOATING (BANIS, SCHADEBEELDEN)....18
FIGUUR 8: INDELING VAN BARRIÈRE EIGENSCHAPPEN (ENDURES)....23
FIGUUR 9: RC WAARDEN NA 6 MAANDEN BLOOTSTELLING (ENDURES)....23
FIGUUR 10: RC WAARDEN NA DRIE WEKEN (ENDURES)....24
FIGUUR 11: RC WAARDEN GEMETEN OP 25 JULI 2014 (BUTER, COATING KWALIFICATIE STEIGER 0, 2014)....25
FIGUUR 12: RC WAARDEN GEMETEN OP 19 JULI 2016 (BUTER, COATING KWALIFICATIE STEIGER 0, 2016)....25
FIGUUR 13: VOORBEELD TESTOPSTELLINGEN 4°C (GREGOIRE, 2016)....28
FIGUUR 14: VOORBEELD TESTOPSTELLINGEN 20°C (GREGOIRE, 2016)....28
FIGUUR 15: VOORBEELD TESTOPSTELLINGEN 32°C (GREGOIRE, 2016)....28
FIGUUR 16: VOORBEELD GRAFIEK TESTRESULTATEN (ENDURES)....30
FIGUUR 17: LOCATIES EIS METINGEN (BANIS, PORTMAPS, 2017)....30
FIGUUR 18: LBC KADE BOTLEKGEUL MEETPUNTEN OMCIRKELD (ARCADIS & BANIS, 2017)....31
FIGUUR 19: SITUATIE 1 COATINGDEGRADATIE CURVE....32
FIGUUR 20: SITUATIE 2 COATINGDEGRADATIE CURVE....32

TABEL 1: GEMETEN COATINGWEERSTANDEN BIJ OPLEVERING....26
TABEL 2: TESTOPSTELLINGEN S235 GENUMMERD....28

Afkortingen

Begrip	*Afkorting*
Elektrochemische Impedantie Spectroscopie	EIS
Asset Management Constructions	AM-CON
Havenbedrijf Rotterdam N.V.	het Havenbedrijf / HbR

1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de aanleiding, doelstelling en benadering van het afstudeeronderzoek. Ten slotte worden de hoofdstukken toegelicht in een leeswijzer.

1.1 Aanleiding

Rotterdam is de grootste en tevens een van de meest toonaangevende havens in Europa en speelt ook wereldwijd een belangrijke rol. Rotterdam dient als het ware als toegangspoort tot het gehele achterland van Europa. De havens en vrijwel alle haventerreinen worden beheerd door het Havenbedrijf. AM-CON heeft talloze constructies in beheer om zo de gehele haven continu naar behoren te laten functioneren voor economisch en maatschappelijk belang van het Havenbedrijf.

De afdeling AM-CON heeft de taak meegekregen om een aantal assets van het Havenbedrijf beschikbaar te houden voor de commerciële- en publieke klant.
De asset portofolio van de afdeling AM-CON bestaat o.a. uit het volgende:

- Oevers (glooiingen) - 202,1 km
- Kademuren - 76,3 km
- Zeesteigers - 19 stuks
- Binnenvaartsteigers - 100 stuks
- Vaste afmeer voorzieningen - 66 stuks
- Kunstwerken - 60 stuks
- Meerboeien - 28 stuks

Veel van deze hoofdzakelijk stalen civiele werken zijn voorzien van een coating om corrosie tegen te gaan en hiermee de levensduur van de civiele werken te waarborgen. Het Havenbedrijf kan de degradatiesnelheden van coatingsystemen niet in kaart brengen en dit brengt complexe beheersmaatregelen met zich mee. Binnen AM-CON is het niet duidelijk wanneer de coatingdegradatie een gevaar gaat vormen voor een constructie of object. De problematiek kan nu alleen visueel waargenomen worden, daar waar dan in principe de coating levensduur al beëindigd is. Uit ervaring binnen het Havenbedrijf blijkt dat onderhoud werkzaamheden tot op heden niet het gewenste resultaat behalen.

De bescherming van staal binnen het Havenbedrijf wordt op verschillende manieren vormgegeven. Staal van kademuren dat doorgaans onderwater staat wordt beschermd met anodes. In de getijdezone (splash zone) en atmosferische zone wordt dit gedaan met coatingsystemen. Anodes zijn zogenaamde offerblokken die voorkomen dat metalen delen van een constructie worden aangetast door corrosie. De anodes functioneren naar behoren en het staal onderwater ondervindt dan ook geen grote degradatie. De coatingdegradatie bevindt zich met name in de getijdezone, daar waar het staal afwisselend nat of droog staat.

Na een herbeschouwing van kademuren is er binnen het Havenbedrijf een standaard kademuur ontworpen voor in de toekomst met een betonnen wand tot NAP -2,00m. De betonnen wand zorgt dat de coatingdegradatie rondom de getijdezone weggenomen wordt. De onwetendheid blijft echter wel een rol spelen bij constructies die niet in beton uitgevoerd kunnen worden en al bestaande stalen constructies.

Vanuit deze problematiek is de vraag naar een degradatiemodel ontstaan binnen het Havenbedrijf. Doel van het degradatiemodel is om de levensduur van een coating te kunnen simuleren en het beheerproces te vereenvoudigen. Het beheerproces wordt vereenvoudigd, als er planning technisch ingecalculeerd kan worden wanneer er onderhoud nodig is. Een planning zorgt ervoor dat het Havenbedrijf het werk kan managen binnen het beschikbare budget. De afdeling AM-CON heeft de taak om risico's in te schatten en in kaart te brengen. De directie van het Havenbedrijf kan budget afgeven aan de afdeling om de risico's te elimineren. Er worden dan geen onnodige kosten gemaakt met te vroeg of te laat onderhoud aan coatingsystemen.

De student is de opdracht gegeven om onderzoek te doen naar de mogelijkheden van een model. De focus zal liggen op de basisbeginselen van dit model. Het rapport is een verklaring van de ontstane problematiek binnen het bedrijf en bevat een onderzoek naar het betreffende degradatiemodel. Doordat het achterhalen van alle coatingsystemen in de haven een erg uitgebreid werk is en het Havenbedrijf momenteel alleen een drietal hoofdcoatingsystemen toepast, zal het model zich betrekken tot deze drie coatingsystemen. In het afstudeeronderzoek zijn diverse degradatiefactoren vanuit het milieu niet nader onderzocht om een duidelijke scope te behouden gedurende het afstuderen.

1.2 Doelstelling

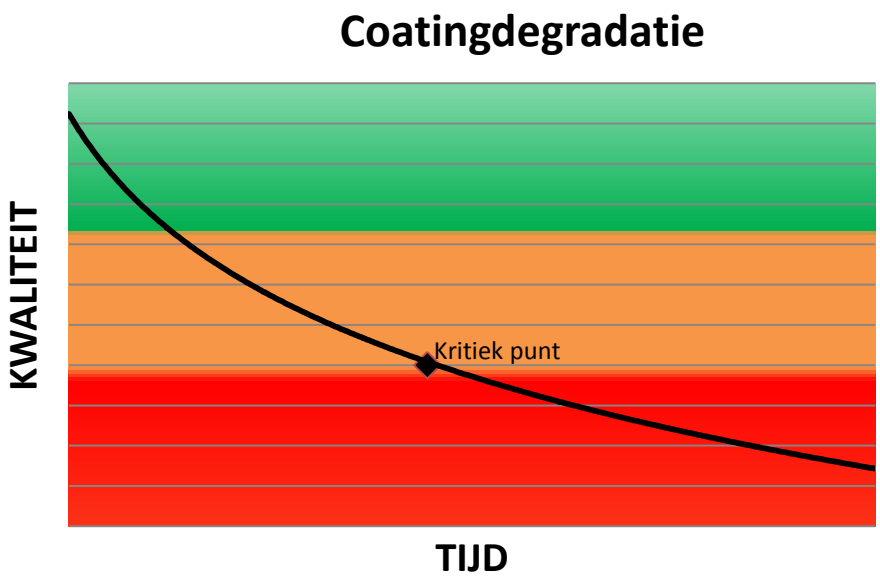
De onderzoek grenzen zijn zo opgesteld dat een volledig ontwikkeld degradatie model niet in de lijn der verwachtingen ligt. Hiermee vormt zich de afbakening van het project om binnen de afstudeerperiode een realistische tijdsplanning te kunnen volgen. De student zal zich beperken tot de basisbeginselen van het coatingdegradatie model.

Naar aanleiding van de problematiek is de volgende hoofdvraag opgesteld:
''Welke aspecten zijn van belang bij het realiseren van een coating degradatiemodel die een waardevolle bijdrage leveren voor het Havenbedrijf?''

Om hier onderzoek naar te doen moeten uiteenlopende vragen beantwoord worden. De vragen moeten inzicht geven of de hoofdvraag daadwerkelijk te beantwoorden is voor het Havenbedrijf. De volgende deelvragen zijn daarom opgesteld:

- *Wat beïnvloedt de levensduur van een coating?*
- *Welke risico's ontstaan er ten gevolge van levensduur problematiek van de coating op civiele constructies?*
- *Wat zijn de degradatiesnelheden bij diverse toegepaste coatingsystemen?*
- *In hoeverre kan een degradatiemodel gecreëerd worden met behulp van praktijkproeven?*

Het uiteindelijke doel van het model is te verklaren met behulp van de onderstaande figuur. Er dient een zogeheten degradatie curve gemaakt te worden van kwaliteit tegenover een bepaalde tijdsperiode. Hierin zal een kritiek punt aangegeven worden, daar wanneer er per direct onderhoud nodig is. Als dit op deze manier inzichtelijk gemaakt kan worden, heeft het Havenbedrijf het toekomstige werkvolume in beeld, met hierin opgenomen een risico indicatie. De curve betrekt zich tot de degradatie van coating en is niet maatgevend voor de gehele constructie risico's. In een later stadium wilt het Havenbedrijf pas onderzoeken of het coatingdegradatie model te verwerken is in het bestaande Kademuur modellering systeem.



Figuur 1: Degradatie curve

1.3 Benadering

De informatie welke benodigd is voor het afstudeeronderzoek is verkregen door middel van meerdere werkwijzen. Een deel van het onderzoek bestaat uit het opstellen van een literatuurstudie en het doornemen van al bestaand werk betreffende dit onderwerp. Voor de literatuurstudie zijn artikelen, boeken, onderzoeksrapporten en andere bronnen gebruikt om meer te leren over coatingdegradatie. De oorzaak van degradatie is onderzocht en meerdere type coating zijn beschreven. Een andere methode die gebruikt is en een grote bijdrage levert aan het onderzoek is het interne netwerk met bijbehorende computer applicaties van het Havenbedrijf. De werkwijze bevat ook praktijkonderzoek in de Rotterdamse haven. Het probleem is op meerdere locaties visueel waargenomen en onderzocht om hieruit lering te trekken over de dimensiegrootte van het probleem. Vervolgens is de focus gelegd op het opstellen van documenten die van belang zijn voor het verkrijgen van een coatingdegradatie model. Verder is er meermaals gebruik gemaakt van de kennis van experts binnen meerdere instanties. Een aantal van deze instanties zijn:

- Havenbedrijf Rotterdam N.V.
- Hogeschool Rotterdam, Instituut voor de Gebouwde Omgeving
- C-Cube International B.V.
- Simco Technologies

Door middel van diverse communicatievormen is er contact geweest met experts en betrokkenen om informatie te winnen voor het onderzoek. Er is persoonlijk, telefonisch en over de e-mail gecommuniceerd.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de literatuurstudie verkort toegelicht. Hierin zijn coatingsystemen en coatingdegradatie beschreven. Verder zijn analyses gemaakt van gevonden schadebeelden in de Rotterdamse haven. Op basis van dit hoofdstuk wordt de scope van het verdere onderzoek bepaald. In hoofdstuk 3 worden de gebruikte onderzoeksmethoden toegelicht met bijbehorende doelstellingen. Hoofdstuk 4 bevat resultaten die zijn behaald met de verschillende onderzoeken. Een overzicht van de behaalde resultaten en verschillende uitgewerkte stukken zijn in dit hoofdstuk terug te vinden. In hoofdstuk 5 is een conclusie van het totale onderzoek weergegeven. In het hoofdstuk worden de hoofdvraag en deelvragen beantwoord aan de hand van de onderzoeksresultaten. In hoofdstuk 6 zijn er aanbevelingen richting het Havenbedrijf te lezen. Hierin worden onder andere toekomstige onderzoeken voorgesteld.

2 Coating en coatingdegradatie

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de gemaakte literatuurstudie. De literatuurstudie is een deelonderzoek naar de aspecten en factoren die van invloed zijn op coatingdegradatie. Op basis van de gemaakte literatuurstudie zijn de volgende stappen binnen het afstudeeronderzoek uitgezet. Tevens zijn er in dit hoofdstuk schadebeelden in het Rotterdamse havengebied onderzocht. Dit is gedaan om inzicht te verkrijgen in de dimensie en grootte van de problemen. De schadebeelden worden geanalyseerd met behulp van de literatuurstudie. De volledige literatuurstudie is te vinden in bijlage 1.

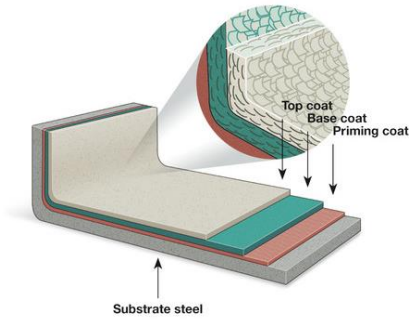
2.1 Literatuurstudie

Inleiding

De literatuurstudie is gedaan ter introductie van het verdere onderzoek naar een coatingdegradatie model. Om een nuttige bijdrage te leveren aan het toekomstige degradatiemodel is de literatuurstudie een ondersteunend document. Het hele principe van coatingdegradatie is inzichtelijk gemaakt aan de hand van de literatuurstudie.

Coating

Een coating is een deklaag die op een substraat[1] wordt aangebracht om corrosie tegen te gaan. Een coating kan een beschermende, decoratieve of technische werking uitoefenen. Door coatingdegradatie kan er uiteindelijk corrosie optreden. Corrosie is een oppervlakteverschijnsel en is altijd met de aanwezigheid van een agressief milieu verbonden. De exacte werking van corrosie is een scheikundige deskundigheid en is hierdoor buiten beschouwing gelaten in het onderzoek, wel is het proces in de literatuurstudie op hoofdlijnen uitgelegd. Coatingsystemen worden samengesteld naar functie met elk andere gewenste karakteristieke eigenschappen. Coatingsystemen worden al meer dan 100 jaar doorontwikkeld en de toepassingsmogelijkheden worden ook steeds breder. Elke coating heeft een voorgeschreven levensduur, maar in de praktijk blijkt deze sterk uiteen te kunnen lopen.



Figuur 2: Schematische coating structuur (Rema tip top)

Een coating bestaat uit een aantal lagen en over het algemeen uit de volgende ingrediënten:
- Bindmiddelen
- Pigmenten
- Oplossingsmiddelen
- Toevoegingen

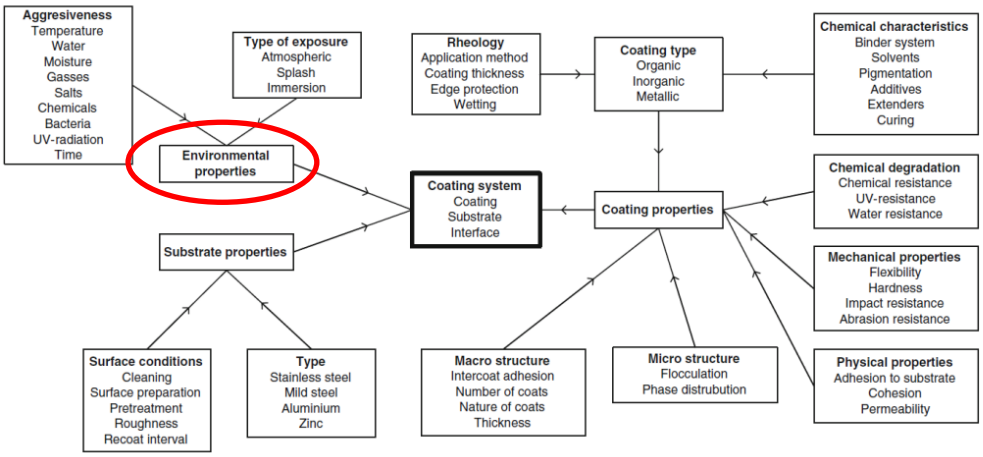
De meeste anticorrosieve coatingsystemen zijn op basis van het barrière effect, echter bestaat er geen enkele coating die volledig ondoordringbaar is. Een barrière coating wordt vaak op ondergedompelde oppervlakten toegepast en is goed bestand tegen de stroming van ionen en elektronen in het corrosie proces. Een voorbeeld van hoe een coating is opgebouwd is te zien in figuur 2.

[1] Een substraat is het materiaal onder de oppervlaktelaag.

Coatingdegradatie

Degradatie van coating is de afname van functionele eigenschappen als gevolg van blootstelling aan de omgeving. Een coating kan door uiteenlopende zaken degraderen, in figuur 3 is te zien wat van invloed is op coatingsystemen. Binnen dit onderzoek worden een aantal degradatie factoren toegelicht en onderzocht ter ondersteuning van het degradatiemodel. Zo is te zien dat coatingdegradatie kan ontstaan vanuit drie hoofdgroepen:

1. Substraateigenschappen
2. Coatingeigenschappen
3. Milieueigenschappen



Figuur 3: Factoren die coatingdegradatie beïnvloeden (Sørensen, Nuygen, Hubbard, & McFadden, 1991)

De substraateigenschappen die coatingdegradatie kunnen veroorzaken zijn in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. De garantietermijn van drie jaar in contracten van het Havenbedrijf is er om het risico op afwijkingen af te dekken. Langere garantietermijnen opnemen in de contracten is niet zinvol. Uit onderzoek blijkt dat afwijkingen van de substraateigenschappen zich altijd gedurende de eerste drie jaar van de levensduur openbaren. Tevens is de aantoonbaarheid van uitvoeringsfouten in een object lastig na de periode van drie jaar.

De coatingeigenschappen zijn eveneens niet nader beschouwd in dit onderzoek. Deze groep is beheersbaar gemaakt door het Havenbedrijf door de keuze van een drietal hoofdcoatingsystemen. De keuze voor deze coatingsystemen is kwaliteit gedreven en zijn gekozen vanuit onderzoek. De drie gekozen hoofdcoatingsystemen leveren de laagste life cycle kosten op. In de contracten van het Havenbedrijf wordt kwaliteitsborging door de aannemer verplicht gesteld om via juiste voorbehandeling en applicatie de gewenste kwaliteit van de coatingeigenschappen te waarborgen.

Ten slotte hebben de milieueigenschappen invloed op coatingdegradatie. Op milieueigenschappen kan het Havenbedrijf geen invloed uitoefenen, hierdoor bevat deze groep de maatgevende factoren die van invloed zijn op het te realiseren degradatiemodel. De factoren uit het milieu kunnen corrosie veroorzaken nadat coatingdegradatie dermate ver gevorderd is. Binnen de literatuurstudie zijn meerdere factoren onderzocht en is gebleken dat saliniteit, temperatuur en UV straling dominantie degradatiefactoren zijn voor coatingsystemen. Een bijkomstig voordeel van deze drie degradatiefactoren is dat zij on-site eenvoudig te monitoren zijn. Hiernaast zijn de factoren in laboratorium testen goed gecontroleerd te implementeren in tegenstelling tot veel andere milieufactoren. In het afstudeeronderzoek zijn overige degradatiefactoren vanuit het milieu niet nader onderzocht om een concrete afbakening van het onderzoek te behouden. Onderstaand worden de drie dominante factoren verder toegelicht.

Saliniteit
Het zoutregime van het water waarin een constructie of object zich bevindt kan een belangrijke invloed uitoefenen op coatingdegradatie. In de Rotterdamse haven lopen de zoutgehaltes op locatie sterk uiteen. Deze verschillen ontstaan doordat het havengebied vanaf de zee zich landinwaarts uitstrekt. In sterk zout water zullen de coatingprestaties sneller degraderen, dit komt omdat zout water beter kan geleiden en door de aanwezigheid van chloride ionen.

Temperatuur/Opgeloste gassen
In vrijwel alle wateren is zuurstof de drijvende factor achter corrosie. Het zuurstofgehalte is van grote invloed op de optredende corrosiesnelheid. Indien de temperatuur van het water afneemt zal het zuurstofgehalte in het water toenemen. In welke mate dit exact coatingdegradatie kan beïnvloeden moet blijken uit laboratorium onderzoek.

UV straling
Straling van de zon is ook een factor die het coatingdegradatie proces kan beïnvloeden. De daadwerkelijke degradatie door UV heeft geen significant grote invloed op coatingdegradatie. De UV straling zorgt met name voor het verschil in nat/droog tijden. De UV straling beïnvloedt temperatuur en nat/droog tijden, welke beide invloed uitoefenen op het degradatie proces.

Toelichting overige degradatie factoren
Er is de keuze gemaakt om met drie dominante milieufactoren de basis te leggen van het degradatiemodel. Mede om het feit dat deze goed te monitoren zijn op locatie en in het laboratorium. Het Havenbedrijf kan in de toekomst onderzoek doen naar het verwerken van de overige degradatiefactoren in het model. Alle factoren vanuit figuur 3 welke onder milieueigenschappen vallen kunnen nader onderzocht worden. Zaak is om dan ook correlatie tussen laboratorium testen en de praktijk te creëren zo als dat nu ook gedaan wordt met saliniteit, temperatuur en UV straling.

Overzicht literatuurstudie

Er is gebruikt gemaakt van al bestaande studies binnen het kader van coatingdegradatie. Het Havenbedrijf streeft naar het inzichtelijk krijgen van wat ten grondslag ligt aan degradatie van coating. Op basis van de literatuurstudie wordt het verdere onderzoek naar het degradatiemodel opgesteld.

Het Havenbedrijf is op zoek naar een model dat de afname van de levensduur van coatingsystemen ten gevolge van degradatiemechanismen in kaart kan brengen. Het model moet toepasbaar zijn op allerlei locaties in de Rotterdamse haven. Uitgaande van de schadebeelden en informatie die is opgedaan wordt er geconcludeerd dat bij de realisatie van een model uitgegaan moet worden van vastgestelde coatingeigenschappen en substraateigenschappen. Wat wordt bedoeld is dat ontstane imperfecties en andere fouten in het coating systeem een dergelijk degradatiemodel negatief kunnen beïnvloeden. De oncontroleerbare fouten worden dus buiten beschouwing gelaten in het model en worden tevens opgevangen met de garantie eis van het Havenbedrijf. Onder oncontroleerbare fouten wordt onder andere schade door incidenten verstaan. Het belang van de basisbeginselen van een goed werkende coating is van enorme waarde, maar het hoofddoel zal zijn om fouten bij voorbaat te elimineren. Als de fouten in de voorbereidende fases geëlimineerd worden, dan kan het Havenbedrijf zich richten op een ‘vereenvoudigd’ degradatiemodel op basis van milieueigenschappen.

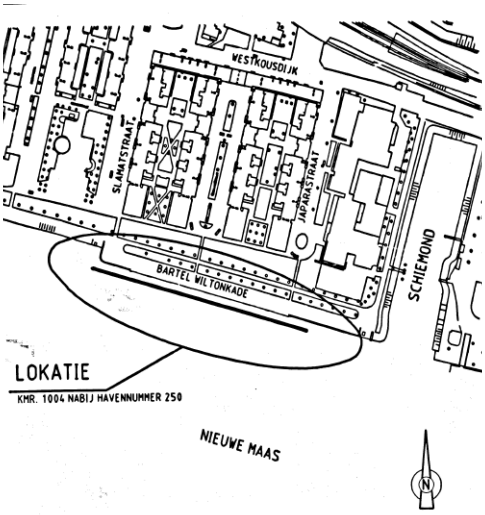
Coatingsystemen kunnen getest worden met behulp van uiteenlopende testmethoden en/of modellen. Er zijn methoden waarin op specifieke coatingeigenschappen getest wordt, anderzijds zijn er testen waarin meerdere eigenschappen meegenomen worden. Er is hedendaags nog geen methode of model dat voldoet aan de vraag van het Havenbedrijf. Er is dus geen methode die een volledig geautomatiseerd degradatiemodel op basis van levensduur kan weergeven voor een coating met bijbehorende locatie. De theoretische coatinglevensduur loopt vaak niet gelijk met de daadwerkelijke levensduur in de praktijk, dit zorgt voor de onvoorspelbaarheid binnen het Havenbedrijf.

Afzonderlijke degradatietesten geven met name antwoord op een bepaalde eigenschap van een coating, terwijl de gezamenlijke eigenschappen van een coating juist het degradatieproces daadwerkelijk versnellen of vertragen. Testen waarin zoveel mogelijk eigenschappen en factoren van een coating verwerkt zijn leveren de beste resultaten op, zoals bij bijvoorbeeld de EIS methode. De EIS methode is een elektrochemische meting waarin resultaten behaald worden op basis van de gezamenlijke eigenschappen van een coating. Hierbij wel vermeld dat EIS ondersteund dient te worden met andere bronnen, zoals bijvoorbeeld: literaire studies, bestaande onderzoeksrapporten en laboratoriumonderzoek.

Deze informatie is nodig omdat een EIS test geen uitsluitsel geeft over wat de oorzaak is van de gevonden problematiek. Aan de hand van de EIS testen en bronnen kan er een zinvolle conclusie getrokken worden over het degradatieproces van coatingsystemen. Voorbeelden van bronnen die het Havenbedrijf gebruikt ter ondersteuning zijn het proefschrift van Tom Bos (Bos, 2008) en een advies rapport van Sonco (Sonke, 2011).

2.2 Analyse schadebeelden

Het Havenbedrijf heeft de laatste jaren veel schadebeelden geconstateerd met betrekking tot coatingdegradatie op civiele werken in de haven. Door deze constateringen is de vraag ontstaan naar een degradatiemodel voor coatingsystemen om de problematiek beheersbaar te maken. In dit hoofdstuk worden enkele schadebeelden toegelicht om een beeld te geven van de problemen op constructies in de haven.



Figuur 4: Locatie Bartel Wiltonkade (Ingenieursbureau havenwerken, 1994)

Bartel Wiltonkade (Ingenieursbureau havenwerken, 1994)[2]

Aan de Bartel Wiltonkade in deelgemeente Delfshaven te Rotterdam is in 1994 een bouwopdracht verstrekt door het toenmalige Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam. Het werk betreft de bouw van een remmingwerk ten behoeve van de kademuur. Het remmingwerk is ca. 200 meter lang en heeft een viertal ducdalven. De locatie van het werk is te zien in figuur 4.

Het remmingwerk bestaat uit stalen liggers (ø 914 mm) met verticale uithouders (de zgn. stekers, ø 406 mm). Diverse stalen onderdelen zijn aan elkaar gelast op locatie en het geheel is voorzien van een aantal lagen coating. De lasnaden die ontstaan zijn door het verbinden van de stalen buisprofielen zijn afgewerkt en voorzien van een zoals het in het project rapport aangegeven ‘deugdelijke’ coatinglaag.

De coating op het remmingwerk en de ducdalven is tot ca. 1m onder de bodemdiepte voortgezet.
De coating op de onderdelen is een epoxy-coating en is als volgt opgebouwd:

- laag 1: sigmacover primer laagdikte min. 75 micrometer
- laag 2: TCP-coating (grijs) laagdikte min. 150 micrometer
- laag 3: TCP-coating (zwart) laagdikte min. 150 micrometer

[2] Bron kan op aanvraag getoond worden, i.v.m. grootte van het document niet toegevoegd aan de bijlagen.

Analyse probleem

Op 14-02-2017 is een inspectie ronde gedaan door de Rotterdamse haven om bestaande schadebeelden visueel te inspecteren. In deze inspectieronde is er langs de Bartel Wilkonkade gevaren om hier ontstane coatingdegradatie waar te nemen. Waargenomen werden corrosie producten die zich met name concentreerden op en rondom verbindingen en lasnaden van het stalen buisprofiel, zoals te zien is in figuur 5. De coating welke niet in de buurt van lasnaden is aangebracht functioneert naar behoren, afgezien van dat de esthetische kwaliteit wat afgenomen is door kleurverandering.

Figuur 5: Corrosieproducten langs een lasnaad (Banis, Schadebeelden)

De zone waarin de corrosie producten zich bevinden ligt net boven GHW (gemiddeld hoog water) +1.33 NAP en in de splash zone tot aan +2.53 NAP. Hierdoor is dit onderdeel van het remmingwerk vaak in een nat-droog situatie en ook is er UV straling opname in de coating door de positie ten opzichte van de zon. Het water waarin het remmingwerk staat heeft een saliniteit van <2,5 ppt (parts per thousand). Ppt geeft het aantal gram zout aan in 1 liter water en met deze saliniteit kan het water op locatie beschouwd worden als zoetwater. Zoetwater is een slechte geleider in het corrosie proces.

Oorzaken analyse

Zichtbaar is dat de corrosie producten zich met name voordoen rond de lasnaden en verbindingen van de stalen buisprofielen. De oorzaak hiervan is vrijwel zeker een ondermaatste voorbehandeling van de lasnaad en/of een niet geschikte coating die over de lasnaden is aangebracht. In het project rapport wordt er gesproken over een ‘deugdelijke conserveringslaag’ die aangebracht zal worden over de lasnaden. Er wordt niet gesproken over een behandeling en een coatingtype voor de lasnaden. Door deze onduidelijke beschrijving in de project omschrijving is er waarschijnlijk nalatig gehandeld, hierdoor is er coatingdegradatie ontstaan. Door de degradatie zijn er risico’s voor de constructie ontstaan, het proces kan leiden tot een zwakkere constructie. De eisen aan de voorbehandeling van een substraat zijn in de literatuurstudie behandeld (bijlage 1).

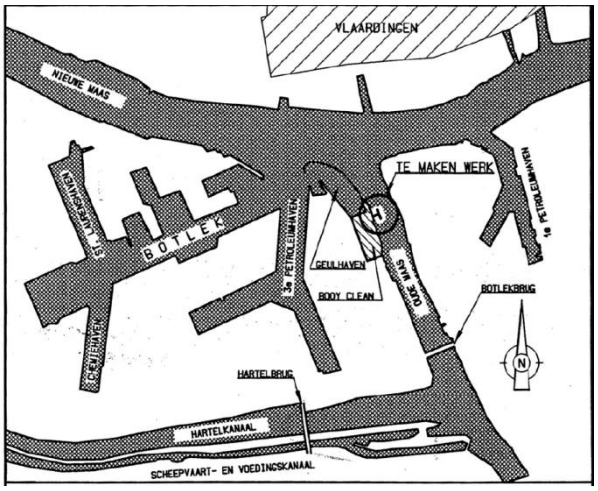
Het niet correct behandelen van de lasnaden heeft gezorgd voor flinke coatingdegradatie. Het ter plekke aanbrengen van coating over lasnaden is ook een van de bemoeilijkende factoren, waardoor er sneller degradatie kan ontstaan. Deze degradatie beheren is uiterst ingewikkeld, omdat het een complex object is dat niet makkelijk toegankelijk is voor onderhoud. Het compleet opnieuw behandelen van het remmingwerk en dus een tijdelijk niet toegangkelijke kade of ligplaats is geen reële optie, wanneer de problematiek zich voordurend voordoet. Een constructie over 50 jaar compleet opnieuw coaten is financieel wel rendabel, maar met de gevonden problematiek zal binnen een tijdsduur van enkele jaren steeds opnieuw gecoat moeten worden.

De coating welke is aangebracht in geconditioneerde omstandigheden lijkt naar behoren te functioneren, de esthetische kwaliteit is wel erg slecht. Lokale corrosie aanslag zorgt er daarentegen wel voor dat het omliggende substraat ook gaat degraderen, wat ook zichtbaar is bij de Bartel Wiltonkade.

Voor nu kunnen de corrosie producten alleen lokaal opnieuw behandeld en gecoat worden. Met deze methode wordt echter nooit de gewenste kwaliteit behaald. Dit heeft alles te maken met de toegankelijkheid, werkomstandigheden en milieuomstandigheden. Met deze manier van herstellen wordt het probleem echter alleen tijdelijk opgelost. Het is dus zaak om lasnaden in de toekomst gelijkwaardig te behandelen met het overige substraat, zodat het substraat uniform is en coatingdegradatie sterk verminderd wordt. Een andere aanbeveling zou zijn om het lassen in het werk te vermijden door het ontwerp hierop aan te passen. Een voorbeeld hiervan is de reeds ontworpen standaard kademuur van het Havenbedrijf, welke in beton is uitgevoerd en dus geen lassen bevat in kritieke zone's.

Steiger Odfjell Oude Maas (Gemeentewerken Rotterdam, 1992)[3]

In de Oude Maas langs het huidige Odfjell terrein te Rotterdam is er in 1992 de behoefte ontstaan om een vast afmeerpunt voor tankschepen te realiseren. De opdracht is door Gemeentewerken Rotterdam ingenieursbureau uitbesteed. De totale constructie omvatte 1350 ton staal en heeft een oppervlakte van 5300m^2. Het remmingwerk bestaat uit stalen liggers welke allen zijn voorzien van een coating. De staalkwaliteit die gebruikt is voor het remming werk is St E 415,7 TM. De locatie van het werk is te zien in figuur 6.



Figuur 6: Locatie steiger Odfjell (Gemeentewerken Rotterdam, 1992)

Diverse stalen onderdelen zijn in het werk aan elkaar gelast en de lasnaden die hierdoor ontstaan worden vervolgens behandeld en opnieuw gecoat. De coating die door laswerkzaamheden is verbrand of deels verwijderd is moet plaatstelijk met een slijptol worden afgeslepen, totdat alle coating resten zijn verwijderd. Vervolgens moet in het werk de coating opnieuw aangebracht worden met de kwast. Deze 'nieuwe' lagen moeten bestaande lagen ca. 50mm rondom overlappen. De coating is tot 3 meter onder de bodemdiepte doorgezet.

De 3 laagse coating die is toegepast op het staalwerk bestaat uit het volgende:

- laag 1: zinkfosfaat primer laagdikte min. 40 micrometer
- laag 2: koolteerepoxy (20% verdund) laagdikte min. 50 micrometer
- laag 3: koolteerepoxy (onverdund) laagdikte min. 350 micrometer

Analyse probleem

Evenals bij de Bartel Wiltonkade is de coatingdegradatie met name zichtbaar langs verbindingen en lasnaden. Verschillende striemen om het buisprofiel zijn te zien waaromheen lichte corrosie producten te zien zijn. Wat opvalt is de groen-grijze laag coating die is aangebracht rondom lasnaden en verbindingen. Deze groen-grijze Poly-Urea coating bladdert af en lijkt niet goed te hechten aan het substraat en/of de omliggende en onderliggende coating, in figuur 7 is dit te zien.

Figuur 7: Afbladeren van herstelcoating (Banis, Schadebeelden)

[3] Bron kan op aanvraag getoond worden, i.v.m. grootte van het document niet toegevoegd aan de bijlagen.

In het gebied is GHW gemiddeld +1,26 NAP en GLW (gemiddeld laag water) -0,47 NAP en het midden van de buisliggers in kwestie bevindt zich op +2,07 NAP. De zichtbare coatingdegradatie bevindt zich dus net boven GHW en zal alleen incendentieel in direct contact staan met het water. De westzijde waar zich de meeste problemen voordoen ondervindt geen UV straling, doordat het grotendeels in de schaduw staat van de voorliggende constructie. Het water heeft een saliniteit in dit gebied van 2,5 - 20 ppt, dit komt doordat de saliniteit tijdens maximale zoutindringen rond het splitsingpunt Oude Maas – Nieuwe Maas een sterke langsgradiënt vertoont in de saliniteit. Hiermee kan het water is de Oude Maas afwisselend een goede of slechte geleider vormen in het corrosie proces.

Oorzaken analyse

Het probleem is net als bij het voorgaande schadebeeld ontstaan langs verbindingen en lasnaden. Geconcludeerd kan worden dat in het werk behandeld en gecoat substraat minder goede coatingeigenschappen heeft. De omgevingomstandigheden zijn niet ideaal, waardoor de gewenste eigenschappen van de coating niet gehaald zijn. De coating die is aangebracht rondom lasnaden en verbindingen hecht slecht met de coating op het overige substraat dat tijdens de fabricage fase is aangebracht. De coating welke is aangebracht in fabricage omstandigheden functioneert naar behoren, de esthetische kwaliteit is wel iets afgenomen. De koolteercoating die toendertijd is toegepast mag hedendaags echter niet meer geappliceerd worden, dit is gedaan om gezondheidsredenen. Koolteerepoxy bevat zogenaamde PAK's (Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen) die kankerverwekkend kunnen zijn.

Een veelvoorkomend probleem is het op locatie behandelen en coaten van een substraat. De niet gelijke eigenschappen van een coating over het gehele substraat lijkt het grootste probleem te vormen. In dit schadebeeld is er hoogstwaarschijnlijk onjuist voorbehandeld. De applicatie van de coating rondom de verbindingen en lasnaden kan ook niet correct uitgevoerd zijn. Wat zich nu voordoet is een uitzichtloze situatie waarin de delen opnieuw gecoat worden, maar op den duur dezelfde degradatie vertonen. In 2011 is de groen-grijze laag uit figuur 7 aangebracht rondom de verbindingen om de coating bij te werken. Dit resulteert nu in afbladering van de coating en hierdoor blijft het probleem zich voortzetten en uitbreiden. Het hele werk tamelijk regelmatig droogzetten en opnieuw behandelen is financieel niet rendabel en ook is de aanlegplaats dan buiten gebruik voor een bepaalde periode. Door de onvoorspelbaarheid van de levensduur voor coatingsystemen is er geen duidelijkheid wat de onderhoud kosten zijn over een bepaalde tijdsperiode.

2.3 Conclusie

Vanuit de literatuurstudie en het schadebeelden onderzoek zijn er conclusies getrokken voor het verdere afstudeeronderzoek. Geconcludeerd is dat afname van coatingeigenschappen door milieueigenschappen de hoofddraad vormt voor een eventueel degradatiemodel. Fouten aan de substraateigenschappen of coatingeigenschappen zijn reeds beheersbaar gemaakt door het Havenbedrijf. Uit het schadeonderzoek kan wel opgemaakt worden dat fouten uit deze twee groepen wel kunnen uitgroeien tot grote coating problematiek. Met behulp van testmethoden kan de afname van de weerstand van coatingsystemen over de tijd in kaart gebracht worden. In welke mate hieruit een daadwerkelijke levensduurvoorspelling komt zal moeten blijken uit verder onderzoek en uit toekomstige onderzoekcijfers.

Vanuit een grote hoeveelheid weerstandwaarden van beschermende coatingsystemen, verkregen met EIS kunnen er directe vergelijkingen opgesteld worden. Als de weerstandwaarden bekend zijn kan hierop volgend gekeken worden op wat voor schaal de milieueigenschappen deze waarde beïnvloeden. Dit kan onderzocht worden met apparatuur, equipment en applicaties van het Havenbedrijf welke milieufactoren in kaart kunnen brengen. De invloed van de omgeving kan ook onderzocht worden aan de hand van laboratorium testen. De laatste stap zou dan zijn gevonden resultaten te verklaren en in kaart te brengen aan de hand van milieufactoren om vervolgens te verwerken in een statistisch opgemaakt degradatiemodel.

Op basis van het bovenstaande zijn er plannen opgesteld voor het verdere afstudeeronderzoek. Allereerst is in overleg met het Havenbedrijf een onderzoeksrichting uitgezet. Er is geconcludeerd dat met name een statistisch opgebouwd model haalbaar is. Daarom is de afweging gemaakt om verder onderzoek te doen naar bestaande EIS meetresultaten. Doel hiervan is om een database te generen, waarmee het model van de eerste input wordt voorzien. Met behulp van de testresultaten kan wellicht al wat gevonden worden betreffende coatingdegradatiesnelheden op basis van EIS metingen.

Ten tweede is er besloten om testen in te plannen die nieuwe resultaten behalen voor het statistische degradatiemodel. De eerste deelopdracht hierin is het opstellen van een testprotocol voor Simco Technologies, die de testen in het laboratorium gaat uitvoeren. De tweede opdracht is het aanvragen en uitzetten van EIS testen op verschillende locaties in de Rotterdamse haven. Voor de ontwikkeling van het model is het van belang te bepalen welke milieufactoren van invloed zijn bij degradatie. Aan de hand van de verschillende omgevingseigenschappen op de locaties en in het laboratorium kan er bepaald worden wat er in de scope van het degradatiemodel zit.

3 Onderzoeksmethoden

De methode die gebruikt is voor dit afstudeeronderzoek bestaat uit een gemengde aanpak gebaseerd op literatuur en de visie van het Havenbedrijf. Op basis van de literatuurstudie is ervoor gekozen om in het afstudeeronderzoek gebruik te maken van deskresearch en fieldresearch. Voor het deskresearch zijn testrapporten van door het Havenbedrijf reeds uitgevoerde coating-testen verzameld om een database te kunnen genereren.

Fieldresearch wordt opgezet aan de hand van een tweetal onderzoeken, waarmee de database uitgebreid kan worden. Het fieldresearch bevat ten eerste een testprotocol voor laboratorium testen om gewenste gegevens te verkrijgen over losse degradatie factoren. Het tweede deel van het fieldresearch is het uitzetten van on-site EIS metingen in de Rotterdamse haven.

3.1 Deskresearch

Vanuit het kantoor van het Havenbedrijf aan de Wilhelminakade te Rotterdam is het overgrote deel van de deskresearch uitgevoerd. Binnen het netwerk van het Havenbedrijf zijn er uiteenlopende bronnen beschikbaar welke bijdragen aan dit onderzoek, zoals de interne schijf, Portmaps en Globespotter. Er is gezocht naar bestaande documenten dan wel onderzoeken die verwerkt kunnen worden in een eigen database. Het doel hiervan is om in kaart te brengen wat het Havenbedrijf al kan opmaken en concluderen uit bestaande gegevens.

De deskresearch is gestart na de voltooiing van de literatuurstudie. Door de getrokken conclusie is er voor de deskresearch met name gezocht naar bestaande metingen die uitgevoerd zijn in opdracht van het Havenbedrijf in de Rotterdamse haven. Verschillende partijen hebben in het verleden onderzoek gedaan naar coatingsystemen on-site en in het laboratorium. Een gecombineerde databank hiervan moet een statistisch degradatiemodel ondersteunen.

Er wordt gezocht naar specifieke uitkomsten van EIS testen waarin weerstanden (R_c) gegeven zijn. De R_c vormt een indicatie van de gesteldheid van de coatingeigenschappen. Met behulp van deze weerstanden kunnen de geteste coatingsystemen ingedeeld worden volgens de coatingkwalificatie norm van *Gray et al* (Gray, 2003). De coatingkwalificatie van *Gray et al* vormt een indicatie van de gesteldheid van de coatingweerstand, het is onderverdeeld in zeer uitstekend, uitstekend, goed, matig en slecht. De coatingkwalificatie indeling is te zien in figuur 8 in het resultaten hoofdstuk. In een grafiek kunnen EIS waarden simpel afgelezen worden door de coatingkwalificatie eroverheen te leggen. De weerstand neemt af naarmate de levensduur vordert en dus is de weerstand een goede houvast om statistisch coatingdegradatie over de tijd te meten.

Y_0 is in veel bestaande rapporten ook gemeten en zegt iets over de wateropname van een coating. De Y_0 waarde van een coating neemt toe met de levensduur. Naarmate de R_c dus afneemt over de tijd zal de Y_0 gelijkmatig hieraan groter worden. De Y_0 waarden kunnen gelijktijdig met de R_c waarden doorgemeten worden maar vooralsnog is het doel om degradatiesnelheden in kaart te brengen met behulp van de R_c.

Wanneer coatingweerstanden gevonden zijn kan er gekeken worden welke degradatiefactoren er op locatie aanwezig zijn en in welke mate. Er wordt gefocust op de gekozen factoren binnen dit onderzoek. Door de coatingweerstand naast de aanwezige degradatiefactoren te leggen kan er onderzocht worden in welke mate de factoren bijdragen aan de degradatie van coating. Het Havenbedrijf kan de aanwezige factoren in een later stadia zelfstandig in kaart brengen.

3.2 Fieldresearch

Fieldresearch is de tweede onderzoeksmethode die is toegepast om gegevens te verkrijgen voor het degradatiemodel. Binnen het fieldresearch worden er twee afzonderlijke deelonderzoeken uitgezet. In samenspraak met het Havenbedrijf is ervoor gekozen om allereerst een testprotocol voor laboratoriumonderzoek op te stellen voor Simco Technologies. Gelijktijdig hieraan wordt het tweede deelonderzoek behandeld, betreffende het uitzetten van praktijk testen in de Rotterdamse haven. Het doel is hier eveneens om met beide onderzoeken een basis te leggen voor een statistisch degradatiemodel.

Testprotocol Simco Technologies

Het testprotocol is opgesteld om coatingdegradatie gecontroleerd in een laboratorium te kunnen testen. De laboratorium testen moeten de afhankelijkheid en gevoeligheid van losse degradatiefactoren bepalen. Onder gecontroleerde milieuomstandigheden kunnen verschillende coatingsystemen aangebracht op stalen coupons getest worden. Er is vanuit Simco Technologies om hulp gevraagd met de vormgeving van de testopstellingen en is er uitleg gewenst over hoe de EIS methode toegepast wordt. Er wordt geformuleerd hoe Simco Technologies de resultaten kan verkrijgen en hoe zij het moeten verwerken. Simco Technologies is nog vrij onbekend met de EIS methode, dus zal er een basis uitleg gegeven worden.

Met behulp van literatuur en al bestaande onderzoeksresultaten is er een testprotocol opgesteld. Hierin vormen eerder uitgevoerde testen van Simco Technologies een belangrijke basis. Het testprotocol is zo opgesteld om de gewenste informatie voor het Havenbedrijf te verzamelen en hiermee verder te werken aan de realisatie van het degradatiemodel. Simco Technologies moet aan de hand van het testprotocol de onderzoeken zelfstandig uitvoeren en afronden. Dit wordt gedaan met ondersteuning van de NEN-EN-ISO 16733-1 en NEN-EN-ISO 16733-2 norm.

On-site metingen Rotterdamse haven

Er is besloten om op een aantal locaties in de Rotterdamse haven metingen te gaan uitvoeren op verschillende constructies. De metingen worden gedaan met behulp van de eerder besproken EIS methode. De locaties zijn gekozen op basis van de aanwezige coating en de verschillende milieueigenschappen. De verschillende milieueigenschappen op locatie moeten aantonen of er verschil in degradatiesnelheid is.

In het verleden is er al meermaals onderzoek gedaan met EIS metingen in de Rotterdamse haven. Na het bestuderen van deze onderzoeken is besloten om op eenzelfde manier te gaan testen. De voorgaande resultaten zijn dermate bruikbaar dat het gewenst is om het op een gelijke manier te doen. Tevens wordt er getest op locaties waarvan de coatingweerstand bekend is vanuit contractuele eisen of eerdere testresultaten. Aan de hand van deze documenten kan er wat geconcludeerd worden over degradatiesnelheden.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten die tijdens de desk- en fieldresearch gevonden zijn kort samengevat en toegelicht. In het resultaten hoofdstuk zijn uitgewerkte stukken te zien van EIS meting rapporten die deel uit maken van de gewenste database. De fieldresearch met daarin het testprotocol voor Simco Technologies wordt besproken en de resultaten betreffende het on-site onderzoek worden uitgelicht.

4.1 Databank EIS metingen

Meerdere EIS metingen zijn al uitgevoerd in opdracht van het Havenbedrijf en kunnen gebruikt worden om coatingdegradatie in kaart te brengen. Op meerdere locaties in de Rotterdamse haven is er getest met behulp van de EIS methode. Twee verschillende on-site EIS testen zijn in dit hoofdstuk uitgewerkt. De gewenste databank zal bestaan uit zoveel mogelijk EIS meting resultaten.

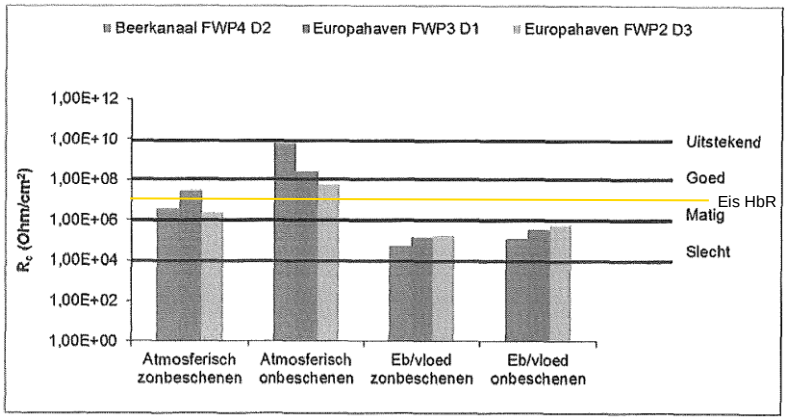
Meerpalen Beerkanaal & Europahaven

De afmeerpalen waarop onderzoek is uitgevoerd zijn allen bewerkt met Polyester Baltoflake, ofwel een glassflake versterkte polyester coating. De coating is op het moment van meten op z'n minst zes maanden daarvoor aangebracht. In dit onderzoek wordt de barrière werking gerangschikt volgens de indeling in figuur 8. De eerdere testen zijn uitgevoerd door Endures.

Weerstand In Ohm/cm^2	Barrière eigenschappen coating
R_c < 1,0E+04	Slecht
1,0E+04 < R_c < 1,0E+06	Matig
1,0E+06 < R_c < 1,0E+08	Goed
1,0E+08 < R_c < 1,0E+10	Uitstekend
R_c > 1,0E+10	Zeer uitstekend

Figuur 8: Indeling van barrière eigenschappen (Endures)

Met behulp van figuur 8 kan bepaald worden of de glassflake versterkte polyester coating barrière eigenschappen na zes maanden nog voldoen aan de eisen. Er is in de testen verschil gemaakt tussen zon beschenen en onbeschenen delen en ook is er een splitsing gemaakt tussen de eb/vloed zone en de atmosferisch zone.



Figuur 9: Rc waarden na 6 maanden blootstelling (Endures)

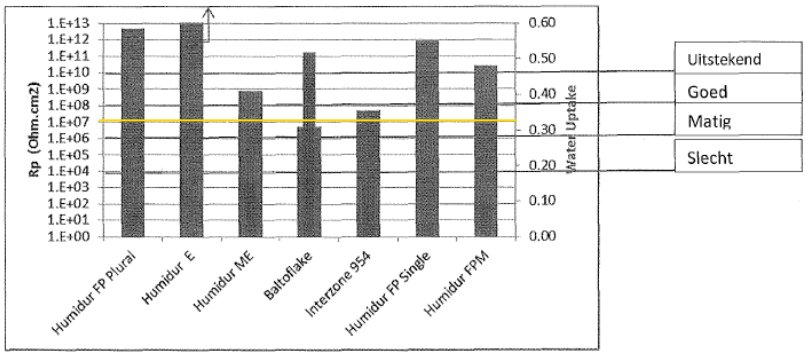
Uit de EIS metingen blijkt dat de eb/vloed zone de laagste coatingweerstand bevat, zoals te zien is in figuur 9. Er is ook een lichte invloed van het zonlicht geconstateerd die bijdraagt aan coating degradatie. Na zes maanden is de coatingweerstand in de eb/vloed zone al matig te noemen. In de atmosferische zon beschenen zone is dit nog net niet het geval. Alleen in de atmosferische onbeschenen zone is er nog sprake van een goede coatingweerstand en voldoet deze als enige nog aan de gestelde norm van het Havenbedrijf. De weerstand die is opgenomen en geëist wordt bij nieuwbouw vanuit het moederbestek van het Havenbedrijf bedraagt: $1{,}00 \times 10^7\ Ohm/cm^2$.
Deze eis is in de figuren weergeven met een horizontale gele streep.

Laboratorium Polyester coating

Vervolgens is door VLCI (van Loon Chemical Innovations B.V.) in het laboratorium verder onderzoek gedaan naar o.a. de glassflake versterkte polyester coating. De coating is aangebracht op metalen testplaatjes en is vervolgens gedurende drie weken blootgesteld aan zoutwater (3,5%). Na drie weken vertoont de Polyester Baltoflake dezelfde resultaten als in het onderzoek van Endures op de afmeerpalen in de haven van Rotterdam. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat de gevonden waarden correleren met de waarden uit de praktijk. Hierbij moet wel opgenomen worden dat alleen het zout percentage van het water gegeven is en niet zoals bij het onderzoek van Endures of het substraat wel of niet zon beschenen is. Wat ook niet bekend is, is welke degradatie zone er nagebootst is in het laboratorium.

Laboratorium vergelijking diverse coatingsystemen

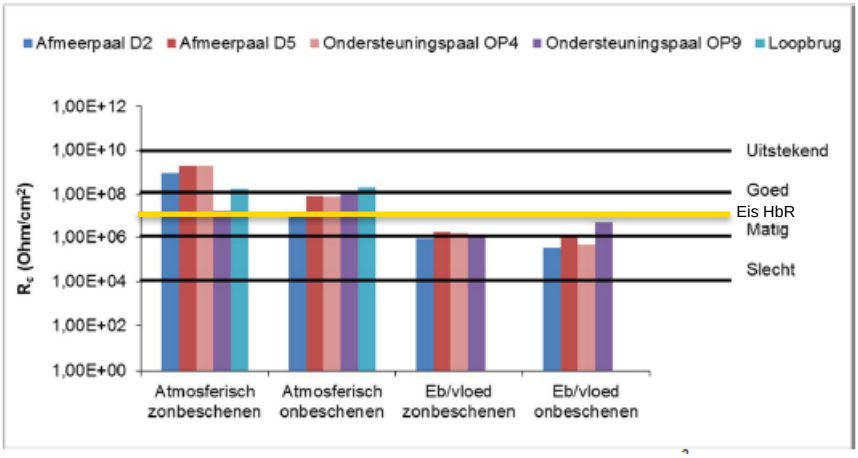
Verder zijn er door VLCI meerdere coatingsystemen onderzocht op eenzelfde wijze als bij de glassflake versterkte polyester coating. Alle coatingsystemen worden aangebracht op een metalen plaatje zonder primer. In figuur 10 zijn de weerstanden en wateropname van alle geteste coatingsystemen na drie weken weergegeven. Te zien is dat de Humidur coatingsystemen de beste resultaten laten zien na drie weken. Deze coatingsystemen bezitten de laagste wateropname en de hoogste weerstand.



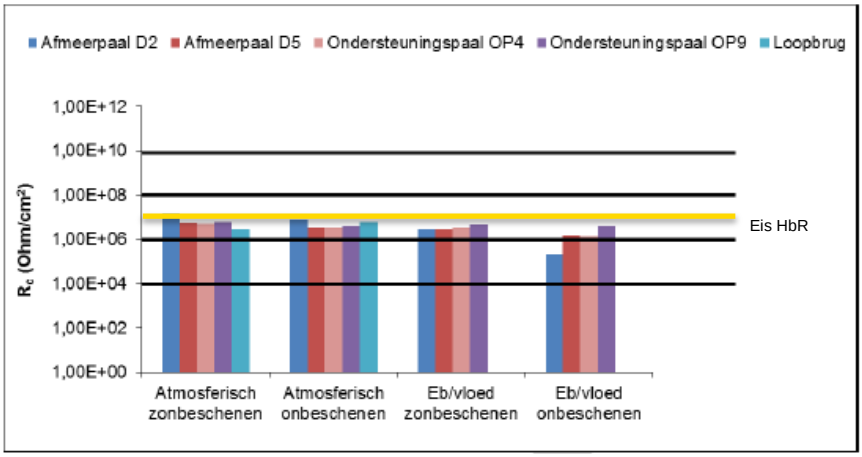
Figuur 10: Rc waarden na drie weken (Endures)

Meerpalen Botlek, Steiger 0

Endures heeft EIS metingen uitgevoerd op meerdere constructies in het Botlek gebied in de Rotterdamse haven. Er zijn op afmeerpalen, ondersteuningspalen en een enkele loopbrug testen uitgevoerd met betrekking tot de coatingeigenschappen. De coating is in meerdere zones getest op de weerstand om hiermee de invloed van bepaalde factoren te kunnen verklaren. Endures heeft de test na een tussenperiode van twee jaar opnieuw uitgevoerd. Hierdoor kunnen relevante dingen gezegd worden over degradatiesnelheden van coatingsystemen. Er wordt gefocust op de afmeerpalen en ondersteuningspalen omdat het afstudeeronderzoek hier zich met name op richt. De afmeerpalen zijn voorzien van de volgende coating: Jotun Baltoflake Ecolife black, ofwel een glassflake versterkte epoxy coating. De resultaten van de testen zijn weergeven in figuur 11 en figuur 12.



Figuur 11: Rc waarden gemeten op 25 juli 2014 (Buter, Coating kwalificatie steiger 0, 2014)



Figuur 12: Rc waarden gemeten op 19 juli 2016 (Buter, Coating kwalificatie steiger 0, 2016)

Uit beide figuren is op te maken dat de beschermende werking van de coating op de palen in de atmosferische zone is afgenomen na 2 jaar blootstelling. De beschermde werking is in de eb/vloed zone nagenoeg gelijk gebleven maar kan nog altijd gekwalificeerd worden als matig. De invloed van UV straling lijkt in deze situatie geen grote verschillen te geven. De vereiste weerstand bij nieuwbouw uit het moederbestek van het Havenbedrijf van $1{,}00 \times 10^7\ Ohm/cm^2$ wordt echter nu op alle zones niet meer behaald. Dit geeft aan dat de weerstand in een vrij korte periode al de gewenste waarde verliest en de degradatie dus in een hoog tempo lijkt te verlopen.

Doordat er in dit geval in twee verschillende tijdsbestekken gemeten is kunnen er cijfers gehangen worden aan de degradatie. In de atmosferische zone de weerstand afname berekend. Uit de grafiek van 2014 is een gemiddelde weerstand in de zonbeschenen atmosferische zone gemeten van : $3{,}00 \times 10^8\ Ohm/cm^2$, waar dit in 2016 nog maar $8{,}00 \times 10^6\ Ohm/cm^2$ is. Uit deze vrij grote daling van weerstand kan weinig geconcludeerd worden, aangezien het vaak voorkomend is dat een coating met name in het begin veel weerstand verliest. Deze conclusie is getrokken aan de hand van testresultaten binnen C-Cube International B.V. In latere tijdsperioden blijven coatingsystemen vaker constant presteren en dus wordt aangeraden om over een aantal jaar nogmaals te meten.

4.2 Monitoren van milieufactoren

Het Havenbedrijf beschikt over interne applicaties waarin gemiddelde milieuomstandigheden te vinden zijn op diverse locaties. Tevens heeft het Havenbedrijf de apparatuur en equipment om op specifieke locaties onderzoek te doen naar aanwezige milieufactoren. Met behulp van deze middelen kan het bedrijf in een later stadium de gemeten coatingweerstand koppelen aan de gemonitorde milieufactoren. Gemiddelde waarden vormen geen houvast op een model op te stellen. De vrijwel exacte milieuomstandigheden over de bemeten periode zullen in kaart gebracht moeten worden om het model zijn nauwkeurigheid te laten behouden.

4.3 Coatingweerstand bij oplevering

De minimale coatingweerstand bij oplevering die is opgenomen in het moederbestek van het Havenbedrijf bedraagt: $1{,}00 \times 10^7\ Ohm/cm^2$. Tijdens de deskresearch kwam naar voren dat de minimaal geëiste coatingweerstand van het Havenbedrijf bij oplevering snel behaald wordt. Bij de onderstaande opleverdossiers zijn de volgende gemiddelden behaald:

Object	Locatie	Datum	Gemiddelde Coatingweerstand
Trospalen 5 & 6	LBC haven	14-04-2016	$1{,}81 \times 10^7 Ohm/cm^2$
Meerpalen Arianehaven	2e Maasvlakte	06-09-2016	$1{,}39 \times 10^8\ Ohm/cm^2$
Buispalen	Oude maas	09-12-2015	$5{,}15 \times 10^9\ Ohm/cm^2$

Tabel 1: gemeten coatingweerstanden bij oplevering

In de bovenstaande tabel is te zien dat bij oplevering de grens van $1{,}00 \times 10^7\ Ohm/cm^2$ tamelijk eenvoudig behaald wordt. Tevens valt het op dat de coatingweerstand startwaarde nu volgens de coatingkwalificatie van *gray et al* tussen matig en goed ligt. Uit de bestaande gegevens kan opgemaakt worden dat het Havenbedrijf er baat bij heeft om de startwaarde van de coatingweerstand bij oplevering nader te onderzoeken. Er wordt met de huidige eis bij oplevering een vrij ruime marge gegeven met het behalen van de weerstandseis, dit kan nadelig werken voor de kwaliteit van de coating. Aannemers kunnen minder nauwkeurig te werk gaan, wanneer zij door krijgen dat de eis eenvoudig te behalen is. Het Havenbedrijf heeft er baat bij om onderzoek te doen naar een nieuwe hogere weerstand eis bij oplevering om onzorgvuldigheid van aannemers te voorkomen.

4.4 Testprotocol Simco Technologies

Naar aanleiding van de getrokken conclusie uit de literatuurstudie is in samenwerking met het Havenbedrijf besloten om een groot aantal testen te laten uitvoeren door partner bedrijf Simco Technologies. De student heeft de verantwoordelijkheid gekregen om een testprotocol op te stellen. Dit testprotocol moet een handleiding zijn voor Simco Technologies om de gewenste testresultaten te behalen. Met behulp van de testresultaten kan het Havenbedrijf inzichtelijk maken wat er gebeurt met coatingdegradatie onder verschillende omstandigheden. Het doel hiervan is om het toekomstige degradatiemodel geschikt maken voor diverse omstandigheden in de Rotterdamse haven.

Het testprotocol beschrijft de testopstellingen die bestaan uit gecoate metalen coupons. Deze coupons worden onder gecontroleerde uiteenlopende condities ondergedompeld voor een bepaalde tijdsperiode. De testresultaten worden behaald door het toepassen van EIS. De meetresultaten worden verwerkt om zo inzichtelijk te maken in welke mate de verschillende factoren invloed hebben op coatingdegradatie. Het volledige testprotocol is te vinden in bijlage 2.

Testopstellingen

Voorafgaand aan de daadwerkelijke uitvoering van het grote aantal testen zal er eerst getest moeten worden of UV straling invloed heeft op degradatie van coating. Voorgesteld wordt om dit met vier testopstellingen te doen. Gekozen is voor combinatie 2 en 11 (tabel 2), om te kunnen oordelen of er verschil is bij uiteenlopende parameters. Indien aangetoond wordt dat er significant verschil is, dienen alle 12 testopstellingen dubbel uitgevoerd te worden. Dit betekend dan dat elke testopstelling wordt uitgevoerd onder invloed van UV straling en de andere helft zonder invloed van UV straling.

Voor elke temperatuur met saliniteit combinatie worden 9 coupons opgehangen, welke met 3 verschillende soorten coating behandeld zijn. Waarom er gekozen is voor deze twee expliciete factoren is vermeld in het testprotocol, te vinden in hoofdstuk 2 van bijlage 2. De coupons worden in tegenstelling tot bij de voorgaande testen (SimcoTechnologies, 2016) van Simco Technologies nu zonder open ruimte in het middelpunt geleverd, deze openruimte zorgt voor problemen met het aanbrengen van een EIS meetcel. Bij voorgaande testen werd er onderzoek gedaan naar gewichtsafname door corrosie en kon er wel een openruimte gehanteerd worden. Minimale afmetingen voor het coupon zijn er niet, zolang de meetapparatuur aangebracht kan worden op de coupon.

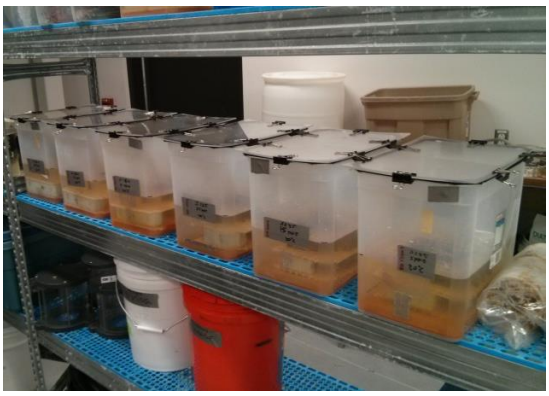
In zijn totaliteit zijn er 108 coupons nodig over 12 plastic containers. Aangeraden wordt om de coupons op een gelijke manier te nummeren of te markeren om onderscheid te kunnen maken, dit kan bijvoorbeeld gedaan worden op basis van positie in de containers. In figuur 13, figuur 14 en figuur 15 zijn voorbeelden zien van de toekomstige testopstellingen, de opstellingen in de figuren zijn van eerder onderzoek bij Simco Technologies.

De coatingdegradatie wordt getest op een enkel type staal, namelijk S235. Uit voorgaande onderzoeken van Simco Technologies is gebleken dat er zich geen verschillen voordoen, betreffende de degradatie van een coupon zonder coating. Het is daarom niet zinvol om in deze testopstellingen met meerdere staaltypen te testen. De opstellingen zijn in tabel 1 horizontaal uitgezet in temperatuur in graden Celsius en verticaal is de saliniteit weergeven in parts per thousand.

Temperatuur→ **↓Saliniteit**	*4 °C*	*20 °C*	*32 °C*
1 ppt	Testopstelling 1	Testopstelling 2	Testopstelling 3
5 ppt	Testopstelling 4	Testopstelling 5	Testopstelling 6
15 ppt	Testopstelling 7	Testopstelling 8	Testopstelling 9
32 ppt	Testopstelling 10	Testopstelling 11	Testopstelling 12

Tabel 2: Testopstellingen S235 genummerd

Figuur 13: Voorbeeld testopstellingen 4°C (Gregoire, 2016)



Figuur 14: Voorbeeld testopstellingen 20°C (Gregoire, 2016)

Figuur 15: Voorbeeld testopstellingen 32°C (Gregoire, 2016)

De drie meest waardevolle coatingsystemen binnen het Havenbedrijf zullen toegepast worden op de stalen coupons. In de toekomst spelen deze drie coatingsystemen de grootste rol in het beschermen tegen corrosie. De volgende coatingsystemen worden gebruikt:

Tabel 56.2.1 van de Standaard RAW bepalingen 2015 (CROW, 2015) is met de volgende verftypen uitgebreid door het Havenbedrijf:

Verftypenummer: 24
Naam aanduiding: Glassflake versterkte polyester coating

Verftypenummer: 25
Naam aanduiding: Glassflake versterkte epoxy coating

Tabel 56.2.2 van de Standaard is met het volgende verftype uitgebreid:

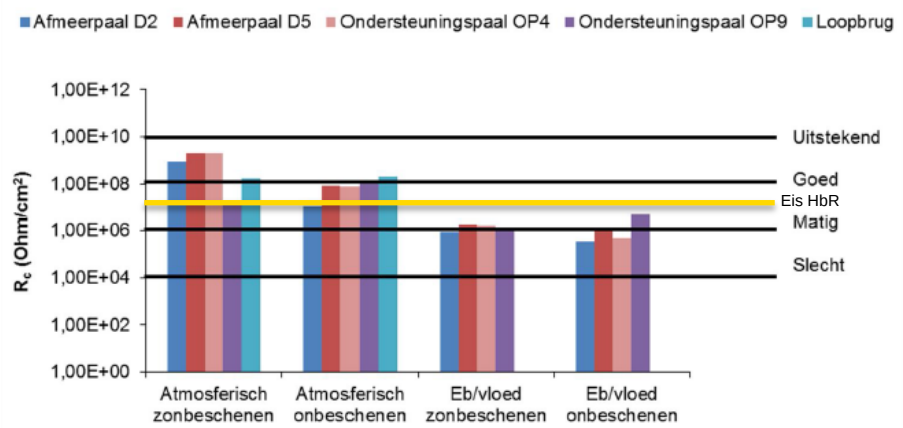
Glassflake versterkte polyester/epoxy coating
- nummer verfsysteem CROW: 21.19
- nummer verfsysteem NPR 7452: -
- nominale laagdikte µm: 1200
- voorbehandeling: Sa 2½
- verflaag 1, type / µm: 24 of 25 / 600
- verflaag 2, type / µm: 24 of 25 / 600
- verflaag 3, type / µm: -
- verflaag 4, type / µm: -
- afwerklaag na montage, type / µm: -

De specificaties van het 3^{e} en laatste coatingsysteem dat getest gaat worden zijn als volgt:

Epoxy primer a.c (HS)
- nummer verfsysteem CROW: 21.07
- nummer verfsysteem NPR 7452: S5.15
- nominale laagdikte µm: 320
- voorbehandeling: Sa 2½
- verflaag 1, type / µm: 7 / 80
- verflaag 2, type / µm: 10 / 80
- verflaag 3, type / µm: 10 / 80
- verflaag 4, type / µm: 16 / 80
- afwerklaag na montage, type / µm: -

In tabel 56.2.2 van de Standaard de voorbehandeling van alle verfsystemen na montage wijzigen in St.3 overeenkomstig NEN-EN-ISO 8501-1, met inachtneming van het gestelde in artikel 56.22.10 lid 10 van de Standaard.

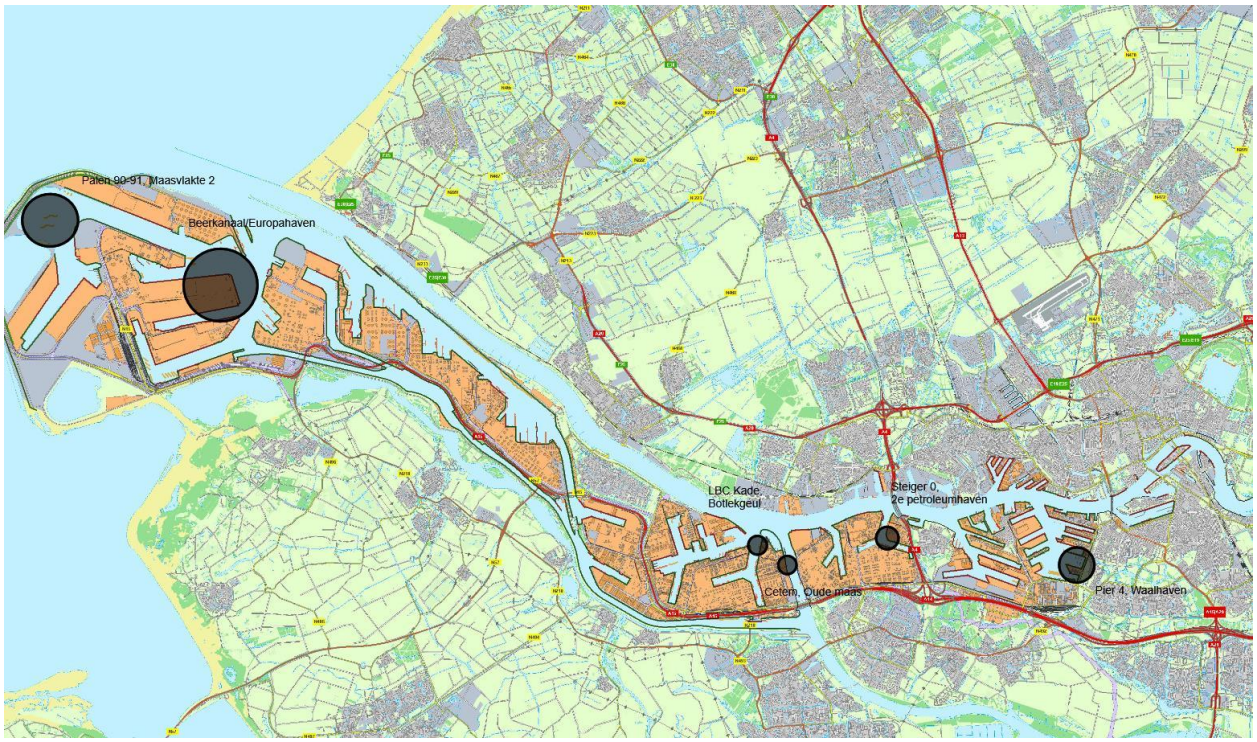
Zoals eerder benoemd worden de resultaten behaald met behulp van de EIS methode. Er is voor gekozen om de waarden viermaal uit te lezen, dit wordt gedaan op dag 0, 30, 60 en 90. De meetresultaten van elke meetopstelling moeten verwerkt worden in een grafiek, waarin de R_C waarde afgelezen kan worden in combinatie met de coatingkwalificatie van *Gray et al* (Gray, 2003). De vormgeving zal gelijk zijn aan figuur 16 op de volgende pagina. Wanneer alle testopstellingen de tijdsperiode doorlopen hebben, dan kan er aan de hand van de resultaten wat zinnigs gezegd worden over weerstand afname. Ten slotte kan er gekeken worden in welke omgevingseigenschappen een coatingweerstand het snelste af neemt.



Figuur 16: Voorbeeld grafiek testresultaten (Endures)

4.5 On-site metingen Rotterdamse haven

De on-site metingen zijn aangeboden bij verschillende partijen, om vervolgens na de offerte aanvraag een partij het werk te gunnen. C-Cube International B.V. zal de EIS testen in de haven gaan uitvoeren en uitwerken. In het verleden heeft C-Cube al soortgelijke opdrachten uitgevoerd voor het Havenbedrijf. Ter verduidelijking van de gewenste resultaten van de on-site metingen is een rapport van C-Cube toegevoegd in bijlage 3. Onderstaand in figuur 17 zijn de verschillende testlocaties aangegeven met zwarte cirkels. De locaties zijn met name gekozen op basis van de milieufactoren op locatie.



Figuur 17: Locaties EIS metingen (Banis, Portmaps, 2017)

De locaties zijn ook gekozen op basis van de aanwezige coatingsystemen. Alle constructies op de locaties zijn voorzien van een van de drie hoofdcoatingsystemen van het Havenbedrijf. Hierdoor kan er een link worden gelegd met het laboratoriumonderzoek van Simco Technologies, hier worden namelijk dezelfde coatingsystemen toegepast. Tevens wordt er getest op locaties waarvan de coatingweerstand bekend is vanuit contractuele documenten of eerdere testresultaten. Alle tekeningen en rapporten van de testlocaties op locatie zijn te vinden in bijlage 3, in figuur 18 is een voorbeeld te zien.

Beerkanaal/Europahaven
Beerkanaal paal FWP4 D2; *Tekening VX010_01*
Europahaven palen FWP3 D1 en FWP3 D3; *Tekening VX037_03*

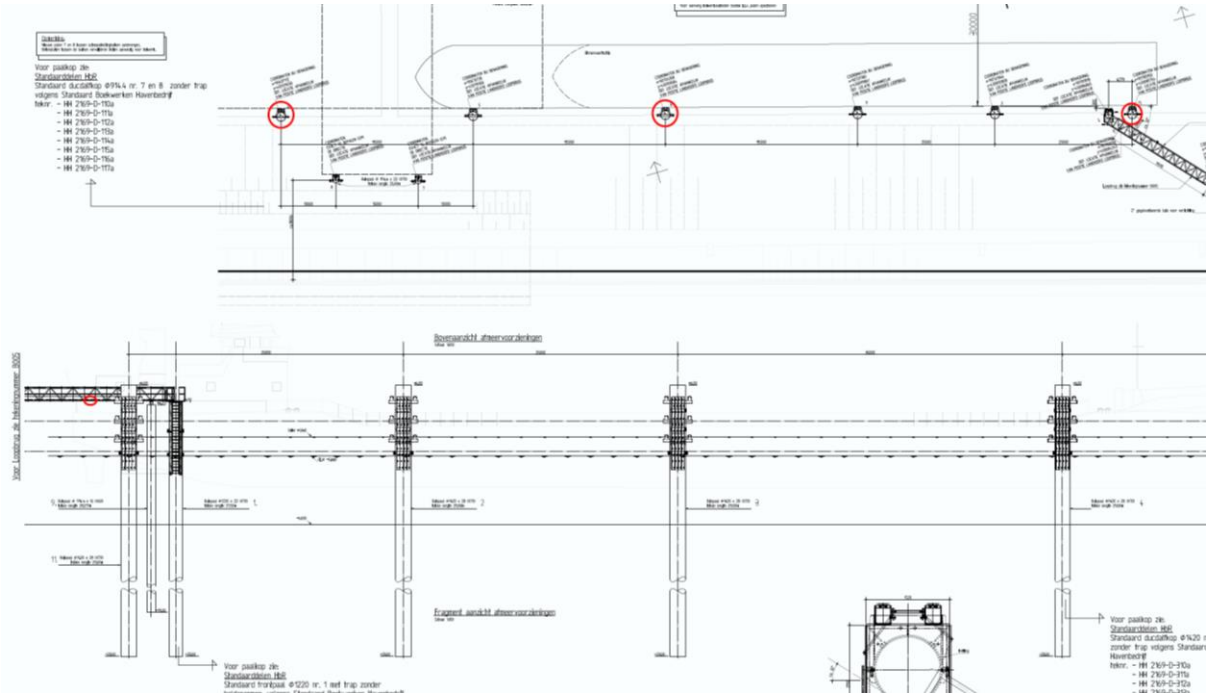
Steiger 0, 2e Petroleumhaven
Afmeerpalen D2, D5 en ondersteuningspalen OP4, 9 en de loopbrug.
Gelijk aan rapport van 3 oktober 2016, herhalingsmeting.

Pier 4, Waalhaven
Afmeerpalen 4,6,11 en loopbrug; *Tekening B004-G*

Cetem, Oude maas
3 Afmeerpalen; *Tekening C02011.000294_A207_rev.b*

LBC kade, Botlekgeul
Trospalen 5 en 6, Paal R32, *Tekening BC6054-201*
Als in rapport C-Cube EIS metingen LBC haven.

Palen 90-91, Maasvlakte 2
90: Palen T1 en T6; *Tekening 31-11-SD-7011-C*
91: Palen T1 en T6; *Tekening 31-11-SD-7011-C*



Figuur 18: LBC kade botlekgeul meetpunten omcirkeld (Arcadis & Banis, 2017)

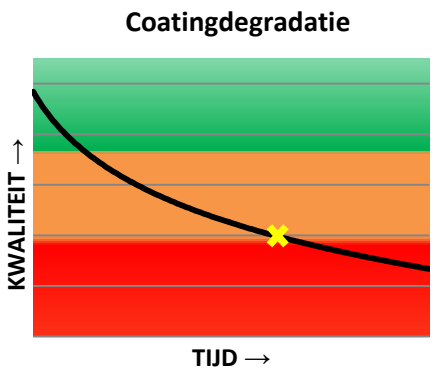
Het werk zal in zijn totaliteit bestaan uit het uitvoeren van 80 afzonderlijke metingen. Elk object dient in de atmosferische zone en de eb/vloed zone bemeten te worden. Voor beide zones geldt dan dat er in de zonbeschenen en onbeschenen kant wordt gemeten. Logischerwijs worden loopbruggen alleen in de atmosferische zone getoetst. De resultaten zijn van belang om in kaart te brengen wat verschillende milieueigenschappen zeggen over degradatiesnelheden van de aanwezige coating. Tevens vormen de resultaten een uitbreiding op de te realiseren database.

4.6 Verwerking testresultaten

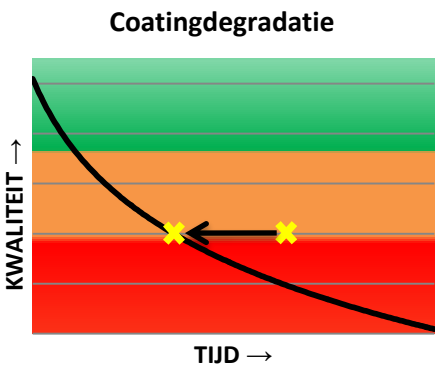
Het onderzoek en daarmee het degradatiemodel vormt zich rondom het vinden van coatingweerstanden. De gemeten coatingweerstand R_C geeft de resterende functionele kwaliteit van een coating aan. Met een gevonden R_C waarde kan vervolgens gekeken worden welke milieufactoren er aanwezig zijn op de testlocatie. Het Havenbedrijf gebruikt bijvoorbeeld het Operationeel Stromingsmodel Rotterdam om de saliniteit en temperatuur te bepalen op locaties in de haven. Met meerdere locaties en dus diverse milieueigenschappen kan er gekeken worden wat die invloed is van milieufactoren op de coatingweerstand.

De gevonden coatingweerstanden on-site kunnen gekoppeld worden aan de laboratorium testen bij Simco Technologies. De laboratorium testen richten zich met name op degradatie door losse milieufactoren. Hierdoor kan aangetoond worden wat en in welke mate invloed uitoefent op coatingdegradatie. Ook kan er gekeken worden of beide gevonden coatingweerstanden correleren met de aanwezige milieueigenschappen.

Indien de testen in herhaling over de tijd uitgevoerd zullen worden zal de validideit toenemen. De statistische benadering van het model wordt hierdoor steeds meer accuraat. Vervolgens is het gewenst om het model zo te realiseren dat milieufactoren gecontroleerd worden in het model. Het bijvoorbeeld aanpassen van de saliniteit in het model zou moeten weergeven wat voor veranderlijke degradatie dat te weeg zou brengen over de tijd. Een indicatie van dit principe is gegeven in de onderstaande figuren 19 en 20. In figuur 19 (situatie 1) is een voorbeeld te zien dat met een toekomstig model is vormgegeven, met als input een bepaalde saliniteit, gemiddelde UV straling en temperatuur. In figuur 20 (situatie 2) is een verandering waarneembaar door aanpassing van een van de milieufactoren. De input van het model moet dus voor elke degradatiefactor de veranderingen kunnen tonen voor de levensduur. In figuur 20 is het kritieke onderhouds punt (het gele kruis) verschoven naar een eerder stadia in de levensduur. Op deze manier kan het Havenbedrijf coatinglevensduur voorspellen aan de hand van input via milieufactoren.



Figuur 19: Situatie 1 coatingdegradatie curve



Figuur 20: Situatie 2 coatingdegradatie curve

5 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de getrokken conclusies op basis van het afstudeeronderzoek toegelicht. Aan de hand van de conclusies worden de deelvragen en de hoofdvraag beantwoord.

Voorafgaand aan het onderzoek waren de verwachtingen aan de haalbaarheid van het degradatiemodel nog onhelder en dus niet concreet geformuleerd. Na voltooiing van de literatuurstudie is er geconcludeerd dat de realisatie van een degradatiemodel niet eenvoudig is. In verband met de afbakening van het afstudeeronderzoek zal de realisatie van het volledige model pas in een volgende fase uitgevoerd worden door het Havenbedrijf.

- *Wat beïnvloedt de levensduur van een coating?*

De levensduur van een coating en hiermee dus ook de levensduur van de constructie wordt door verschillende factoren beinvloed. Binnen het toekomstige model van het Havenbedrijf hebben met name milieufactoren een grote invloed op coatingdegradatie. Factoren als saliniteit, temperatuur en UV straling beïnvloeden de levensduur van coatingsystemen. In welke mate dit exact invloed heeft zal moeten blijken uit het onderzoek dat gedaan gaat worden. De substraateigenschappen en coatingeigenschappen zijn al reeds controleerbaar binnen het Havenbedrijf en beïnvloeden hierdoor niet direct de levensduur voorspelling.

- *Welke risico's ontstaan er ten gevolge van levensduur problematiek van een coating op civiele constructies?*

Door degradatie van coating ontstaat er uiteindelijk corrosie en daarmee een afname van de staaldikte. Door de afname van de staaldikte ontstaan er risico's voor de civiele constructie. Indien de corrosieschade schade zich voordoet in de maatgevende staaldoorsnede van een constructie kan de constructieve veiligheid in het geding komen. Een constructie kan respectievelijk een lager weerstandsmoment en traagheidsmoment krijgen door aantasting van corrosie, waarmee de constructieve veiligheid in het geding is. Het corrosie proces leidt dus op den duur tot een zwakkere constructie. Een ander bijkomend risico is dat de corrosie producten een groter volume aannemen dan het oorspronkelijke substraat. Door het vervormen van het substraat kan een constructie ontwricht worden.

- *Wat zijn de degradatiesnelheden bij diverse toegepaste coatingsystemen?*

Vooralsnog is het onvoorspelbaar wat de degradatiesnelheid van een coating in de praktijk daadwerkelijk is. De degradatiesnelheden zijn afhankelijk van de aanwezige milieufactoren op locatie. Door middel van het uitvoeren van het uitgezette onderzoek kan de degradatiesnelheid in kaart gebracht worden. Preventief testen met de EIS methode kan wel aangeven wat een coating na een bepaalde tijdsperiode nog voor weerstand biedt. Voor levensduur simulatie van coatingsystemen moet er echter in veelvoud testen uitgevoerd worden om nuttige conclusies te kunnen trekken over degradatiesnelheden.

- *In hoeverre kan een degradatiemodel gecreëerd worden met behulp van praktijkproeven?*

Geconcludeeerd kan worden dat het mogelijk is om met praktijkproeven een model op te zetten. Op basis van EIS metingen kan een database opgezet worden met hierin een groot aantal testresultaten. Aan de hand van de database kan een statistisch degradatiemodel gemaakt worden dat zich vormt naar de invloed van milieufactoren op coatingsystemen. Door aanvullend laboratoriumonderzoek uit te voeren is de gevoeligheid van de milieufactoren saliniteit, temperatuur en UV straling te bepalen.

De hoofdvraag: ***''Welke aspecten zijn van belang bij het realiseren van een coating degradatiemodel die een waardevolle bijdrage leveren voor het Havenbedrijf?''*** is grotendeels beantwoord na voltooiing van het afstudeeronderzoek. Allereerst zijn degradatiefactoren vanuit het milieu een belangrijk aspect bij de realisatie van een coatingdegradatie model. De input van deze factoren zal maatgevend zijn voor de levensduur voorspelling van coatingsystemen. Bijkomstig is dat meerdere degradatiefactoren uit het milieu elkaar kunnen beïnvloeden en hiermee dus ook het model.

Ten tweede is het behalen van een grote hoeveelheid testresultaten van belang bij de ontwikkeling van een model. Het model blijkt alleen statistisch op te stellen en dus zullen er vele waarden nodig zijn om het model vorm te geven. Testen in herhaling over de tijd is ook een aspect dat meegenomen moet worden met de realisatie van het model. De statistische benadering van het model wordt hierdoor steeds accurater.

6 Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden aanbevelingen gegeven naar aanleiding van de getrokken conclusies uit het afstudeeronderzoek. De aanbevelingen zijn geschreven om de weg naar een degradatiemodel voort te zetten. Alle aanbevelingen zijn uitsluitend opgesteld voor het Havenbedrijf en met name de afdeling AM-CON. Het uitbreiden van de EIS database en het uitwerken van nieuw onderzoek zijn de voornaamste aanbevelingen.

Allereerst wordt aangeraden om in dezelfde richting door te gaan met het onderzoek naar een degradatiemodel. Het meten van coatingweerstanden en de bepaling van de invloed van milieufactoren moet hierin centraal staan. De weg welke nu ingeslagen is met het creëren van resultaten database van EIS metingen is de meest voor de hand liggende methode om het degradatiemodel te realiseren. Het principe van zoveel mogelijk meetdata verzamelen vergroot statistisch gezien de kans om een model te verwezenlijken. Wat belangrijk is bij het verzamelen van data is dat de objecten meerdere malen worden gemeten over een bepaalde tijdsperiode. Hierdoor kan de verandering van de coatingeigenschappen in de tijd worden beschouwd en wordt de levensduurvoorspelling accurater. Tijdsintervallen van twee jaar voor on-site EIS metingen zijn hierbij een goede indicatie om coatingdegradatie over een langere periode vast te stellen.

Ten tweede wordt er aangeraden om laboratorium testen verder te ontwikkelen. Het doel is om de on-site omstandigheden nauwkeuriger te kunnen simuleren. Een voorbeeld hiervan is het nabootsen van de splash zone in het laboratorium. Uit de praktijk is gebleken dat in deze zone de grootste coatingdegradatie plaatsvindt en dit dus de maatgevende degradatie zone is voor een constructie. De testen in het laboratorium beperken zich momenteel tot ondergedompelde coatingsystemen. Afgezien van het feit dat dit een nuttige bijdrage levert aan het onderzoek volgen hier niet de maatgevende testresultaten uit, omdat het grootste probleem zich zoals hiervoor benoemd bevindt in de splash zone.

Aanbevolen wordt ook om ook de on-site EIS metingen volledig te laten correleren met de waarden gevonden in het laboratorium. On-site kan er gemeten worden in de atmosferische zone en de splash zone, maar is de ondergedompelde zone nog niet toegangbaar voor EIS metingen. In samenwerking met derden kan het Havenbedrijf onderzoek doen naar de mogelijkheden van meten in de ondergedompelde zone.

Gedurende het onderzoek is opgemerkt dat de minimale coatingweerstand bij oplevering vanuit contractuele eisen tamelijk eenvoudig behaald wordt. Er wordt een vrij ruime marge gegeven met het behalen van de coatingweerstand eis en dit kan nadelig uitpakken voor de kwaliteit van een coating. De coatingweerstand eis startwaarde ligt nu volgens de coatingkwalificatie norm van *gray et al* tussen matig en goed. Uit onderzoek is gebleken dat er vaak hoger gescoord wordt dan dit. Aangeraden wordt dan ook om zorgvuldig te onderzoeken of de weerstand eis omhoog kan om betere start functionaliteit van een coating te realiseren. De coatingweerstand eis naar minimaal $1{,}00 \times 10^8\ Ohm/cm^2$ op schroeven is een realistische aanbeveling.

Bibliografie

AM-CON. (2017). *AMPlan Constructions.* Rotterdam.
Arcadis, & Banis. (2017). *Afmeervoorzieningen met aanzicht.* Rotterdam: Arcadis.
Banis. (2017). Portmaps. Rotterdam.
Banis. *Schadebeelden.*
Bos, T. (2008). *Prediction of coating durability.* Delft.
Buter, S. (2014). *Coating kwalificatie steiger 0.* Den Helder: Endures.
Buter, S. (2016). *Coating kwalificatie steiger 0.* Den Helder: Endures.
CROW. (2015). *Standaard RAW Bepalingen 2015.* Ede.
Endures. (sd). *Beerkanaal/Europahaven coating kwalificatie.* Endures.
Gemeentewerken Rotterdam. (1992). *Oude maas westzijde.* Rotterdam: Ingenieursbureau havenwerken.
Gray. (2003). *Using EIS to better understand tank lining performance in laboratory and field evaluation.* Houston.
Gregoire, E. (2016). *Laboratory coupon testing report for 2014-2015.* Quebec: Simco Technologies.
HbR KMS. (sd). Kade Modelering Systeem. Rotterdam, Zuid-Holland, Nederland.
Ingenieursbureau havenwerken. (1994). *Bartel wiltonkade remmingwerk.* Rotterdam: Gemeente.
Rema tip top. (sd). Opgeroepen op Maart 2017, van Coating structure: http://products.rema-tiptop.de/en.html
SimcoTechnologies. (2016). *Laboratory coupon testing report for 2014-2015.* Quebec.
Sonke, H. (2011). *Standaard conservering bestek Havenbedrijf Rotterdam.* Rotterdam.
Sørensen, P., Nuygen, T., Hubbard, J., & McFadden, G. (1991). *Anti corrosive review.*

Bijlagen

Het afstudeerrapport is voorzien van drie bijlagen. De volgende rapporten zijn toegevoegd:

Bijlage 1: Literatuurstudie
Bijlage 2: Testprotocol Simco Technologies
Bijlage 3: On-site EIS metingen