

Analyse afname dikte ankerstangen Roggebotsluis



Analyse afname dikte ankerstangen Roggebotsluis

Auteur(s)

Hans Landwehr

Analyse afname dikte ankerstangen Roggebotsluis

Opdrachtgever	
Contactpersoon	
Referenties	Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Trefwoorden	Corrosie, ankerstang, damwand, NEN6766

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	11-04-2024
Projectnummer	11207401-025
Document ID	11207401-025-HYE-0001
Pagina's	111
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)		
	Hans Landwehr	

Samenvatting

Aanleiding en probleemstelling

Het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (KpNK) ontwikkelt kennis waarmee beheerders kunnen inschatten op welk moment een nat kunstwerk (of een onderdeel daarvan) het einde van de technische en/of functionele levensduur bereikt. Ook grondkeringen zoals stalen damwandconstructies vallen onder de KpNK-scope.

De damwandconstructies die geplaatst zijn in de jaren 50, 60 en 70 van de vorige eeuw zijn door de jaren heen aangetast door corrosie. Deze corrosie heeft de effectieve wanddikte van de stalen damwandplanken en diameter van ankerstangen doen afnemen. Hoeveel deze afname bedraagt is een onzekerheid, die een, met de leeftijd toenemende, negatieve impact heeft op de geschatte restlevensduur van de damwandconstructie. Een extra complicerende factor is, dat voor de ankerstangen gevalideerde modellen voor het bepalen van het effect van corrosie op de reststerkte van de ankerstang ontbreken.

In het kader van de vervanging van de Roggebotsluis is bij de sloop ingezet op het verzamelen van gegevens van een sloopsluit voor het valideren van eerder ontwikkelde kennis -en nieuwe kennis bij een TKI-onderzoek om dit toe te passen bij diagnose en prognose van sluizen maar ook bij beoordeling van circulaire toepassingen van damwanden. Daartoe zijn onder andere damwanden en ankerstangen veiliggesteld om de in-situ opgetreden wanddikteafname van damwanden en diameterafname van ankers te onderzoeken. In de norm voor corrosie NEN 6766 is de rekenwaarde van de diameterafname van ankerstangen arbitrair, vanwege het volledig ontbreken van metingen, 2,5 maal hoger gesteld dan die voor de wanddikteafname van damwanden. Dit KpNK-onderzoek wordt gezien als een eerste en belangrijke stap om een nauwkeurigere bepaling van de rekenwaarde van de diameterafname door corrosie bij ankerstangen getalsmatig te onderbouwen.

Onderzoeksaanpak en - methode

De ankerstangen zijn door Deltares middels een 3D scan tot een 3D model geschematiseerd. Uit dit 3D model zijn de ankerstang diameters per mm langs de ankerstangen berekend. Vervolgens zijn deze resultaten omgezet naar diameterafnames en wordt uit de resultaten gezocht naar patronen.

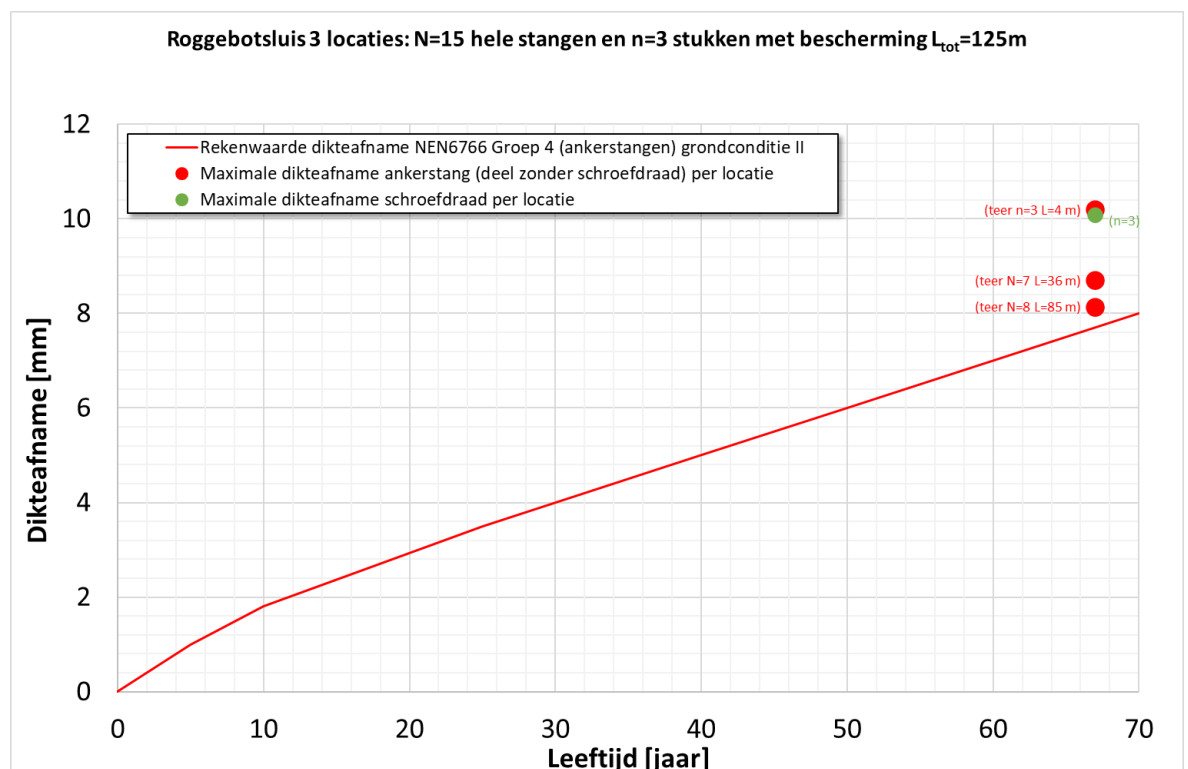
In totaal zijn op 16 ankerstangen diktemetingen uitgevoerd, met een totale onderzochte lengte van 125 m. De geanalyseerde ankerstangen hebben een lengte die varieert tussen circa 2 en 11 m voor de westzijde ankers, circa 0,5 m voor de eindstukken met schroefdraad en 1 tot 1,6 m voor enkele secties van een anker aan de oostzijde. De eerder gemaakte procedure voor het maken van een 3D model met behulp van de 3D scanner is wederom succesvol toegepast. De ankerstangen zijn door middel van stralen ontdaan van corrosieproducten als voorbereiding op het 3D scannen.

Onderzoeksresultaten en synthese

De informatie over de toegepaste initiële diameter van de ankerstangen bleek op tekening aanwezig, echter niet was aangegeven of het as-built informatie betrof. Een vergelijking met de gemeten diameters gaf aan dat de initiële ankerstang diameter in meeste gevallen groter moest zijn geweest dan op tekening aangegeven. Een procedure is opgesteld om, rekeninghoudend met fabricage toleranties en de van metingen aan de ankerstang afgeleide diameters, te komen tot een verwacht initiële diameter. Uit het onderzoek blijkt dat de ankers initieel corrosiebescherming bestaande uit een teer coating hadden.

De maximale dikteafname van de ankerstangen bedroeg 10,2 mm en is waargenomen op locatie Binnenhoofd-oost. Bij de 3 ankerstangen waarvan ook het eindstuk met schroefdraad beschikbaar was bleek op het schroefdraad direct achter de moer/schotel de grootste dikteafname te worden gemeten. De grootste dikteafname van de schroefdraad was 10,1 mm en dat was, ter vergelijking maximaal 8,7 mm op het gladde deel van betreffende ankerstang.

Onderstaand figuur geeft de leeftijd van de ankerstangen per locatie uitgezet tegen de waargenomen maximale dikteafnames van ankerstang en schroefdraad op die locaties. In de grafiek is per punt aangegeven hoeveel gehele ankers (N) op die locatie aanwezig waren en waar het geen complete stangen betreft het aantal secties (n) en voor de ankerstangen is de cumulatieve lengte per locatie (L) weergegeven. Verder is “teer” aangegeven dat de ankerstangen initieel een corrosiebescherming met teer coating hadden. Tevens is (bij gebrek aan waarden voor gecoat staal) ter referentie de lijn door de rekenwaarden uit de NEN6766 voor de dikteafname voor onbeschermde staal voor deze situatie weergegeven.



Figuur S.1 Maximale gemeten dikteafname met gegevens van populatie en rekenwaarde dikteafname voor onbeschermde staal conform NEN6766:2023 (groep 4 grondconditie II).

Evaluatie en vooruitblik

De meetresultaten van de ankerstangen bij de Roggebotsluis laten zien dat bij de onderzochte ankerstangen en draadeinde de per locatie waargenomen maximale dikteafnames (=diametereafname) van het ankers bij alle locaties hoger zijn dan de rekenwaarden in de NEN6766. Verder zijn er geen systematische trends waargenomen van de dikteafname van de ankerstangen als functie van de afstand tot de damwand. Er is waargenomen dat de optredende dikteafnames van naast gelegen stangen gecorreleerd lijkt te kunnen zijn, anders verwoord er zijn plekken in de bodem waar er meer dikteafname optrad. Op basis van dit onderzoek en de resultaten van het onderzoek langs de

Twentekanalen zal een interpretatie van de gevonden resultaten worden uitgevoerd om vast te stellen of en welke consequenties voor het omgaan met degradatie van ankerstangen, bijvoorbeeld in relatie met NEN6766, afgeleid kunnen worden en wat dit betekent voor de noodzaak van vervolgonderzoek.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	10
1.1	Context Kennisprogramma Natte Kunstwerken	10
1.2	Probleem/ambitie	10
1.3	Algemene kennisvragen	11
2	Ankerstangen onderzoek Roggebotsluis	13
2.1	Algemeen	13
2.2	Tekeningen	16
2.3	Codering ankerstangen	16
2.3.1	Binnen- en Buitenhoofd west	17
2.3.2	Binnenhoofd oost	19
2.4	Ankerstang diameters en leeftijd	20
2.5	Ankerstang diameters en schroefdraad	21
2.6	Ankerstang staalsoort en bescherming	22
2.7	Ankerstangen grond en grondwater	23
2.8	Ankerstang en verankering	26
2.9	Voorbehandeling ankerstangen	26
3	Analyse aanpak	29
3.1	Opstelling 3D scan	29
3.2	Behandelingen op 3D object	30
3.3	Bepaling dikteafname ankerstang	32
3.4	Invloed van mechanische beschadigingen in ankerstangen op resultaten	33
3.5	Analyse van de geconstateerde dikteafname resultaten	33
3.6	Relatie met norm NEN6766	34
4	Initiële diameter	36
4.1	Algemeen	36
4.2	Productietolerantie	36
4.3	Verificatie diameters	38
4.4	Aanpassing ankerstangdiameters	40
4.5	Conclusie initiële diameter	41
4.6	Ankerstangen met schroefdraad	42
5	Metingen locatie Buitenhoofd-west	45

5.1	Foto's van de ankers	45
5.2	Analyse van de resultaten	45
5.2.1	Dikteafname ankerstang	46
5.2.2	Trend langs ankerstangen	48
6	Metingen locatie Binnenhoofd-west	52
6.1	Foto's van de ankerstangen	52
6.2	Analyse van de resultaten	53
6.2.1	Dikteafname ankerstang	54
6.2.2	Trend langs de ankerstang	56
7	Metingen locatie Binnenhoofd-oost	59
7.1	Foto's van de ankers	59
7.2	Analyse van de resultaten	59
7.2.1	Dikteafname ankerstang	60
7.2.2	Trend langs de ankerstang	61
8	Eindstukken	62
8.1	Foto's van de ankers	62
8.2	Analyse van de resultaten	63
8.2.1	Dikteafname ankerstang	63
8.2.1.1	Ankerstangdeel zonder schroefdraad	63
8.2.1.2	Ankerstangdeel met schroefdraad	63
8.2.2	Trend langs het schroefdraad deel van de ankerstang	64
9	Conclusies resultaat dikteafname metingen Roggebotsluis	66
9.1	Initiële diameter ankerstangen	66
9.2	Dikteafname	66
9.2.1	Ankerstangen zonder schroefdraad	66
9.2.2	Ankerstangen met schroefdraad	67
9.3	Relatie dikteafname met initiële diameter	68
9.4	Trends langs ankerstang	69
9.4.1	Buiten en Binnenhoofd-west	69
9.4.2	Binnenhoofd-oost	69
9.4.3	Eindstukken ankerstang met schroefdraad	69
9.4.4	Trend alle ankerstangen en eindstukken met schroefdraad	70
9.5	Trends qua Locatie	71
9.5.1	Buiten- en Binnenhoofd-west	71
9.5.2	Binnenhoofd-oost	71
9.6	Relatie leeftijd en corrosie	71
9.7	Beeld maximale corrosie	74
A	Ankerstang locaties en gegevens	78
A.1	Inspectie oktober 2022	79
A.2	Inspectie April-mei 2023	80
A.2.1	Informatie algemeen	80

A.2.2	Binnenhoofd-west	81
A.2.3	Buitenhoofd-west	86
B	Tekeningen damwanden en ankers	89
C	Initiële diameters ankerstangen	90
D	Initiële diameters schroefdraad	91
E	Resultaten 3D-scan en dikteafname Buitenhoofd	92
E.1	Algemeen	92
E.2	Buitenhoofd west	93
E.2.1	U1	93
E.2.2	U2	93
E.2.3	U3	94
E.2.4	U4	94
E.2.5	U5	95
E.2.6	U6	95
E.2.7	U7	96
E.2.8	U8	96
E.3	Binnenhoofd-west	97
E.3.1	X1	97
E.3.2	X2	97
E.3.3	X3	98
E.3.4	X4	98
E.3.5	X5	98
E.3.6	X6	99
E.3.7	X7	99
E.3.8	X8	100
E.4	Binnenhoofd-oost	100
E.4.1	BI-O-1	100
E.4.2	BI-O-2	100
E.4.3	BI-O-3	101
E.5	Ankerstangen met schroefdraad	102
E.5.1	Eindstuk 1	102
E.5.2	Eindstuk 2	102
E.5.3	Eindstuk 3	102
F	Chemische analyse corrosieproducten ankerstangen Roggebotsluis	104
G	Standaard diameters ankerstangen	109

1 Inleiding

1.1 Context Kennisprogramma Natte Kunstwerken

Binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (KpNK) is en wordt kennis ontwikkeld waarmee het maken van een onderbouwde en onafhankelijke Vervanging en Renovatie (VenR) beslissing door de waterbeheerders wordt versterkt. In KpNK werken kennisinstellingen Deltares, TNO en Marin samen met het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (Rijkswaterstaat).

In KpNK zijn drie kernvragen gedefinieerd:

1. Einde levensduur.
2. Systematiek ontwikkelen opties.
3. Afwegingsopties.

Onder kernvraag 1 is het onderwerp 'Einde levensduur damwanden' opgenomen. Met damwanden wordt de gehele damwandconstructie (inclusief verankering en andere onderdelen) bedoeld.

Met het ouder worden van de stalen damwanden ziet de beheerder zich geconfronteerd met de onzekerheid over de restlevensduur van deze constructies. Het totale areaal aan stalen damwanden in Nederland vertegenwoordigd een waarde van ongeveer 5 miljard euro. Een betere inschatting van de restlevensduur van de damwanden is voor de beheerder dan ook zeer belangrijk zodat op het juiste moment een VenR beslissing genomen kan worden.

Vragen die helpen om het moment van de VenR beslissing vast te stellen zijn onder andere:

- Hoe, waar en hoe vaak moet een damwand geïnspecteerd worden?
- Hoe bepalen we uit metingen of de damwand nog voldoende veilig is?
- Hoe lang kan de damwand nog (veilig) mee?
- Welke opties bestaan voor de vervanging van damwandconstructies?

1.2 Probleem/ambitie

In het kennisplan van 2022, versie 3 van 30 mei 2023, is voor werkpakket 1.1 "Einde Levensduur Sluizen" een invulling gegeven van het tweede jaar van KpNK 2021-2024. Hierin is ook een onderdeel rondom Onderzoek Sloopsluis opgenomen. Het doel is omschreven als "Verzamelen van gegevens van een sloopsluis voor het valideren van eerder ontwikkelde kennis -en nieuwe kennis bij een TKI-onderzoek om dit toe te passen bij diagnose en prognose van sluizen maar ook bij beoordeling van circulaire toepassingen van damwanden". Een en ander is beschreven in de notitie Onderzoek sloopsluizen wat als bijlage aan het kennisplan is toegevoegd.

In onderhavige rapportage wordt ingegaan op het onderzoek naar de dikteafname van de ankerstangen die zijn veiliggesteld. Daarbij is er een aansluiting met werkpakket 1.1 "Einde Levensduur Damwanden" waarvan het volgende is opgenomen met betrekking tot het onderdeel "Degradatie damwanden en kademuren":

WP1.2-1: Degradatie damwanden en kademuren

Probleem: Damwandconstructies die geplaatst zijn in de jaren 50, 60 en 70 van de vorige eeuw zijn aangetast door corrosie, waardoor o.a. de diameter van ankerstangen is afgenomen. Het is onzeker hoeveel deze afname bedraagt, en dus welke impact het heeft op de restlevensduur van de constructie. De onzekerheid neemt ook toe in de tijd. Een extra complicerende factor bij de ankerstangen is dat betrouwbare modellen voor het bepalen van het effect van corrosie op de reststerkte van de ankerstang ontbreken.

Oplossingsrichting: De betrouwbaarheid van bestaande modellen over de reststerkte van ankerstangen te vergroten door het gebruik van actuele informatie over de conditie (o.a. verkregen uit inspecties) mogelijk te maken. Hierbij gebruik maken van meetgegevens over ankerstangen die bij het Twentekanaal vrijkomen.

Doelstelling: Het reduceren van de onzekerheid in de restlevensduur voorspelling van ankerstangen op basis van actuele informatie over de conditie van het areaal, met deze kennis een wijzigingsvoorstel voor de NEN6766 over ankerstangen onderbouwen om uiteindelijk de nauwkeurigheid van het prognoserapport met betrekking tot de vervangingsopgave van damwandconstructies te vergroten.

Kennisbijdrage(n): Rapport over de dikteafname van ankerstangen uit gesloopte damwandconstructies langs de Twentekanalen. Op basis hiervan kan later de betrouwbaarheid van bestaande modellen over de reststerkte van ankerstangen worden vergroot.

De achtergrond en aanpak voor de analyse van de serie ankerstangen uit de Twentekanalen is toegelicht in het plan van aanpak¹ en de rapportage². In deze rapportage zijn de diktemetingen van de ankerstangen gepresenteerd en geanalyseerd die na het vervangen van de damwanden zijn veiliggesteld bij het project verruiming van het Twentekanaal in 2022.

Het onderzoek wordt gezien als een eerste en belangrijke stap om de rekenwaarde van de diameterafname van ankerstangen door corrosie in de NEN6766:2023 nader te beoordelen. In de NEN6766:2023 is de onderbouwing van de rekenwaarde van de diameterafname voor ankerstangen beperkt vanwege het volledig ontbreken van metingen en daarom is de waarde middels een factor 2,5 verhoging gekoppeld aan de corrosie bij damwanden. De verwachting is dat de resultaten van dit onderzoek aanleiding zal zijn om de optredende corrosie effecten van ankers die vrijkomen bij projecten in 2023 en 2024 gerichter te kunnen bepalen. Dit om uiteindelijk tot een eventueel wijzigingsvoorstel voor de NEN6766 te kunnen komen die is onderbouwd met metingen.

Het onderzoek zal in de eerste plaats leiden tot een dataset van degradatiegegevens van ankerstangen in zoet grondwater. Daarnaast worden analyseresultaten van degradatie en waargenomen trends daarin opgeleverd. Beide resultaten zijn van belangrijk voor een nauwkeuriger prognose van de restlevensduur van damwandconstructies.

1.3 Algemene kennisvragen

Bij de start van dit ankerstangen onderzoek zijn een aantal kennisvragen opgesteld. Omdat dit het eerste onderzoek is naar de ankerstangen, is het mogelijk dat vragen in de loop der tijd na voortschrijdend inzicht dienen te worden aangepast en/of uitgebreid. Aangezien dit de allereerste gedetailleerde meting van ankerstaven ooit is dient bij de analyse zoveel mogelijk

¹ KpNK 2022 WP 1.2 - PvA Meting residuele dikte oude ankerstangen uit damwandconstructies Twentekanalen, 17 mei 2022

² Analyse damwand diktemetingen Twentekanalen, 11207401-026-HYE-0003_v0.1 concept, Deltares, januari 2024

rekening te worden gehouden met deze vragen, maar is het mogelijk dat niet alle vragen in de analyse meegenomen kunnen worden.

De volgende kennisvragen zijn vooraf opgesteld ten behoeve van het onderzoek naar de degradatie door corrosie van ankerstangen:

1. Wat is de gemiddelde corrosie?
2. Verschilt de gemiddelde corrosie tussen de locaties?
3. Verschilt de gemiddelde corrosie tussen de ankerstangen op een locatie?
4. Wat is de trend over de lengte van de ankerstang?
5. Is er sprake van lokale “extremen” of is het verloop gelijkmatig?
6. Hoe is de ruimtelijke verdeling van de corrosie op een locatie?
7. Verschilt de ruimtelijke verdeling tussen verschillende locaties?

Bij de Roggebotsluis zijn vrijwel complete ankerstangen variërend van circa 4 tot 11 m veiliggesteld ten behoeve van het onderzoek. Van het westelijke Buitenhoofd en het westelijke Binnenhoofd zijn bovendien 8 naast elkaar liggende ankers beschikbaar. Om de ruimtelijke verdeling en locatie afhankelijkheid te kunnen vaststellen is de aanpak als volgt:

- Wat is de lokale variatie per locatie? Hiervoor zijn de naast gelegen stangen nodig waarvan de onderlinge positie bekend is (nummeren van stangen).
- Wat is de invloed van de lokale conditie? Hiervoor hebben we ankerstangen van 3 locaties met en 3 locaties zonder significante grondwaterstroming nodig (bij de stangen aangeven van welke locatie deze afkomstig zijn) als ze permanent onder de grondwaterstand liggen. En aanvullend 3 locaties die niet permanent onder de grondwaterstand liggen.

Bekend is dat niet alle vragen beantwoord kunnen worden met de beschikbare ankerstang gegevens. Door meer locaties te onderzoeken wordt de onzekerheid steeds kleiner.

De voorliggende rapportage is een factueel rapport van de verzamelde informatie en uitgevoerde metingen voor de onderzoekslocatie sloopsluis Roggebotsluis.

Deze factueel rapportage zal samen met andere rapportages van ankerstangen (zoals Twentekanal) en ter zijner tijd die van de damwanden (Twentekanaal en Roggebotsluis) de basis zijn om vast te stellen wat hieruit kan worden geleerd in relatie tot de openstaande kennisvragen en de norm NEN6766.

2 Ankerstangen onderzoek Roggebotsluis

2.1 Algemeen

De ankerstangen voor dit onderzoek zijn in 2022 en 2023 verzameld in het werk van de sloop van de Roggebotsluis, gelegen tussen Dronten en Kampen, zie Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Onderzoekslocatie Roggebotsluis.

Het betreft ankerstangen behorende bij het Binnenhoofd oost- en westzijde en Buitenhoofd westzijde van de sluis. Het gaat om zogenaamde legankers dat zijn ankerstangen die nagenoeg horizontaal liggen en de hoofddamwand met een ankerwand (ankerscherm) of soms de betonconstructie van het sluishoofd verbinden.

In Figuur 2.2 zijn de sluis en de onderzoekslocaties in meer detail weergegeven.

Binnenhoofd oost

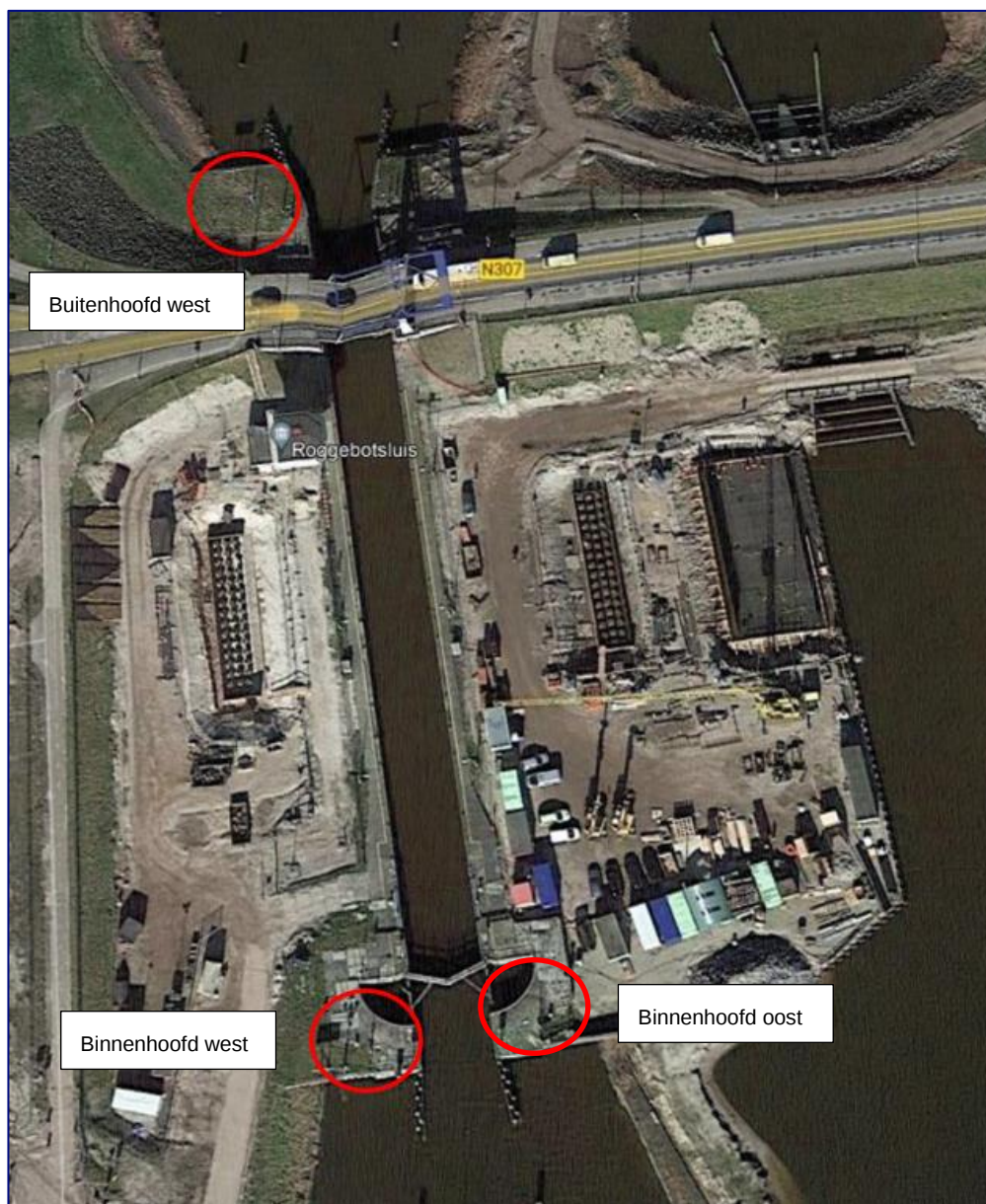
Op 7 oktober 2022 is een inspectie van de twee meest oostelijke ankers van de Roggebotsluis uitgevoerd die op dat moment in het sloopproject waren vrijgegraven. De resultaten van die inspectie is gerapporteerd in rapport 'Inspectie ankers Roggebotsluis' ³. Van deze locatie zijn 3 stukken ankerstang gedemonteerd/verwijderd en getransporteerd naar Deltares te Delft waar deze nader zijn onderzocht.

Binnen- en Buitenhoofd west

Op 3 en 4 april en 15 mei 2023 zijn inspecties uitgevoerd bij de westelijke onderzoekslocaties en zijn alle, in totaal zestien, ankers gedemonteerd/verwijderd en getransporteerd naar de Deltares te Delft. De ankers bevonden zich allen bij het 'Binnenhoofd-west' of 'Buitenhoofd-west'. In Figuur 2.2 aangegeven met de rode cirkels.

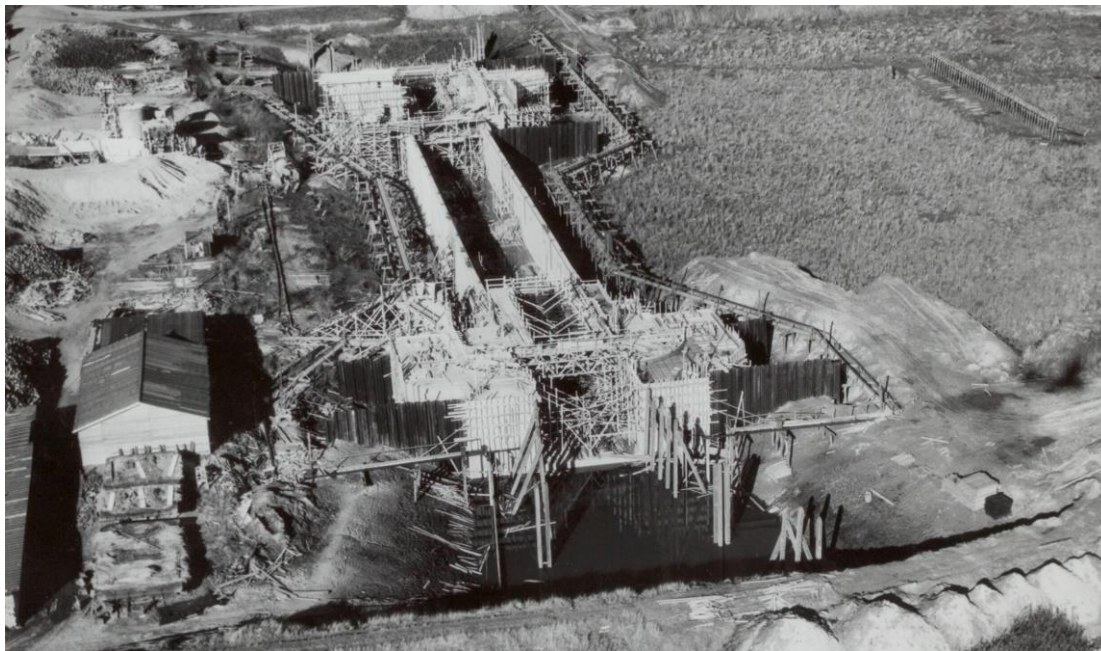
In Bijlage A zijn de resultaten van die inspecties samengevat.

³ Inspectie ankers Roggebotsluis, 11207401-017-HYE-0001, Deltares, 14 oktober 2022



Figuur 2.2 Ankerstang locaties Binnenhoofd (onder) en Buitenhoofd (boven).

In Figuur 2.3 is een foto van de in aanbouw zijnde Roggebotsluis weergegeven.



Figuur 2.3 In aanbouw zijnde Roggebotsluis⁴.



Figuur 2.4 In aanbouw zijnde Roggebotsluis ontgraving voor grondverbetering⁴

In 2019 is verder een afstudeeronderzoek⁵ uitgevoerd voor RWS naar de capaciteit van de legankers. Hiervoor zijn de gegevens van ankers en sluis verzameld.

⁴ In aanbouw zijnde Roggebotsluis, datum waarop is gemaakt is onbekend, aankoopdatum foto 29-12-1955, Nationaalarchief.nl, Fotocollectie Rijksvoorlichtingsdienst

⁵ Reststerkte en restcapaciteit van legankerconstructies, Lenthe Leene en Simon Broekhuis, Hogeschool Windesheim, juni 2019

2.2 Tekeningen

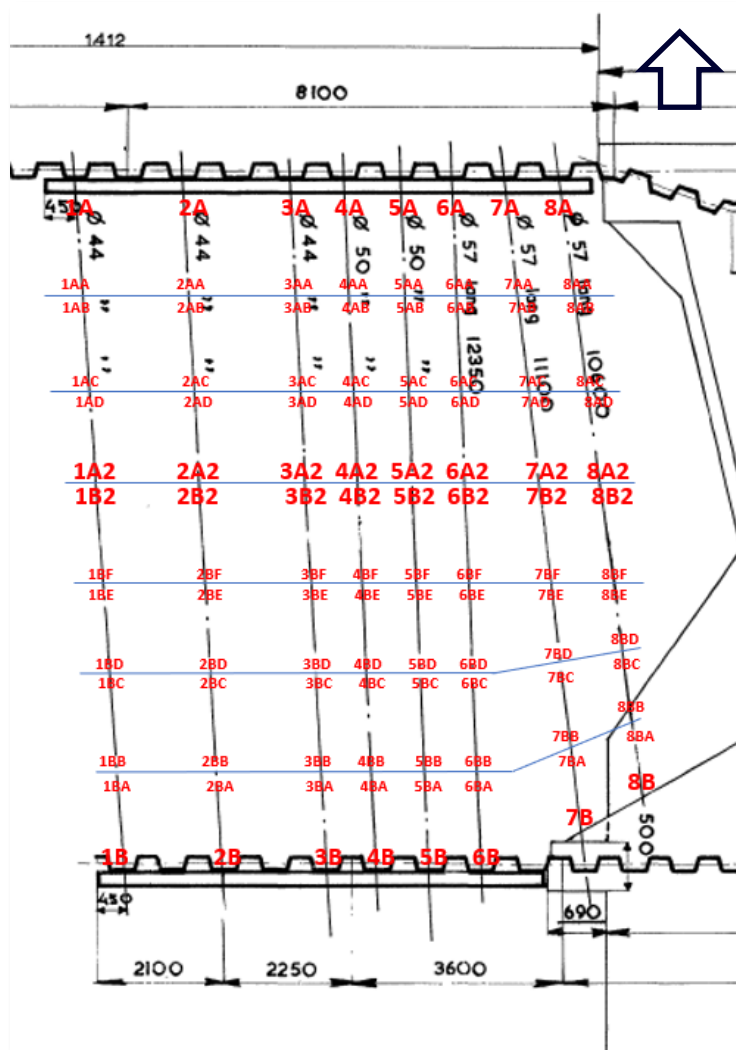
Hieronder is een overzicht gegeven van de door RWS in hun archief aangetroffen en geleverde tekeningen met betrekking tot de ankerstangen:

- [1] Alle civieltechnische tekeningen sluis.pdf
Bestek FL157, Roggebotsluis, algemeen overzicht schutsluis, Tekening FLWXT 19910390, febr '91.
- [2] Alle civieltechnische tekeningen sluis.pdf
Overzicht stalen damwanden, geen datum.
- [3] Alle civieltechnische tekeningen sluis.pdf
Ankers en gordingen, stalen damwandschermen, geen datum.
- [4] Alle civieltechnische tekeningen algemeen.pdf
Situatie schutsluis met omgeving, profielen schaal 1:500, geen datum.

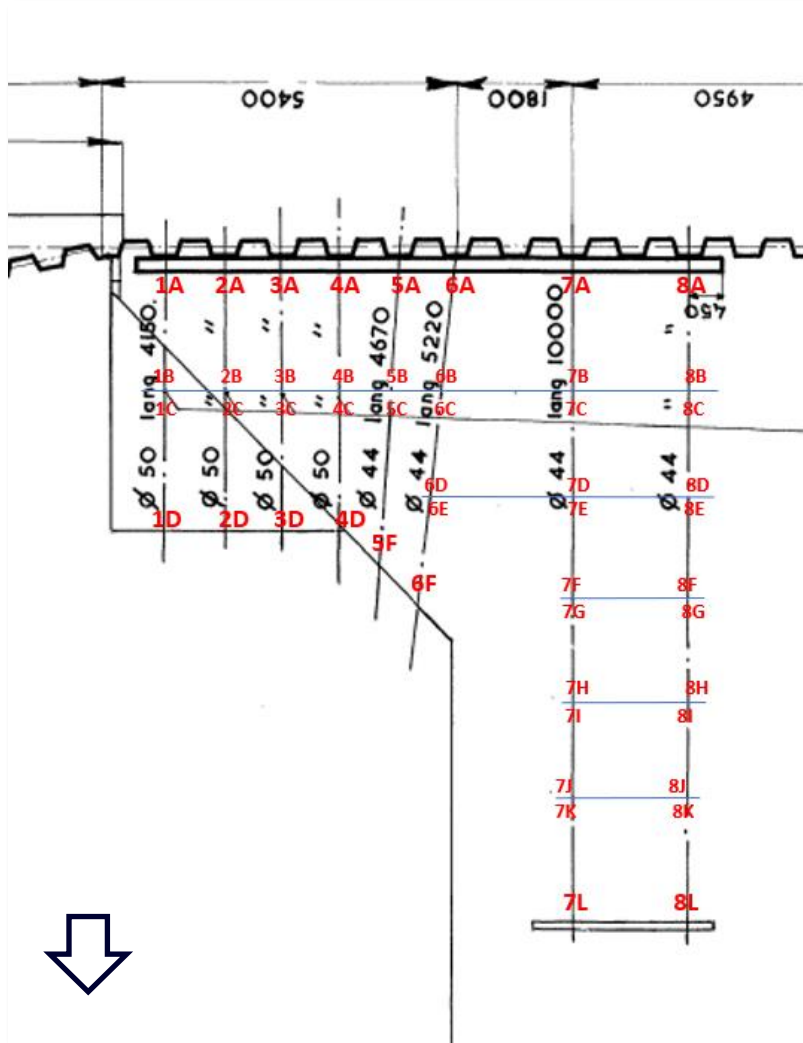
2.3 Codering ankerstangen

Op basis van de tekening [1] en [2] zijn de ankerstangen gedefinieerd. De ankerstangen zijn in handelbare secties van circa 1,5 m geslepen. Elke ankerdeel heeft een code gekregen om bij de analyse de volgorde en oriëntatie van de ankerstangsecties te kunnen herleiden. In Figuur 2.5 en Figuur 2.6 zijn de codering van het Buiten- en Binnenhoofd weergegeven.

2.3.1



Figuur 2.5 Codering ankerstangen Buitenhoofd west (aanvullende code U).



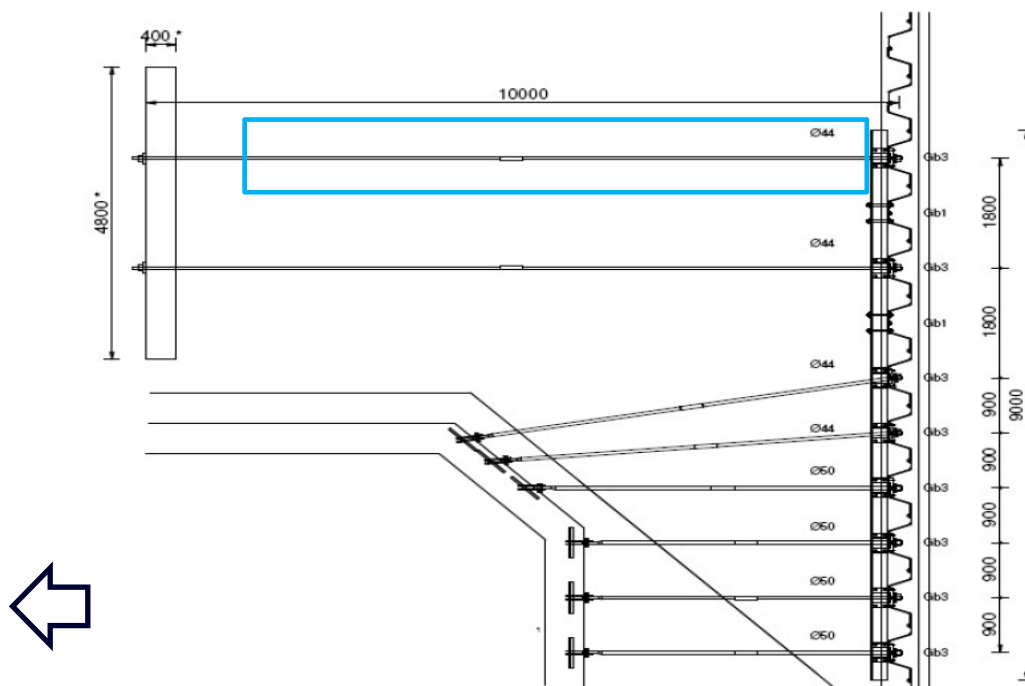
Figuur 2.6 Coding ankerstangen Binnenhoofd oost (aanvullende code X).

2.3.2 Binnenhoofd oost

Van Binnenhoofd oost zijn een drietal stukken van de meest oostelijke ankerstang getransporteerd naar Deltares. Het is niet bekend waar deze stukken ankerstang zich exact bevonden en wat de oriëntatie van deze stukken ankerstang was. Voor deze stukken ankerstang is er derhalve geen codering van de ankerstangen welke de locatie vastlegt.

Het betreft stukken ankerstang afkomstig uit het in Figuur 2.7 met blauw omkaderde deel van de meest oostelijke ankerstang "Ø44".

De 3 ankerstukken worden aangeduid met BI-O-1 t/m BI-O-3 (**B**innen – **O**ost – volgnummer). De ankerstang waar deze secties toe behoren wordt aangeduid met BI-O.



Figuur 2.7 Stukken ankerstang Binnenhoofd oost, de 3 stukken ankerstang zijn afkomstig uit het met blauw omkaderde deel oostelijkste ankerstang.

2.4 Ankerstang diameters en leeftijd

In Tabel 2.1 zijn kenmerkende gegevens van de ankerstangen samengevat. De tekeningen laten ankers met een (ontwerp)diameter van 44, 50 of 57 mm zien. Dat bleek reeds bij visuele waarneming en handmeting niet altijd overeen te kunnen komen met veiliggestelde ankerstaven. In Hoofdstuk 4 wordt toegelicht hoe de initiële diameter bij deze ankerstangen waar deze discrepantie optrad is afgeleid.

Tabel 2.1 Kenmerkende gegevens van de verzamelde ankerstangen per locatie.

Locatie	Opmerking	Aantal ankers	Ankers	Initiële ankerstang diameter [mm]		Leeftijd in 2023 ⁽²⁾ [jaar]
				Volgens tekening	Aanname in analyse ⁽¹⁾	
Buiten hoofd west	Zonder schroefdraad	8	U1	44	47	67
			U2	44	47	
			U3	44	47	
			U4	50	52	
			U5	50	52	
			U6	57	57	
			U7	57	57	
			U8	57	57	
Binnen hoofd west	Zonder schroefdraad	8	X1	50	52	67
			X2	50	52	
			X3	50	52	
			X4	50	52	
			X5	44	⁽³⁾	
			X6	44	47	
			X7	44	47	
			X8	44	47	
Binnen hoofd oost	Zonder schroefdraad	3 ⁽⁴⁾	-	44	44	67
Binnen - en Buiten hoofd west	Met schroefdraad	3	-	44	47	67

⁽¹⁾ Dit zijn de diameters die in de analyse van de metingen zijn gehanteerd en betreffen de diameter volgens tekening tenzij uit een nadere analyse van de metingen volgde dat de waargenomen diameter significant groter was dan die van de tekening, (onderbouwing zie hoofdstuk 4)

⁽²⁾ op basis van info in bijlage A : in bedrijf gegaan in 1956

⁽³⁾ ankerstang X5 is niet ingescand; deze ankerstang is gebruikt om de verschillende methoden te onderzoeken om de ankerstangen van de corrosie te ontdoen.

⁽⁴⁾ Er zijn 3 stukken ankerstang van circa 1 à 1,5 m getransporteerd naar Deltares. Deze stukken maken deel uit van de meest oostelijke ankerstang

De tekeningen geven een duidelijk beeld van de locatie van de legankers en details rondom de aansluiting met de damwanden. De leeftijd van alle ankers is gelijk (zelfde bouwwerk), en bedraagt 67 jaar.

De op tekeningen [1] en [2] aangegeven, en in Tabel 2.1 vermelde, initiële ankerstang diameter volgens tekening lijkt voor een aantal ankers onjuist. Bij de analyse van de dikteafname wordt bij die ankerstangen een vergroting van de initiële diameter afgeleid en dat is niet mogelijk. Het is mogelijk de initiële diameter achteraf op een aantal manieren te herleiden:

- Handmatige controle van de diameter van de ankerstang op een 'onaangetaste' doorsnede.

- b) Analyse van de aanwezige moer en schroefdraad van deze ankerstang delen.
- c) Op basis van de minimale dikteafname (grootste straal) kiezen voor deze diameter die representatief wordt gesteld voor alle naast elkaar liggende ankerstangen met een gelijke diameter.
- d) Kiezen voor een reguliere handelsmaat voor ankerstang diameter die destijds beschikbaar was. Hierbij wordt dan, rekeninghoudend met fabricage toleranties gekozen voor de eerstvolgende diameter boven de in tekening aangegeven diameter die over de hele stang tot een dikteafname van de stang leidt.
- e) Analyse van de diameter op basis van CrossSections welke worden gegenereerd op basis van het 3D-model. Zie paragraaf 4.3.

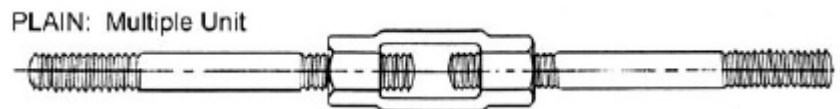
In Hoofdstuk 4 is de wijze van herleiding van de initiële diameter gerapporteerd, waarbij gebruik is gemaakt van “Methode e” waarmee op betrouwbare wijze de minimale initiële diameter kon worden bepaald van de stangen waarvan de diameter op tekening onjuist was.

2.5 Ankerstang diameters en schroefdraad

Aan de uiteinden van de ankerstangen zit schroefdraad. Op basis van de tekeningen wordt afgeleid dat sprake is van ankers waarbij het schroefdraad in de ankerstang is ingesneden, zie Figuur 2.8. Op het schroefdraad wordt een moer bevestigd. Het type moer komt overeen met de diameter van de ankerstang, dus moer M36 hoort bij een ankerstang rond 36 mm. De afmetingen van schroefdraad zijn vastgelegd in de ISO4032 norm. De definitie van de nominale diameter van schroefdraad is:

De nominale diameter van schroefdraad is de buitendiameter van buiten schroefdraad.

Voorbeeld: Bij M36 is de nominale diameter van de schroefdraad 36 mm. De binnen diameter is de diameter van het binnen schroefdraad ofwel het ingesneden schroefdraad en is evident kleiner dan de buitendiameter.



Figuur 2.8 Principe ankerstang schroefdraad⁶

Het schroefdraad zorgt dus voor een vermindering van de oorspronkelijk aanwezige ankerstang diameter, immers het schroefdraad wordt in het staal gesneden. In Bijlage G zijn getalwaarden gegeven van de buiten diameter en binnen diameter behorende bij standaard moer maten. De gereduceerde kerndiameter van de draad in combinatie met het effect van het insnijden van het staal, maakt dit het zwakste deel van het systeem.

Soms is er op het uiteinde van de ankerstang sprake van een via een smeedproces aangebracht oog of een kopmoer, zie Figuur 2.9. In dat geval is er geen schroefdraad en is de ankerstang zelf het zwakste deel.

⁶ ACE Marine Rigging & Supply. (z.d.). Tie Rods. Opgehaald van Website over Tie Rods: http://www.acemarinerigging.com/assets/products/hdwr_tie_rods.htm



Figuur 2.9 Voorbeelden⁷ van via smeedproces aangebracht oog of kopmoer/bol.

De onderzochte ankerstangen van de Roggebotsluis, zoals weergegeven in Figuur 2.5 t/m Figuur 2.7, hadden geen tussenverbindingen zoals in Figuur 2.8. Bij de aansluiting met een betonnen wand was sprake van een gesmeed oog (links in Figuur 2.9). Bij de aansluiting met stalen damwanden was sprake van schroefdraad en een moer [3].

2.6 Ankerstang staalsoort en bescherming

De inspectieresultaten, zie Bijlage A, gaven aan dat er een teer(achtige) laag op de ankers was aangebracht. In het laboratorium zijn chemische analyses uitgevoerd op corrosieproducten, zie Bijlage F. In Figuur 2.2 zijn deze gegevens samengevat.

Tabel 2.2 Gegevens staal en bescherming van de verzamelde ankerstangen per locatie.

Locatie	Staalkwaliteit volgens tekening	Corrosie-bescherming Volgens tekening	Corrosie bescherming visuele inspectie	Chemische analyse	Leeftijd [jaar]
Buitenhoofd-west	Niet vermeld	Niet vermeld	Organische bescherming (teerlaag)	Geen werkende bescherming meer aanwezig , wel restproducten die wijzen op voormalige organische bescherming	67
Binnenhoofd-west					
Binnenhoofd-west					

De chemische analyses op corrosieproducten wijzen op veel roest , afwezigheid van zink en een laag organisch gehalte. Dit wijst er ten eerste op dat de ankerstangen niet verzinkt zijn geweest. Verder wijst het er op dat er geen sprake meer is van een werkende corrosiebescherming. De visuele inspectie resultaten uit 2022, gaven aan dat er sprake is geweest van een organische corrosiebescherming (teerlaag) maar dat die nu niet of deels niet aanwezig was. Een bescherming met een teer coating was vroeger een van de aanbevolen en toegepaste methoden^{8,9}. Dus alhoewel visueel er een coating aanwezig lijkt geweest te zijn, is deze al langere tijd niet meer in goede staat en biedt al langere tijd geen bescherming tegen corrosie.

De staalkwaliteit is niet op de tekeningen aangegeven. Vooralsnog zijn de ankerstangen niet beproefd om de staalkwaliteit en residuele treksterkte van de gecorrodeerde stangen vast te stellen.

⁷ Anker Schroeder. (2015). Anchors for marine structures. Dortmund, Duitsland: Anker Schroeder ASDO GmbH.

⁸ KIVI. (1938). N 1008 (V.O.S.B./V.V.S.B. 1938), vervaardigen en opstellen van stalen bruggen. z.p.: Hoofdkommissie voor de normalisatie in Nederland.

⁹ Weg- en waterbouwkunde deel I, Grondmechanica, grondwerken, funderingen, bemalingen, beschoeiingen keermuren, 2^e druk P.J. Colijn en J. Potma, Uitgeversmaatschappij Kosmos, Amsterdam, 1942

2.7 Ankerstangen grond en grondwater

In Tabel 2.3 is de informatie met betrekking tot de beschikbare gegevens van grond en grondwater samengevat.

Grond

Op basis van informatie over de bouw (zie Bijlage A1) is een grondverbetering van zand aangebracht. De ankers liggen in dit grondpakket. De ankers liggen vermoedelijk (nagenoeg) horizontaal. Bij de inspectie (zie Bijlage A2) werd geconstateerd dat bij het Binnenhoofd-west aan de achterzijde van de ankerstangen (noordzijde) de grond vochtiger was. Waarbij moet worden opgemerkt dat anders dan bij de inspectie van Binnenhoofd-oost in 2023 de stangen vanaf de vleugelwand iets naar beneden leken lopen. In referentie voetnoot ⁵ is op basis van informatie van RWS het volgende gerapporteerd over de ondergrond en uitvoering:

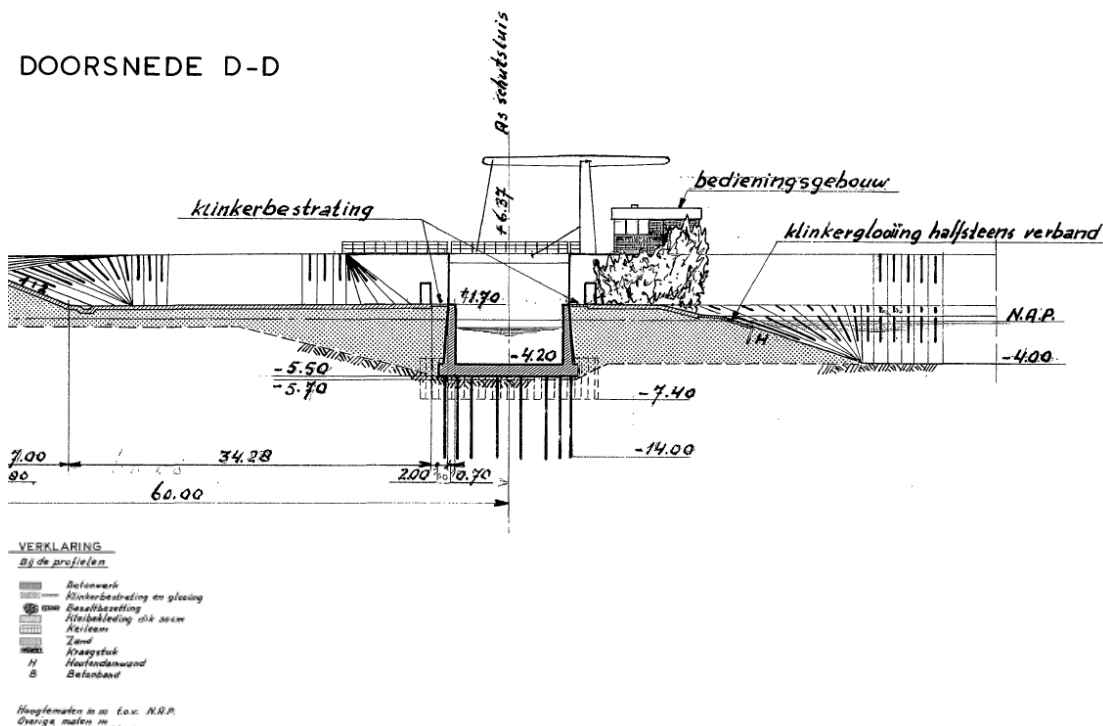
“De natuurlijke grondsamenstelling bij de RBS bestaat voornamelijk uit zand van de categorie zeer fijn zand tot grof zand met grind.

De bouw van de sluis is in den droge uitgevoerd (op de bodem van de toenmalige Zuiderzee). Rondom de bouwplaats was een ringdijk gerealiseerd en vervolgens was de bouwplaats droog gezet. Na de bouw van de sluis is het omliggende terrein opgevuld met grond.

Er is geen classificatie van het aanvulzand gegeven, de aanname hiervoor is dat het gaat om los tot matig gepakt zand”

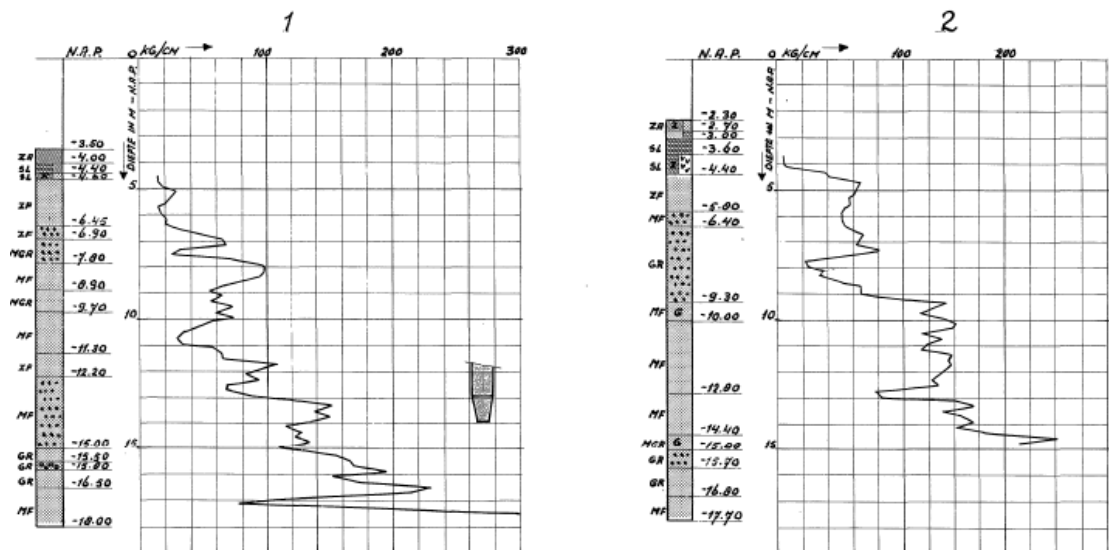
In tekening [4] is de grondverbetering aangegeven die aan weerszijden van de doorsnede van de sluis is aangebracht. In Figuur 2.10 is op de getoonde luchtfoto te zien hoe naast de sluis is ontgraven en deels zand is aangebracht. In Figuur 2.10 is de grondverbetering zichtbaar in een dwarsdoorsnede. Uit Figuur 2.10 blijkt dat deze is aangebracht vanaf een diepte van onderkant sluis ter plaatse van de sluis en circa NAP - 4,0 m naast de sluit tot aan bovenkant maaiveld.

DOORSNEDE D-D



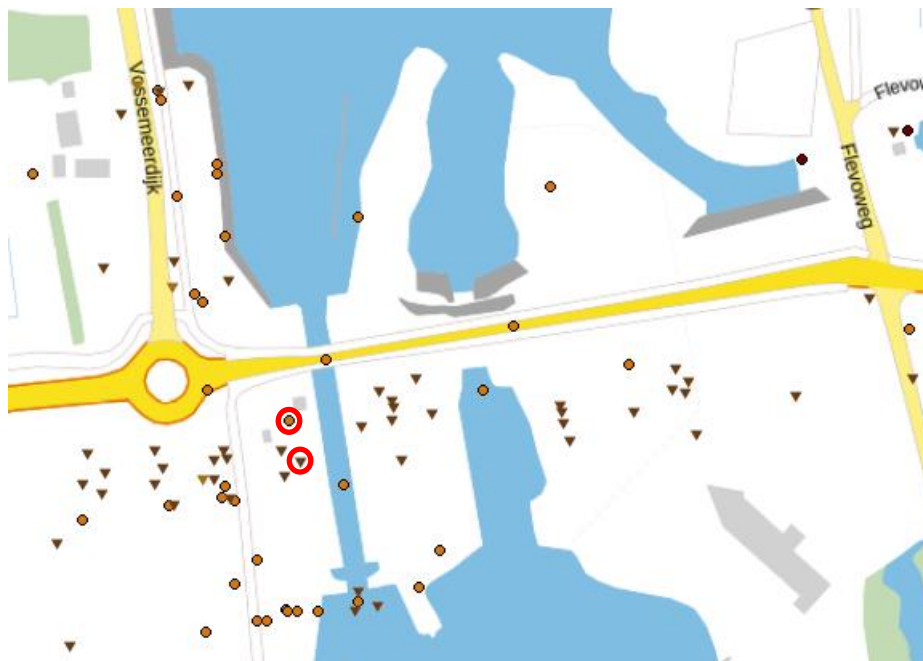
Figuur 2.10 Dwarsdoorsnede sluis en grondverbetering [4].

In [4] zijn enkele oude sonderingen/boringen van voor de bouw gepresenteerd.



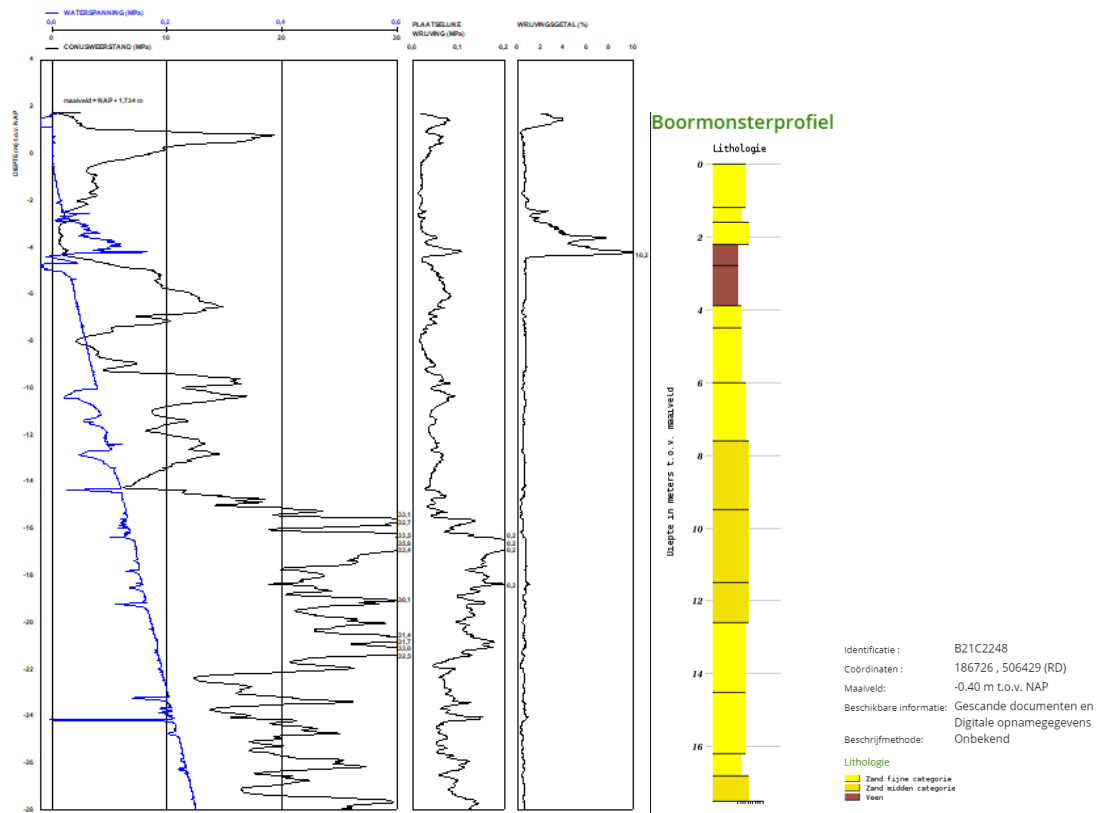
Figuur 2.11 Sonderingen / boring voor de bouw ($100 \text{ kgf/cm}^2 = 10 \text{ MPa}$) [4].

Via de BRO en Dino (<https://basisregistratieondergrond.nl/>, <https://www.broloket.nl/ondergrondgegevens>, www.dinoloket.nl) zijn sonderingen en boringen beschikbaar, ook binnen het gebied van de Roggebotsluis. In Figuur 2.12 zijn beschikbare onderzoekspunten weergegeven.



Figuur 2.12 Beschikbare sonderingen en boringen (BRO) nabij Roggebotsluis; met rood omcirkeld een representatieve sondering en boring.

In Figuur 2.13 is een afdruk gegeven van de genoemde representatieve sondering en boring.



Figuur 2.13 Kenmerkende sondering (CPT000000215131) en boring (B21C2248); bron www.dinoloket.nl.

Uit Figuur 2.13 blijkt dat een grondverbetering aanwezig is bestaand uit losgepakt zand tot circa NAP - 2,5 m. Bij de getoonde sondering is ondiep ook vaster gepakt zand aanwezig, bij andere sonderingen is dit minder vast met een conusweerstand van maximaal 5 MPa. Tussen circa NAP - 2,5 en - 4 m bevindt zich nog een venige laag, waarna los tot matig vast gepakt zand wordt aangetroffen. Pas op grotere diepte vanaf ca NAP - 14 m is het zand ook vastgepakt.

Grondwater

Tekening [1] geeft aan dat aan de Buitenhoofd de gording is aangebracht op NAP + 0,1 m. Het waterpeil aan de buitenzijde (Vossemeer, Ketelmeer) bedraagt circa NAP - 0,40 à - 0,05 m (peilbesluit IJsselmeergebied, <https://waterinfo.rws.nl/>). Tekening [1] geeft ook aan dat aan het Binnenhoofd de gording is aangebracht op NAP + 0,2 m. Het waterpeil aan de binnenzijde varieert tussen circa NAP en NAP + 0,1 m. (<https://waterinfo.rws.nl/>) Het verschil tussen het hoogste peil aan de buitenzijde en het laagste peil aan de binnenzijde is dus 0,5 m en het jaarlijks gemiddelde verval is minder.

De inspectie (zie bijlage A) gaf aan dat de moeren aan de gording goed zichtbaar waren en circa 50 cm boven het waterpeil op dat moment bevond. Dat geeft een waterpeil van ongeveer NAP - 0,4 m op dat moment.

Via de BRO en Dino (<https://basisregistratieondergrond.nl/>, <https://www.broloket.nl/ondergrondgegevens>, www.dinoloket.nl) is weinig informatie over de grondwaterstand beschikbaar. Op basis van de zeer beperkt beschikbare gegevens van grondwater lijkt het erop dat de grondwaterstand achter de damwand zich rond het waterpeil van het water tegen de vleugelwand bevindt. Een enkele peilbuis rond het freatisch vlak geeft waarnemingen tussen NAP en NAP + 0,6 m in de periode januari-juni 2023.

Er zijn verder geen aanwijzingen dat er sprake is van significante grondwaterstroming nabij de ankers, ook omdat de waterpeilveranderingen bij de sluis beperkt zijn (ca. 20-30 cm).

Tabel 2.3 Gegevens grond en grondwater van de verzamelde ankerstangen per locatie.

Locatie	Hoogte anker-damwand aansluiting ⁽²⁾ [m]	Grondsoort ankerdiepte	Waterpeil [m t.o.v. NAP]	Grondwaterstand ankerzijde [m t.o.v. NAP] (1)
Buitenhoofd	NAP + 0,1	zand	Ca. NAP +0,25 m	-0,4 a +0,6
Binnenhoofd oost en west	NAP + 0,2	zand	Ca. NAP + 0,05 m	-0,4 a +0,6

(1) beperkte informatie, gebaseerd op enkele waarnemingen

(2) Bron: "Alle civieltechnische tekeningen sluis.pdf" , tekening "Overzicht stalen damwanden"

Op basis van de resultaten wordt afgeleid dat alle ankers in hetzelfde grondtype "zand" liggen en zeer waarschijnlijk in de zone die niet altijd onderwater ligt en niet altijd droog ligt. In het zand zal vermoedelijk de hoge grondwaterstand bepaald worden door de buitenwaterstand en eventuele opbolling als gevolg van neerslag.

2.8 Ankerstang en verankering

De ankers hebben verschillende lengtes en ankerwanden. In Tabel 2.4 zijn de gegevens hierover samengevat.

Tabel 2.4 Lengtes ankers en type ankerwand.

Locatie	Aantal ankers	Ankers	Lengte anker volgens tekening [mm]	Type ankerwand	Bron
Buitenhoofd-west	8	U1	12350	Ankerwand staal	Tekening 1 en 2
		U2	12350	Ankerwand staal	Tekening 1 en 2
		U3	12350	Ankerwand staal	Tekening 1 en 2
		U4	12350	Ankerwand staal	Tekening 1 en 2
		U5	12350	Ankerwand staal	Tekening 1 en 2
		U6	12350	Ankerwand staal	Tekening 1 en 2
		U7	11100	Betonwand constructie	Tekening 1 en 2
		U8	10600	Betonwand constructie	Tekening 1 en 2
Binnenhoofd-west	8	X1	4150	Betonwand constructie	Verslag 2023
		X2	4150	Betonwand constructie	Verslag 2023
		X3	4150	Betonwand constructie	Verslag 2023
		X4	4150	Betonwand constructie	Verslag 2023
		X5	4670	Betonwand constructie	Verslag 2023
		X6	5220	Betonwand constructie	Verslag 2023
		X7	10000	Ankerwand beton	Verslag 2023
		X8	10000	Ankerwand beton	Verslag 2023
Binnenhoofd-oost ⁽¹⁾	3	Meest oostelijk oost	-	-	-

(1) geen complete ankerstang van 10 m, maar 3 secties uit de oostelijke ankerstang samen 4,24 m lang

2.9 Voorbehandeling ankerstangen

De ankerstangen hebben allen corrosievorming (corrosieproduct) en aangekoekt materiaal (mix van corrosieproduct en grond). Deze materialen doen niet mee in de krachtsoverdracht in het anker.

Voordat het anker geanalyseerd kan worden zijn de stangen voorbehandeld om alleen de staaldoorsnede exclusief het corrosieproduct over te houden.

Nadat de ankerstangen zijn afgeleverd bij Deltares in Delft worden de stukken opgedeeld in hanteerbare lengtes van zo'n 1,5 – 1,7 meter. Deze stukken zijn niet te zwaar (max. 20 kg) en passen in de scan-opstelling. Hiervoor is gebruik gemaakt van een grote haakse slijper. Het snijvlak is vlak en op dit snijvlak kan de codering aangebracht worden waaruit de locatie en positie van het betreffende ankerstuk is af te leiden. Op locatie Roggebotsluis is de codering met labels aangebracht welke met tie-wraps zijn bevestigd (zie Figuur 2.15 t/m Figuur 3.2).

Op locatie zijn de ankerstangen in tweeën gedeeld. Als voorbeeld anker 3 welke uit een deel 3A-3A2 bestaat en een deel 3B2-3B. In Delft zijn deze lange stukken opgedeeld in kleinere stukken, zie Figuur 2.14.



Figuur 2.14 Hanteerbare stukken ankerstang met tijdelijke markeringen.

Zoals te zien is, zijn de ankerstangen behoorlijk verroest. Er zit vaak een klei- of zandlaag omheen en afhankelijk van de gekozen bescherming ten tijde van de bouw een teerlaag die min of meer aangetast is. Uiteindelijk gaat het bij deze ankerstangen om de dikte van het ijzer dat bijdraagt aan de sterkte van de stangen en zullen deze oppervlakte lagen verwijderd moeten worden. Er zijn hiervoor twee aangewezen methoden, te weten stralen/gritten en laserreinigen.



Figuur 2.15 Laserreinigen van een ankerstuk.

Bij de analyse van de vorige batch ankers afkomstig van verschillende locaties langs de Twentekanalen is gekozen voor het ontdoen van roest en vervuiling door middel van een laserreinigen. De laser die hiervoor gebruikt werd heeft een vermogen van 1000 W. Het intense laserlicht wordt geabsorbeerd door roest en vervuiling, waardoor deze laag enorm opwarmt en van het anker af spat. De laser brandt als het ware het anker schoon. Het blanke metaal hieronder wordt niet aangetast door het laserlicht, omdat het laserlicht hierop voor het overgrote deel reflecteert. Het anker wordt warm (zo'n 50-60 °C), maar niet zo heet dat het zou kunnen veranderen van eigenschappen. Uiteindelijk blijft er afhankelijk van de coating een schoon, soms glimmend ankerstuk over. Thermisch verzonken ankers worden bijvoorbeeld grijs hierdoor. Het nadeel van laserreinigen is dat het vrij duur is, veel tijd kost en de (optische) 3D scanner heeft moeite met het soms glimmende oppervlak. Tevens is het soms nodig om dikke roestlagen alsnog mechanisch te verwijderen en vervolgens nogmaals te behandelen met de laser, waardoor het oppervlak alsnog aangetast wordt.

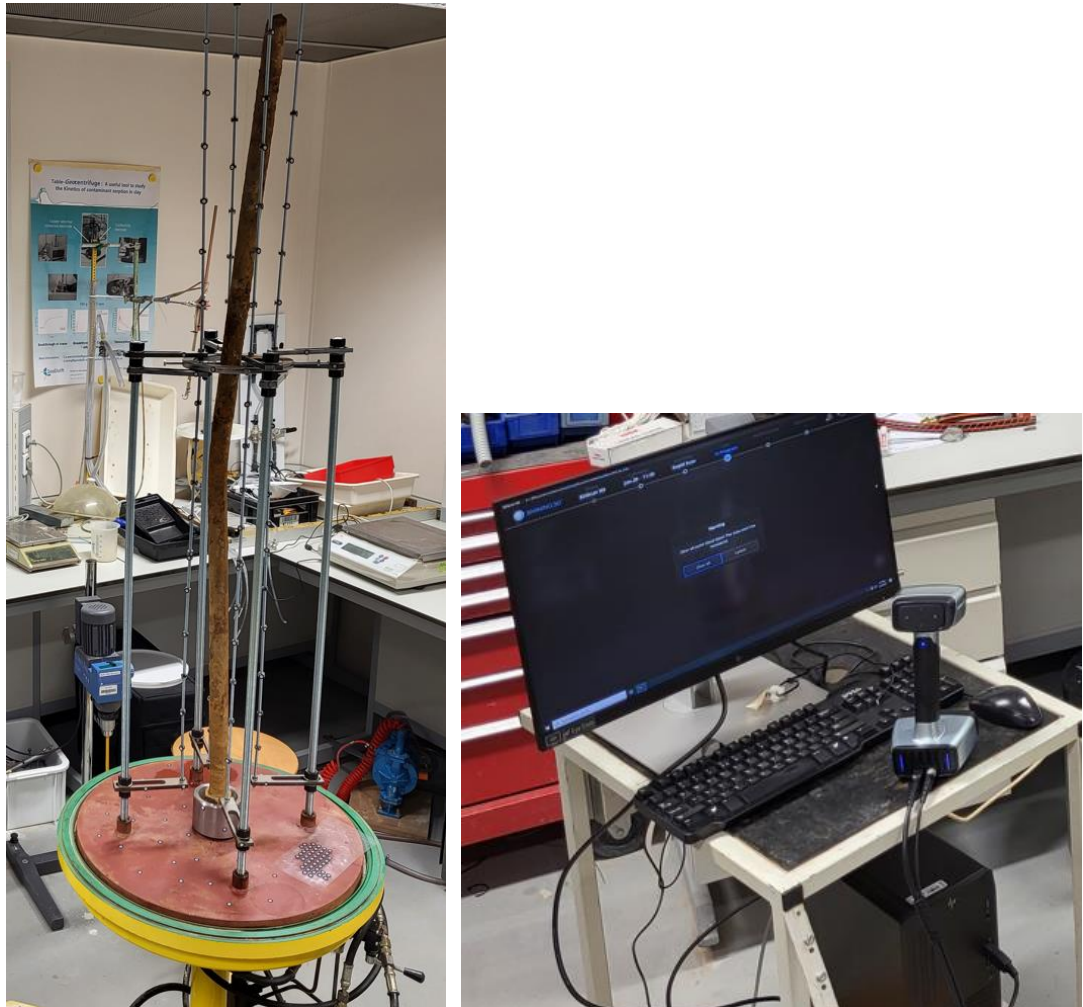
Het alternatief is stralen of gritten. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van zeer kleine stukjes van een hard materiaal zoals bijvoorbeeld gietijzer of glaspapels. Dit wordt onder hoge druk op het verroeste en vervuilde metaal geblazen. Het is hierbij niet te vermijden dat het 'schone' metaal ook wordt aangetast. Bij navraag blijkt de oppervlakte ruwheid zo'n 60-90 µm te bedragen.

Om te onderzoeken welke methode het meest geschikt is zijn twee ankerstukken van de eerste batch van Roggebotsluis gedeeltelijk gereinigd met een laser en de andere helft door middel van stralen. Vervolgens is gekeken of er een significant verschil te zien is in de metingen van beide helften. De analyse van deze metingen laat geen verschil zien. De overgang tussen het gestraalde gedeelte en het gedeelte dat met laser is behandeld is niet te zien. Op basis van deze resultaten is besloten om alle overige stukken van locatie Roggebotsluis te laten reinigen door middel van stralen. Een bijkomend voordeel is dat het oppervlak van de ankers nu een matte structuur heeft en daardoor goed te scannen zijn.

3 Analyse aanpak

3.1 Opstelling 3D scan

Voor het maken van een digitaal 3D model van de ankerstangen worden deze met een 3D handscanner ingelezen. Hiervoor is een opstelling gemaakt met referentiepunten. De opstelling is zo gemaakt dat de ankerstangen van de Roggebotsluis in 1 keer kunnen worden gescand. De ankerstangen worden rechtop in de opstelling gesteld om met een 3D handscanner een digitaal model van de ankerstang te maken. De 3D scan opstelling is weergegeven in Figuur 3.1.

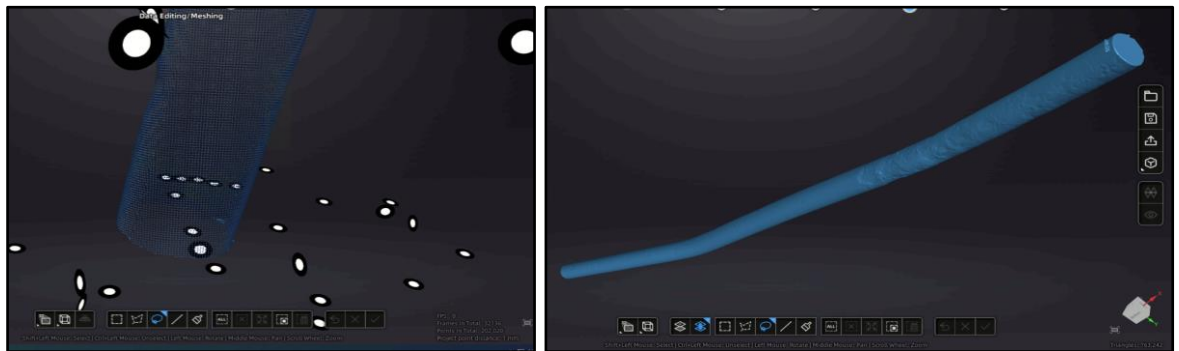


Figuur 3.1 D scan opstelling (links) – handscanner en scan computer (rechts).

Sommige stangen waren duidelijk verbogen als gevolg van het verwijderen van de ankers uit de locatie. Deze buigingen zijn voor de scan niet hersteld, de stangen worden ingescand zoals ze zijn. Voor de scan zijn eventuele loszittende moeren en platen verwijderd van de ankerstang.

Met een handscanner, zie Figuur 3.1 (rechts), is het object over de lengte en omtrek ingescand. Hiervoor wordt de handscanner meerdere malen langs alle kanten van de ankerstang gehaald totdat het 3D object geen 'gaten' meer bevat. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Einscan HX hand scanner van het merk Shining. Deze scanner maakt gebruik van wit licht of van laserlicht. Wit licht heeft duidelijke herkenningspunten op het te scannen object nodig. De lasermethode maakt gebruik van referentiepunten die los van het object mogen staan. Er is gekozen voor laserlicht. Op de achtergrond van Figuur 3.1 (rechts) is de benodigde, snelle PC te zien. Met behulp van de software tool FreeCad is het 3D object gemaakt.

Het resultaat van een 3D scan is een puntenwolk of een mesh die de contouren van het ankerstuk beschrijven. De 3D mesh is het uiteindelijke uitgangspunt voor de vervolgstappen. Figuur 3.2 laat een voorbeeld zien van zo'n puntenwolk en mesh. De wit-zwarte cirkels zijn de referentiepunten die nodig zijn voor de laserscanmethode. Deze zijn in de mesh automatisch, software-matig verwijderd.



Figuur 3.2 Resultaat van de 3D scan met links de puntenwolk en rechts de mesh.

3.2 Behandelingen op 3D object

Na het verkrijgen van een digitaal model van de ingescande ankerstang is een procedure gevolgd om te komen tot getalwaarden voor oppervlak of straal (halve diameter) van de ankerstang.

In deze procedure zijn software tools gebruikt. Het gaat om FreeCAD, een 3D programma gebaseerd op de programmeertaal Python. Het voordeel hiervan is dat alle bewerkingen aangeroepen kunnen worden met commando's. Met deze commando's is een script te schrijven dat, na instellen van de juiste parameters, uitgevoerd kan worden en zo de volledige 3D meting in een run kan uitvoeren. Daarnaast is gebruikt gemaakt van Excel. Dit programma biedt flexibiliteit en mogelijkheden waarmee de data gegenereerd in FreeCAD verder verwerkt en gevisualiseerd kan worden.

De handelingen in de procedure worden als volgt samengevat:

- De hartlijn van de ankerstang is bepaald. Dit is gedaan door cross sections (schijfjes) te maken langs de ankerstang. Deze cross sections liggen parallel in het XY vlak. In Figuur 3.3 zijn cross sections met een lage resolutie weergegeven. In werkelijkheid is er over het algemeen elke 1 mm een cross section.
Van elke cross section wordt het middelpunt bepaald.



Figure 1: 51 cross sections for determining the centerline

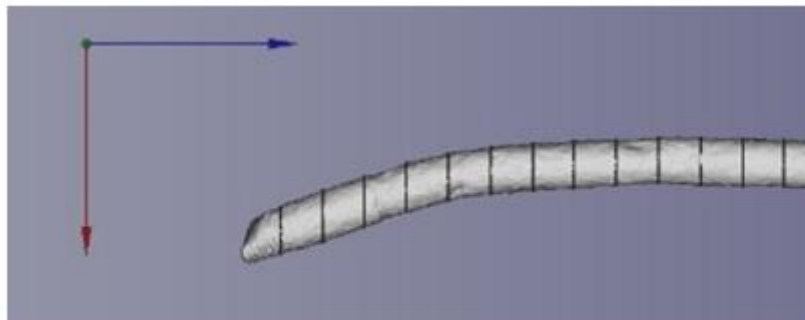


Figure 2: detail of a part of the cross sections

Figuur 3.3 Cross sections langs de ankerstang ten behoeve van bepaling middelpunt ankerstang.

- Door alle middelpunten wordt een lijn gefit waarmee de hartlijn van de ankerstang wordt vastgelegd.
- Langs deze lijn wordt elke 1 mm een doorsnede gedefinieerd, die loodrecht op de middellijn staat en een buiging langs de ankerstang kan volgen (elke doorsnede loopt nu met de kromming van een ankerstang mee).
- De analyse wordt nu gedaan langs een lokaal assenstelsel dat meebeweegt met het hart van de ankerstang. Hierdoor zal altijd de straal loodrecht op het hart staan. Alle hoekpunten die nu ontstaan op het snijvlak van deze doorsnede en het 3D object op die locatie worden vastgelegd. Elke hoekpunt ligt op een straal afstand van het middelpunt. Elk schijfje heeft op deze wijze meer dan 500 berekende stralen (afstand middelpunt tot een hoekpunt). Met deze punten worden oppervlakte van de doorsnede gemiddelde straal, minimale straal en maximale straal van elk schijfje afgeleid.
- Door middel van handmatig selectie worden de uiteinden van de stang met schroefdraad en/of schade uit de analyse verwijderd. Deze bevatten van zichzelf al grote afwijkingen in oppervlakte / berekende stralen die niet representatief zijn voor de dikteafname van de ankerstang.

Deze verwerking leidt uiteindelijk tot getalwaarden per doorsnede (elke mm) als functie van de afstand langs de ankerstang. De getalwaarden betreffen:

- Gemiddelde straal (halve diameter).
- Minimale straal.
- Maximale straal.
- Oppervlak.
- Standaarddeviatie.

Bij het schroefdraad is de situatie iets anders en is sprake van een ingesneden verdunning van de diameter en corrosie. Voor dit deel van de ankerstang wordt de gemiddelde straal bepaald.

De resultaten van deze basis analyses zijn gerapporteerd in Bijlage E.

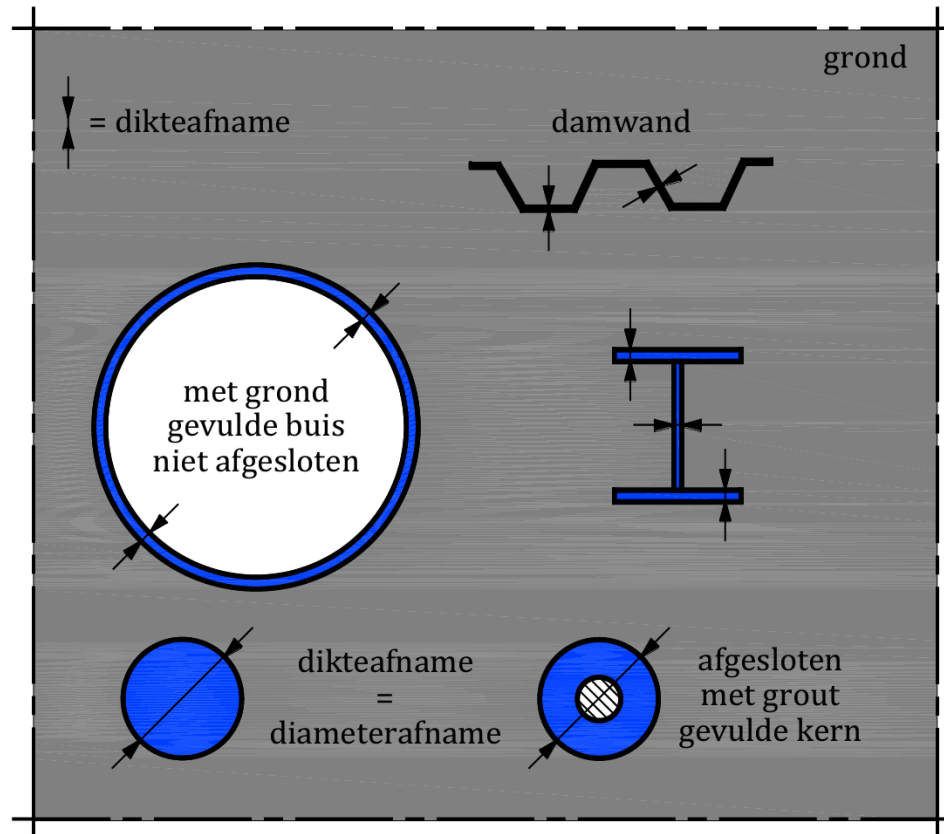
3.3 Bepaling dikteafname ankerstang

In de norm NEN6766:2023 NL wordt gesproken over staaldikteafname met de volgende definitie:

staaldikte, afname

vermindering van de oorspronkelijke dikte van het materiaal, als gevolg van dubbelzijdige corrosie

Figuur 1 uit NEN6766 laat zien dat bij een ronde ankerstang de dikteafname gelijk is aan de afname van de diameter van de ankerstang. In Figuur 3.4 is een afdruck van de figuur uit de NEN norm gegeven.



Figuur 3.4 Definitie dikteafname=diameterafname voor ankerstang volgens NEN6766:2023.

De resultaten van de scan en verwerking van de resultaten tot stralen kunnen worden omgerekend tot een diameter per mm ankerstang. De diameter is gelijk aan 2*gemiddelde straal per doorsnede.

De afgeleide diameter kan worden vergeleken met de initiële diameter die behoort bij de ankerstang ten tijde van het ontwerp. Dit leidt tot een gemeten dikteafname voor de ankerstang ten opzichte van de oorspronkelijke dikte.

De dikteafname is de maat voor degradatie. In formule vorm:

$$\Delta d = d_{\text{initieel}} - d_{\text{gemeten}}$$

Met

Δd dikteafname ankerstang.

d_{initieel} initiële nominale diameter ankerstang.

d_{gemeten} gemeten diameter ankerstang.

Bij het schroefdraad is al sprake van een vermindering van de diameter. De dikteafname bij het schroefdraad zal daarom groter zijn dan bij de ankerstang omdat deze evident meer dan alleen corrosie is veroorzaakt. De gemiddelde diameter op het schroefdraad deel van het anker wordt beschreven met D_2 (zie Bijlage D) en is afhankelijk van de toegepaste speed. De dikteafname bij het schroefdraad als maat voor degradatie is dan in formule vorm:

$$\Delta d_{\text{schroefdraad}} = D_{2,\text{initieel}} - d_{\text{gemeten}}$$

Met

$\Delta d_{\text{schroefdraad}}$ dikteafname ter plaatse van het schroefdraad.

$D_{2,\text{initieel}}$ initiële diameter schroefdraad rekeninghoudend met de speed.

d_{gemeten} gemeten gemiddelde diameter schroefdraad.

Opgemerkt wordt dat het verwijderen van corrosieproduct op het schroefdraad mogelijk niet optimaal is uitgevoerd omdat de focus op de “gladde” ankerstang lag. Er is dus een kans dat door deze achtergebleven corrosieproducten er in werkelijkheid meer dikteafname op het schroefdraad is opgetreden dan is afgeleid uit de metingen.

3.4 Invloed van mechanische beschadigingen in ankerstangen op resultaten

Sommige ankerstangen zijn iets verbogen. Het lijkt er bovendien op dat soms de ankerstangen zijn beschadigd door voertuigen of andere mechanische effecten zoals graafwerkzaamheden.

Deze locaties zijn op de ankerstang zichtbaar omdat hier de minimale straal vaak sterk afneemt, terwijl de maximale straal gelijktijdig iets toeneemt. Door de mechanische beschadiging is het staal in de beschadigde locatie plastisch vervormt. Dat zal in de breedterichting van dezelfde doorsnede zijn maar kan ook in lengterichting naar aansluitende doorsnedes hebben plaatsgevonden. De gemiddelde straal, of de doorsnede, zal echter nauwelijks veranderen omdat het staal volume niet anders wordt door plastisch vervormen. Het effect van mechanische beschadigingen zal daarom geen invloed hebben op de dikteafname. Dat kan wel als een stuk van de staaldoorsnede verdwenen is als het door mechanische beschadiging is weggeslagen.

Het gemaakte 3D model en de afgeleide stralen zijn daarom per stang gecontroleerd op deze beschadigingslocaties. Daar waar relevant zal een deel van de resultaten in de verdere analyses worden uitgefilterd.

Enkele ankerstangen zijn bij het vrijgraven door de graafmachine geraakt. Het effect hiervan op de dikteafname wordt klein geacht.

3.5 Analyse van de geconstateerde dikteafname resultaten

Op basis van voorgaande zullen in de volgende hoofdstukken diverse analyses worden uitgevoerd op de uit het 3D model afgeleide dataset.

Het gaat om absolute getallen met betrekking tot de dikteafname van de ankerstang en schroefdraad en om trends die kunnen worden gezien. Deze worden per locatie bepaald.

Per stang

Per ankerstang worden in de analyse de volgende kenmerken afgeleid voor de ankerstaaf:

- Dikteafname ankerstang voor elke doorsnede (per mm) = $2 \times \text{gemiddelde straal} - \text{initiële diameter}$.
- Standaarddeviatie van deze dikteafname per mm over de ankerstang.
- Gemiddelde dikteafname per stang (maat voor gemiddelde corrosie).
- Maximale dikteafname per stang (maatgevende doorsnede met meeste corrosie).
- Minimale dikteafname per stang (doorsnede met minste corrosie).

De waarde bij het schroefdraad is anders dan bij het schroefdraad omdat de initiële diameter al is verkleind door het in de ankerstang gesneden schroefdraad. Deze waarde zal apart worden vermeld.

Trends

Op basis van een extreme waarde analyse kan een trend worden verkregen van de dikteafname over een ankerstang. Door de hoogste waarde te kiezen van de dikteafname per X mm wordt een deel van de variaties uitgefilterd. Hierdoor wordt een 'chaotisch' beeld van de dikteafnames per mm omgezet in een 'rustig' beeld van de dikteafnames per X mm. Vooralsnog is gekozen voor X = 50 mm.

De op basis van een extreme waarde analyse verkregen trend per ankerstang kan worden samengevoegd tot een gemiddelde trend per locatie. Door verschillende locaties met elkaar te vergelijken kan bovendien gezien worden of de trends overal gelijk zijn of juist verschillen.

Ruimtelijke variaties en trends per locatie

Door de dikteafnames van de naast elkaar gelegen ankerstangen in de ruimte te presenteren kan een trend rondom de ruimtelijke variatie worden afgeleid.

3.6 Relatie met norm NEN6766

Om de gemeten dikteafnames te duiden is het goed de relatie met norm NEN6766 aan te geven. In 2023 is de norm NEN6766, Corrosie stalen elementen in de ondergrond – Eisen voor ontwerp en toepassing, gepubliceerd. Deze norm beschrijft onder andere met welke dikteafname door corrosie rekening dient te worden gehouden bij de beoordeling van stalen damwandconstructies. Om een vergelijking te kunnen maken van de gemeten dikteafname van de ankerstangen met de rekenwaarden van de dikteafname conform de NEN6766:2023 worden een aantal uitgangspunten vastgesteld, die voor ankerstangen voldoet aan artikel (3a) in H5.2, namelijk dat de ankerstang is omringd door grond (zie Tabel 3.1). In de norm worden 2 grondconditietypen onderscheiden. Met dit onderscheid en de resultaten in H2.2 wordt geconstateerd dat grondconditietype I onwaarschijnlijk¹⁰ is. Daarbij wordt opgemerkt dat als het anker boven het waterpeil wordt aangesloten op de damwand de kans evident groter is dat er sprake is van grondconditietype II.

Tabel 3.1 Uitgangspunten in relatie met NEN6766.

Situatie in relatie tot NEN6766	
Ja	Stalen constructieonderdeel is omringd door grond
Ja	Betreft schone grond, grond waarin geen verontreinigende stoffen voorkomen die leiden tot een verhoogde corrosie
Nee	Grondconditietype I (Schone grond die zich permanent beneden de laagste grondwaterspiegel bevindt en waarbij bovendien geen regelmatige verversing van het grondwater optreedt door stroming)

¹⁰ Schone grond die zich permanent beneden de laagste grondwaterspiegel bevindt en waarbij bovendien geen regelmatige verversing van het grondwater optreedt door stroming

Situatie in relatie tot NEN6766

Ja	Grondconditietype II (Alle overige gevallen van schone grond)
Ja	Groep 4 (Geen herverdeling van spanningen is mogelijk; element grenst aan twee of meer zijden aan niet-afgesloten grond)

In NEN6766:2023 is aangegeven dat voor onbeschermd staal bij ontwerp rekening dient te worden gehouden met de in Tabel 3.2 genoemde rekenwaarden¹¹ van de staaldikteafname. Voor T = 40 jaar, ongeveer de leeftijd van de onderzochte ankers bij de Twentekanalen, en voor T = 67 jaar, de leeftijd van de in dit rapport geanalyseerde ankerstangen uit de Roggebotsluis, is de waarde geïnterpoleerd conform NEN6766:2023.

Tabel 3.2 Rekenwaarde van de staaldikteafname conform NEN6766.

Groep	Grond- conditie type	Rekenwaarde van de staaldikteafname [mm]						
		T=5 jaar	T=10 jaar	T=25 jaar	T=40 jaar*	T=50 jaar	T=67 jaar*	T=100 jaar
4	II	1,0	1,8	3,5	5,0	6,0	7,7	11,0

* Lineair geïnterpoleerd conform NEN6766

¹¹ Dit zijn rekenwaarden welke naar verwachting significant groter zouden moeten zijn dan de gemiddelde dikteafname.

4 Initiële diameter

4.1 Algemeen

Het initiële uitgangspunt is dat de initiële diameter van de ankerstangen overeenkomt met de waarden genoemd op de tekeningen uit circa 1955 [2] en [3].

Bij het verwerken van de data van de ankerstangen is gebleken dat ondanks het optreden van een dikteafname door corrosie enkele ankerstangen een grotere diameter hadden dan op tekening is vermeld. Hieruit is de conclusie getrokken dat de diameter welke op tekening is vermeld niet per definitie overeenkomt met de diameters zoals in het werk toegepast.

Naast dat er in de praktijk mogelijk voor gekozen is om een grotere leverbare ankerdiameter toe te passen is er ook sprake van een productietolerantie op de nominale diameters. In onderstaande paragrafen is uiteengezet hoe de initiële diameter ten behoeve van het berekenen van de dikteafname van de ankerstang door corrosie is bepaald

4.2 Productietolerantie

Het is niet bekend wat de productietolerantie op de diameter van de ankers was rond 1955.

Voor de productietolerantie wordt uitgegaan van de actuele norm NEN-EN 10060:2003 "Warmgewalste ronde staven van staal voor algemene doeleinden - Afmetingen en toleranties op vorm en afmetingen"

Tabel 4.1 Productietolerantie

Diameter [mm]	Tolerantie op de diameter [mm]
36 t/m 50	+/- 0,8 mm
52 t/m 80	+/- 1 mm

Tabel 4.2 EN 10060:2003, Hot rolled round steel bars for general purposes - Dimensions and tolerances on shape and dimensions.

EN 10060:2003 (E)

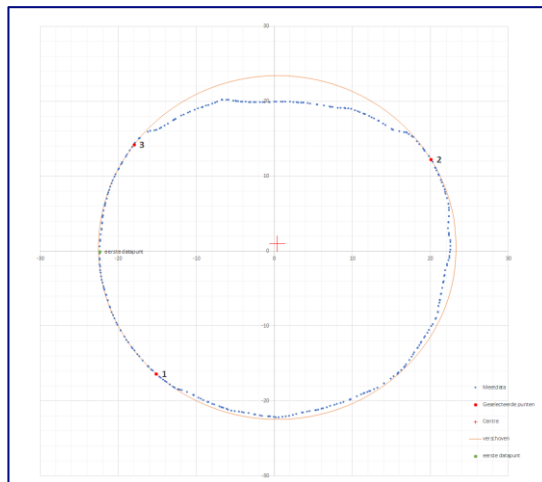
Table 1 — Preferred dimensions, mass and dimensional tolerances of hot rolled round steel bars for general and precision purposes

Diameters ^a <i>d</i> (mm)	Limit deviation ^b Normal (mm)	Limit deviation ^b Precision (<i>P</i>) (mm)	Mass ^{c, d} (kg/m)	Area of cross section (cm ²)
10	± 0,4	± 0,15	0,617	0,785
12			0,888	1,13
13		± 0,20	1,04	1,33
14			1,21	1,54
15			1,39	1,77
16	1,58		2,01	
18	± 0,5		2,00	2,54
19		2,23	2,84	
20		2,47	3,14	
22		2,98	3,80	
24		3,55	4,52	
25	± 0,25	3,85	4,91	
26		4,17	5,31	
27		4,49	5,73	
28		4,83	6,16	
30		5,55	7,07	
32	± 0,6	6,31	8,04	
35		7,55	9,62	
36		± 0,30	7,99	10,2
38			8,90	11,3
40			9,86	12,6
42	± 0,40		10,9	13,9
45			12,5	15,9
48		14,2	18,1	
50		15,4	19,6	
52		16,7	21,2	
55	± 1	18,7	23,8	
60		22,2	28,3	
63		24,5	31,2	
65		26,0	33,2	
70		30,2	38,5	
73	± 0,50	32,9	41,9	
75		34,7	44,2	
80		39,5	50,3	
85		± 1,3	44,5	56,7
90			49,9	63,6
95	55,6		70,9	
100	61,7		78,5	
105	± 1,5		68,0	86,6
110		74,6	95,0	
115		81,5	104	
120		88,8	113	
125		± 2	96,3	123
130	104		133	
135	112		143	
140	121		154	

4.3 Verificatie diameters

Op basis van de waarneming van de corrosie van de ankerstangen blijkt dat er doorsneden zijn welke lokaal een dikteafname door corrosie vertonen maar waarbij er ook sprake is van delen welke nog voor het oog relatief ongecorrodeerd zijn.

Met behulp van deze relatief ongecorrodeerde delen is geverifieerd wat tenminste de minimale initiële diameter bedroeg. In onderstaande figuur is een voorbeeld gepresenteerd van ankerstang U1, sectie U1BB-U1BC, cross section 25. Op basis van 3 punten op de ongecorrodeerde of uniform gecorrodeerde omtrek van de doorsnede is berekend wat de diameter bedraagt door deze punten. Uitgangspunt van het selecteren van de 3 punten is dat de gehele gecorrodeerde doorsnede binnen de theoretische diameter valt.



Figuur 4.1 Berekening van de minimale initiële diameter op basis van 3 punten op de ongecorrodeerde of uniform gecorrodeerde omtrek.

In onderstaande tabel is een samenvatting gegeven van de resultaten waarbij op basis van een groot aantal doorsneden per ankerstangen de minimale initiële diameter is vastgesteld. In Bijlage C zijn tussenresultaten van de uitgevoerde analyse gegeven.

Tabel 4.3 Controle ankerdiameters: tekening vs scandata.

Naam ankerstang	$\varnothing_{\text{tek}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{tek;bov}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{scan;gem}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{scan;max}}$ [mm]	Controle $\varnothing_{\text{tek;bov}} \geq \varnothing_{\text{scan;max}}$ [ja/nee]	Aantal doorsneden t.b.v. controle diameter
U1	44	44,8	46,1	46,3	Nee	20
U2	44	44,8	46,2	46,5	Nee	19
U3	44	44,8	46,2	46,4	Nee	21
U4	50	50,8	50,4	51,4	Nee	19
U5	50	50,8	50,1	50,7	Ja	20
U6	57	58,0	54,7	55,5	Ja	18
U7	57	58,0	54,9	55,2	Ja	17
U8	57	58,0	54,9	55,1	Ja	17
X1	50	50,8	49,9	50,0	Ja	4
X2	50	50,8	50,0	50,1	Ja	4
X3	50	50,8	49,9	50,2	Ja	5
X4	50	50,8	49,9	50,0	Ja	6
X5	44	-	-	-	-	-
X6	44	44,8	45,8	46,1	Nee	7
X7	44	44,8	45,6	46,3	Nee	17
X8	44	44,8	45,6	46,4	Nee	17
BI-O-1	44	44,8	44,5	44,6	Ja	3
BI-O-2	44	44,8	44,6	44,7	Ja	3
BI-O-3	44	44,8	44,6	44,7	Ja	3

Toelichting bij tabel

$\varnothing_{\text{tek}}$	Diameter conform tekening
$\varnothing_{\text{tek;bov}}$	Diameter conform tekening + bovengrens productietolerantie
$\varnothing_{\text{scan;gem}}$	initiële gemiddelde diameter ankerstang van de beschouwde doorsneden op basis van scanresultaten
$\varnothing_{\text{scan;max}}$	initiële maximale diameter ankerstang van de beschouwde doorsneden op basis van scanresultaten
X5	Deze ankerstaaf is niet veilig gesteld en dus niet ingescand

Conclusie

- U1 t/m U3 en X5 t/m X8 (Ø44 mm op tekening)
Voor alle ankerstaven geldt dat de waargenomen diameter ($\varnothing_{\text{scan}}$) groter is dan de diameter op tekening. Geconcludeerd wordt dat een grotere diameter is toegepast dan op tekening vermeld.
- U4 t/m U5 en X1 t/m X4 (Ø50 mm op tekening)
Voor U4 geldt dat de waargenomen diameter ($\varnothing_{\text{scan}}$) groter is dan de diameter op tekening. Bij de overige ankerstangen geldt dat de waargenomen diameter ($\varnothing_{\text{scan}}$) groter is dan de diameter op tekening.
Uitgangspunt is dat alle ankerstangen tot dezelfde partij behoren er binnen deze partij geen verschillende diameters zijn toegepast.
Geconcludeerd wordt dat een grotere diameter is toegepast dan op tekening vermeld.
- U6 t/m U8 (Ø57 mm op tekening)

Voor alle ankerstaven geldt dat de waargenomen diameter ($\varnothing_{\text{scan}}$) kleiner is dan de diameter op tekening. Geconcludeerd wordt dat een diameter is toegepast conform tekening.

- BI-O-1 t/m BI-O-3 ($\varnothing 44\text{mm}$ op tekening)

Voor alle ankerstaven geldt dat de waargenomen diameter ($\varnothing_{\text{scan}}$) kleiner is dan de diameter op tekening. Geconcludeerd wordt dat een diameter is toegepast conform tekening.

Opgemerkt wordt dat deze beschouwing niet is uitgevoerd voor de Eindstukken waarbij de corrosie voor het deel met schroefdraad is beschouwd.

4.4 Aanpassing ankerstangdiameters

Er is geen tabel beschikbaar met ankerdiameters welke in 1955 beschikbaar waren.

Indien geconcludeerd is dat een grotere diameter is toegepast dan op tekening vermeld dan wordt het volgende uitgangspunt gehanteerd:

$$\varnothing_{\text{ontwerp}} = \varnothing_{\text{scan};\text{max}}; \text{ omhoog afgerond op een veelvoud van 1 mm.}$$

Dit betekent dat de diameter van de ankers welke conform tekening een diameter hebben van $\varnothing 44\text{ mm}$ of $\varnothing 50\text{ mm}$ aangepast zullen worden

Tabel 4.4 Controle ankerdiameters: ankerdiameter $\varnothing 44\text{ mm}$.

Naam ankerstang	$\varnothing_{\text{tek}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{tek;bov}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{scan;gem}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{scan;max}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{scan;max;maatgevend}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{ontwerp}}$ [mm]
U1	44	44,8	46,1	46,3	46,5	47,0 ⁽¹⁾
U2	44	44,8	46,2	46,5		
U3	44	44,8	46,2	46,4		
X6	44	44,8	45,8	46,1		
X7	44	44,8	45,6	46,3		
X8	44	44,8	45,6	46,4		

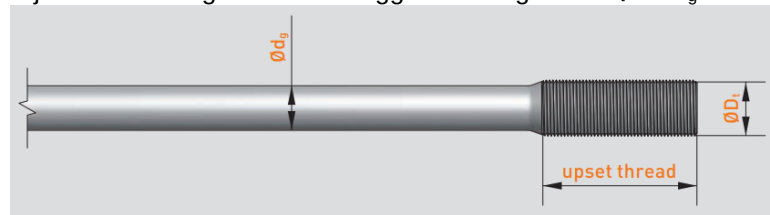
Tabel 4.5 Controle ankerdiameters: ankerdiameter $\varnothing 50\text{ mm}$

Naam ankerstang	$\varnothing_{\text{tek}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{tek;bov}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{scan;gem}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{scan;max}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{scan;max;maatgevend}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{ontwerp}}$ [mm]
U4	50	50,8	50,4	51,4	51,4	52,0 ⁽²⁾
U5	50	50,8	50,1	50,7		
X1	50	50,8	49,9	50,0		
X2	50	50,8	50,0	50,1		
X3	50	50,8	49,9	50,2		
X4	50	50,8	49,9	50,0		

Opmerkingen

⁽¹⁾	Opgemerkt wordt dat op basis van actuele documentatie $\varnothing 47\text{ mm}$ ook een leverbare diameter is. Zie onderstaande bron. 10635 DYWIDAG Marine Tie Rod Brochure revG DIGITAL Singles.pdf (ctfassets.net)
⁽²⁾	Opgemerkt wordt dat op basis van actuele documentatie $\varnothing 52\text{ mm}$ ook een leverbare diameter is. Zie onderstaande bron. ASDO Anchors-for-Marine-Structures GB 2015.pdf (arcelormittal.com)

NB: dit betreft echter wel een staaf waarbij $\varnothing D_t > \varnothing d_g$
 Bij de ankerstangen van de Roggebotsluis geldt $\varnothing D_t \leq \varnothing d_g$



4.5 Conclusie initiële diameter

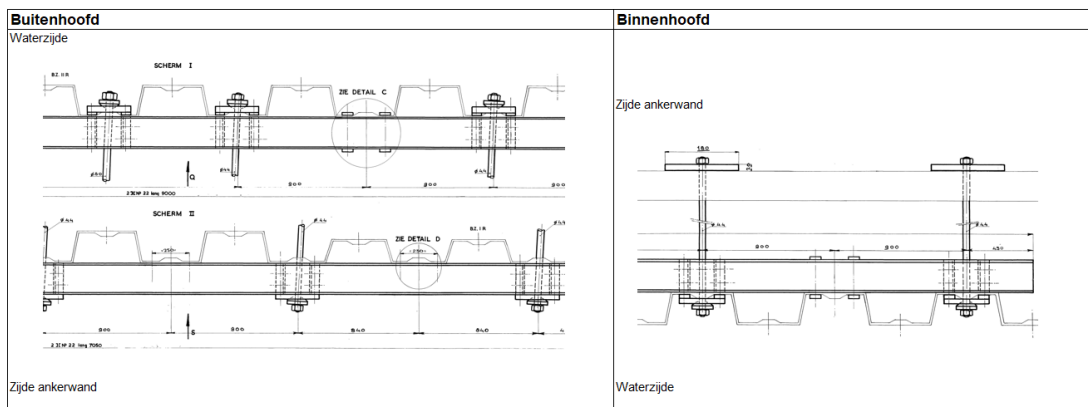
In onderstaande tabel is een samenvatting gegeven van de diameters van de ankerstangen welke zijn vermeld op de tekening uit circa 1955 en de diameters welke als input zullen dienen voor het berekenen van de dikteafname van de diameter. Op basis van de gehanteerde aanpak met de diametercorrectie waarbij de geupdate initiële diameter naar boven op mm is afgerond wordt geconcludeerd dat de op basis daarvan bepaalde diameterafname niet in een overschatting van de dikteafname resulteert.

Tabel 4.6 Samenvatting van de initiële ankerstang diameters.

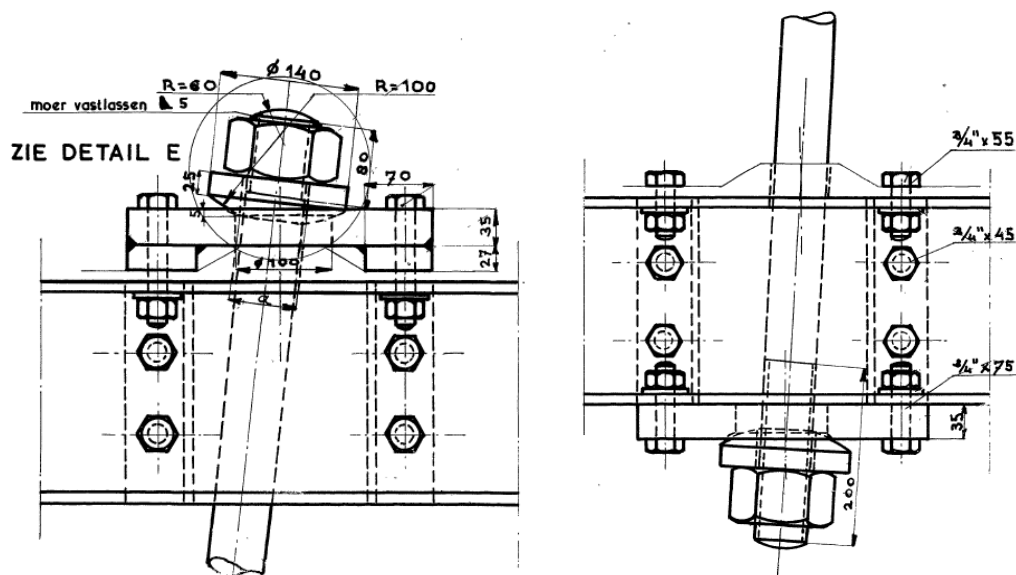
Naam ankerstang	Diameter conform tekening [mm]	Initiële diameter ankerstang t.b.v. berekening corrosie [mm]
U1	44	47
U2	44	47
U3	44	47
U4	50	52
U5	50	52
U6	57	57
U7	57	57
U8	57	57
X1	50	52
X2	50	52
X3	50	52
X4	50	52
X6	44	47
X7	44	47
X8	44	47
BI-O-1	44	44
BI-O-2	44	44
BI-O-3	44	44

4.6 Ankerstangen met schroefdraad

Er zijn eindstukken van ankerstangen ter beschikking waarbij draad aanwezig is. In Figuur 4.2 zijn afbeeldingen opgenomen met het ontwerp van de ankerkoppen ter plaatse van Binnen- en Buitenhoofd.



Figuur 4.2 Anker aansluitingen (eindstukken) aan waterzijde en zijde ankerwand Buiten- en Binnenhoofd [3].



Figuur 4.3 Ankerkopdetails Buiten- en Binnenhoofd waterzijde (links) en Buitenhoofd grondzijde (rechts) [3].

De stukken ankerstang met schroefdraad zijn allen afkomstig van de waterzijde. Zie Figuur 4.4 en Figuur 4.5 voor de eindstukken. Vanaf de zijde van de moer wordt circa 10 cm vanaf de kop van de ankerstang niet gebruikt voor de analyse aangezien hier een moer en schotel aanwezig is die niet te verwijderen was. Figuur 4.4 en Figuur 4.5 laten zien dat het schroefdraad verder doorloopt dan volgens het ontwerp [3] waar de draadlengte slechts 80 mm is en de schroefdraad ruim (~3 cm) binnen de schotel eindigt, zie Figuur 4.3.



Figuur 4.4 Ankerstangen met schroefdraad.



Figuur 4.5 Diameter gladde stang is gelijk aan diameter uitwendig schroefdraad.

In onderstaande tabel zijn de gegevens opgenomen van de eindstukken.

Tabel 4.7 Initiële diameter eindstukken.

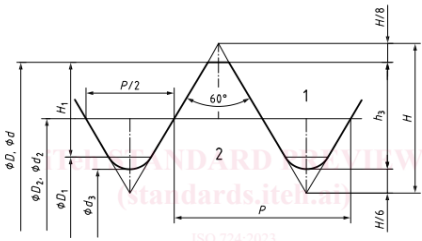
Naam ankerstang	totale lengte [mm]	Diameter Nominaal [mm]	Locatie	opmerking
X7-eind	452	47	X7	Insnoering achter schotel
X8-eind	524	47	X8	Insnoering achter schotel
U1/2-eind	556	47	U1 of U2	-

Voor de genoemde ankerstangen geldt dat op tekening is vermeld dat het een ankerstang $\varnothing 44$ mm betreft echter is op basis van de 3D-scans bepaald dat het initieel een $\varnothing 47$ mm betreft. Zie voorgaande paragrafen.

Om de dikteafname van de delen met schroefdraad te bepalen is het van belang om de initiële diameter D2 (behorende bij de spanningsdoorsnede) te kennen. Zie onderstaande

figuur voor de definitie van D2. In bijlage D zijn tussenresultaten van de uitgevoerde analyse gegeven.

Tabel 4.8 ISO 724:2023 "ISO general-purpose metric screw threads - Basis dimensions".

4 Symbols For the purposes of this document, the following symbols apply. <i>D</i> major diameter of internal thread (nominal diameter) <i>d</i> major diameter of external thread (nominal diameter) <i>D</i> ₂ pitch diameter of internal thread <i>d</i> ₂ pitch diameter of external thread <i>D</i> ₁ minor diameter of internal thread <i>d</i> ₃ minor diameter of external thread on design profile <i>P</i> pitch <i>H</i> fundamental triangle height <i>H</i> ₁ thread height of internal thread on design profile <i>h</i> ₃ thread height of external thread on design profile	5 Basic dimensions Basic dimensions shown in Figure 1 are given in Table 1. The values of <i>D</i> ₂ , <i>d</i> ₂ , <i>D</i> ₁ and <i>d</i> ₃ , in Table 1, have been calculated from the following formulae and rounded to the third decimal place. $D_2 = d_2 = d - 2 \times 3H/8 = d - 0,649\,519\,P$ $D_1 = d - 2 \times H_1 = d - 1,082\,532\,P$ $d_3 = d - 2 \times h_3 = d - 1,226\,869\,P$  Key 1 internal thread 2 external thread Figure 1 — Basic dimensions on design profiles
---	--

Er zijn geen tabellen bekend van rond 1955 waar deze diameter op bepaald kan worden. Daarom wordt de diameter ter plaatse van het schroefdraad benaderd op basis van ISO 724:2023 "ISO general-purpose metric screw threads - Basis dimensions" waarin de volgende formule voor D2 is gegeven:

$D_2 = D - 0,649519 \cdot P$

Hierbij is:

- D: de nominale diameter : 47 mm.
P: afstand tussen het draad : ≈ 4,7 mm.
(zoals gemeten op de ankerstang; 66 mm = 14 speed).

Dit geeft: $D_2 = 43,94$ mm.

5 Metingen locatie Buitenhoofd-west

De locatie en de archiefgegevens van locatie Buitenhoofd-west zijn weergegeven in Bijlage A.2.

Voorliggende hoofdstuk betreft de beschouwing van de ankerstangen exclusief het schroefdraad. Er is van deze locatie één eindstuk met schroefdraad beschikbaar welke wordt beschouwd in Hoofdstuk 8 .

5.1 Foto's van de ankers



Figuur 5.1 Ankerstangen Buitenhoofd-west.

5.2 Analyse van de resultaten

De ankerstangen zijn in verband met de grote lengte in secties gezaagd van circa 1,5 m lengte. Ten gevolge van het doorzagen van de ankerstangen zijn er aan de uiteinden van de secties soms beschadigingen opgetreden waardoor de 3D scan-meting een vertekend beeld geeft bij het analyseren van de meetdata. Daarom is, indien van toepassing, de data aan het begin of einde van de sectie, buiten beschouwing gelaten. Veelal gaat het dan om een zone van circa 1 cm lengte.

De ankerstangen zijn gemeten en geanalyseerd met de achterzijde van de damwand als oorsprong en de positieve richting is naar de grondzijde. Dit houdt in dat de maatvoering van de ankerstangen in langsrichting is ten opzichte van de damwand aan de waterzijde.

Aan de waterzijde is de ankerkop + schroefdraad afgezaagd. Dit betekende dat de waarnemingen van de ankerstangen in dit hoofdstuk gepresenteerd, starten op circa 0,4 m achter de damwand, de positie van de eerste zaagsnede.

5.2.1 Dikteafname ankerstang

Voor de gegevens met betrekking tot de ankerstangen worden verwezen naar hoofdstuk 2. De resultaten van de metingen zijn in Tabel 5.1 t/m Tabel 5.3 weergegeven.

De dikteafname van de ankerstangen (zonder schroefdraad) bedraagt voor:

- U1 t/m U3: gemiddeld 1,61 mm, maximaal 4,23 mm en L_{tot} = 32,30 m.
- U4 en U5: gemiddeld 2,42 mm, maximaal 6,94 mm en L_{tot} = 21,55 m.
- U6 t/m U8: gemiddeld 3,22 mm, maximaal 8,14 mm en L_{tot} = 32,96 m.
- U1 t/m U8: gemiddeld 2,4 mm, maximaal 8,14 mm, σ = 0,95 mm en L_{tot} = 84,81 m.

Wat opvalt is dat met het toenemen van de diameter ook de gemiddelde en maximale corrosie toeneemt.

Tabel 5.1 Dikteafname per ankerstang U1 t/m U3 (Ø47 mm).

ID	Lengte stang [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname [mm]				Afstand tot maximale dikteafname [mm]
			Gem	St.dev	Min	Max	
U1	10823	45,32	1,68	0,52	0,91	4,16	4758
U2	10709	45,32	1,68	0,55	0,84	4,23	6124
U3	10770	45,54	1,46	0,46	0,68	3,88	9738
U1 t/m 3	32302	45,39	1,61	0,52	0,68	4,23	6124

Tabel 5.2 Dikteafname per ankerstang U4+U5 (Ø52 mm).

ID	Lengte stang [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname [mm]				Afstand tot maximale dikteafname [mm]
			Gem	St.dev	Min	Max	
U4	10755	49,72	2,28	0,52	1,28	4,95	2775
U5	10791	49,44	2,56	0,76	1,49	6,94	10452
U4 en5	214546	49,58	2,42	0,67	1,28	6,94	10452

Tabel 5.3 Dikteafname per ankerstang U6 t/m U8 (Ø57 mm).

ID	Lengte stang [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname [mm]				Afstand tot maximale dikteafname [mm]
			Gem	St.dev	Min	Max	
U6	10800	53,94	3,06	0,44	2,23	6,40	4418
U7	10361	53,58	3,42	0,81	1,69	7,03	6337
U8	9800	53,82	3,18	0,89	2,20	8,14	8071
U6 t/m 8	30961	53,78	3,22	0,75	2,23	8,14	8071

In Tabel 5.1 t/m Tabel 5.3 is ook de locatie weergegeven waar de maximale dikteafname is geconstateerd. Te zien is dat het maximum niet op een vaste afstand van het begin van de onderzochte stangen ligt, maar tussen de 2,78 en 10,45 m ligt bij deze 8 stangen.

Zoals in Hoofdstuk 4 aangegeven is per ankerstang ook bepaald wat tenminste de initiële diameter is geweest. Op basis van deze minimale initiële diameter kan ook een indruk worden verkregen worden hoeveel uniforme corrosie er is opgetreden. Voor deze in H4 beschreven analyse zijn per staaf een groot aantal doorsneden geselecteerd met een rondom een relatief vlak oppervlak.

De uniforme corrosie voor deze inschatting is gedefinieerd als het verschil tussen initiële diameter van een ankerstaaf en de gemiddelde gefitte diameter van een doorsnede.

De inschatting van de gemiddelde uniform dikteafname van de ankerstang (zonder schroefdraad) bedraagt:

- Voor U1 t/m U3: 0,86 mm.
- Voor U4 t/m U5: 1,78 mm.
- Voor U6 t/m U8: 2,16 mm.
- Voor U1 t/m U8: 1,57 mm.

Wat opvalt is dat met het toenemen van de diameter ook de gemiddelde uniforme corrosie toeneemt.

Tabel 5.4 Dikteafname per ankerstang U1 t/m U3 (Ø47 mm).

ID	Gemiddelde initiële diameter ankerstang op basis van scanresultaten [mm]	Gemiddelde uniforme corrosie [mm]
U1	46,07	0,93
U2	46,17	0,83
U3	46,18	0,82
U1 t/m 3	46,14	0,86

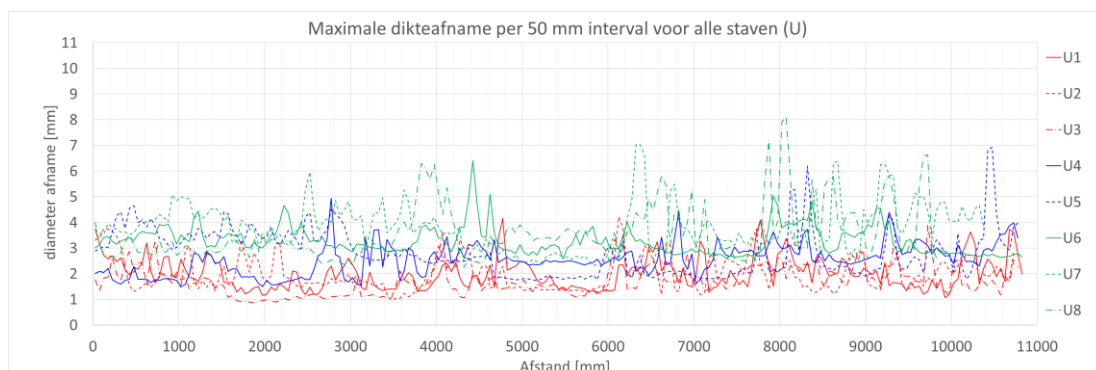
Tabel 5.5 Dikteafname per ankerstang U4+U5 (Ø52 mm).

ID	Gemiddelde initiële diameter ankerstang op basis van scanresultaten [mm]	Gemiddelde uniforme corrosie [mm]
U4	50,39	1,61
U5	50,06	1,94
U4 en 5	50,22	1,78

Tabel 5.6 Dikteafname per ankerstang U6 t/m U8 (Ø57 mm).

ID	Gemiddelde initiële diameter ankerstang op basis van scanresultaten [mm]	Gemiddelde uniforme corrosie [mm]
U6	54,74	2,26
U7	54,92	2,08
U8	54,87	2,13
U6 en 8	54,84	2,16

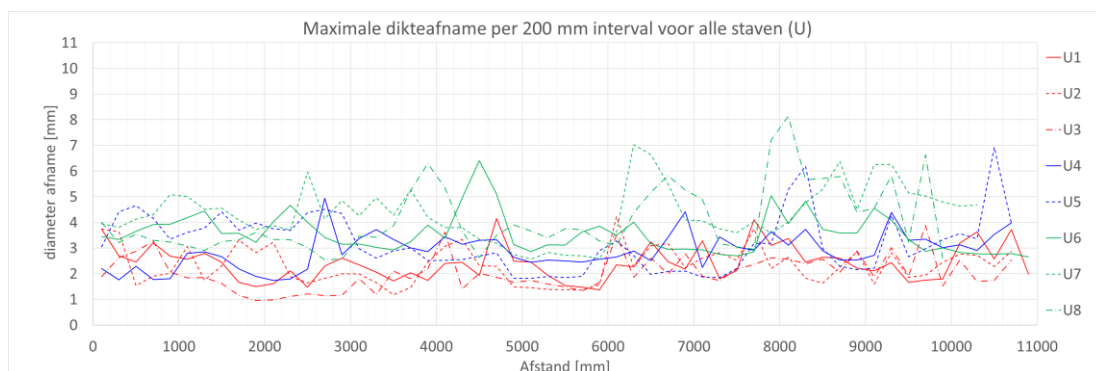
In Figuur 5.2 zijn de uit de metingen afgeleide maximale dikteafnamen per 50 mm ankerstanglengte van de ankerstangen afkomstig van locatie Buitenhoofd-west weergegeven.



Figuur 5.2 Maximale dikteafname per 50 mm ankerstang alle ankerstangen locatie Buitenhoofd-west.

5.2.2 Trend langs ankerstangen

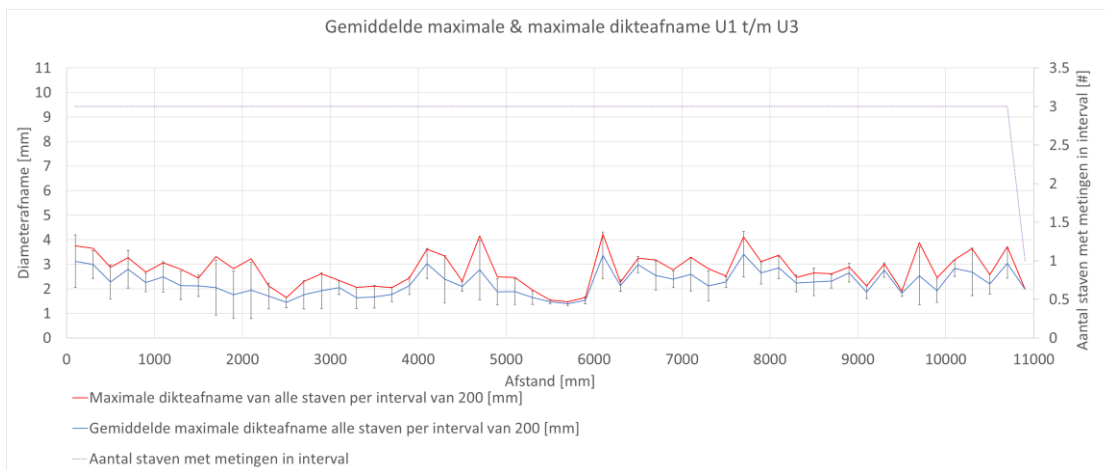
Door de data te filteren en uitsluitend per ankerstang de maximale dikteafnames per 200 mm ankerstanglengte te beschouwen kunnen de standaarddeviatie van deze maxima en extreme waarde van alle ankerstangen per 200 mm worden bepaald. In Figuur 5.3 zijn de maximale dikteafnames weergegeven.



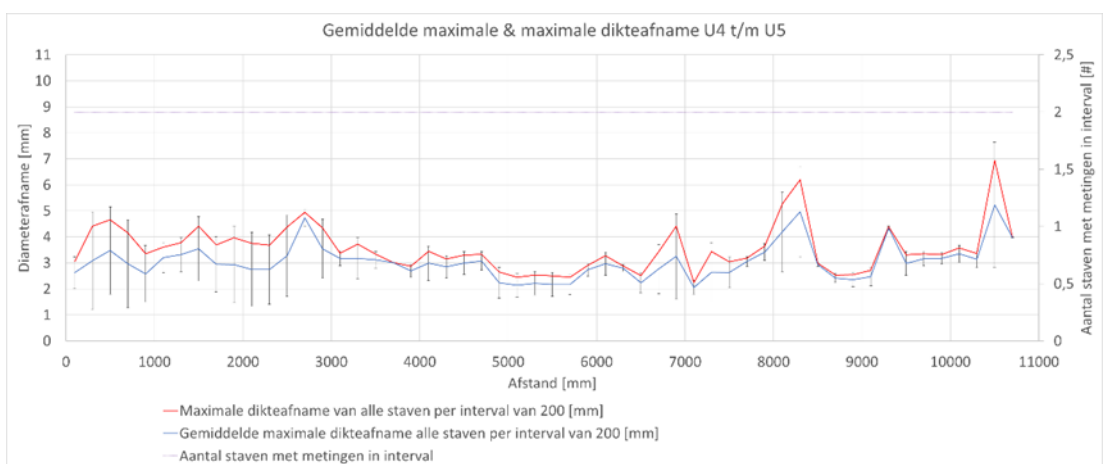
Figuur 5.3 Maximale dikteafname per 200 mm ankerstang voor alle ankerstangen locatie Buitenhoofd-west.

In Figuur 5.4 t/m Figuur 5.7 is de trend van dikteafname van de ankerstangen met gelijke lengte en initiële diameter en tot slot alle ankerstangen nader bekeken. Weergegeven zijn de maximale dikteafname (extremen), de standaarddeviatie en de gemiddelde maximale dikteafname als functie van de afstand langs de stang.

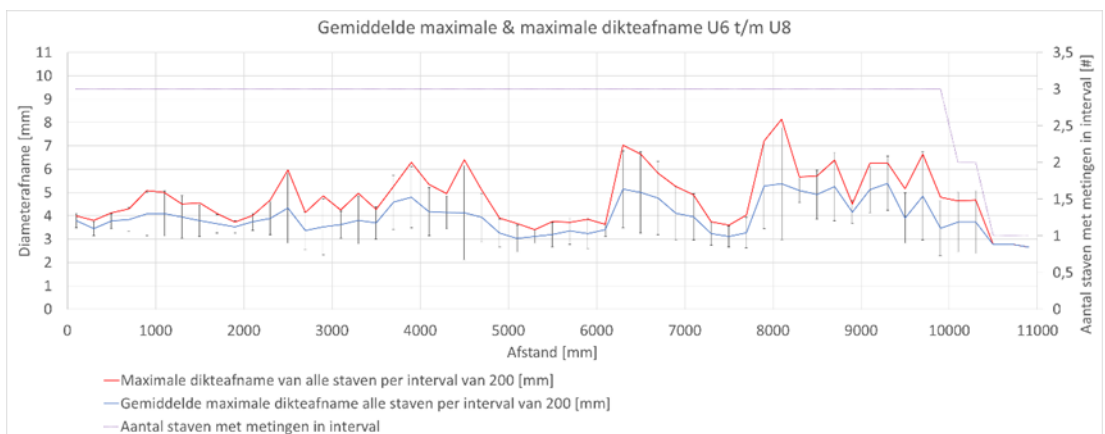
Voor ankerstangen U1 t/m U8 is geen overall trend over de lengte van de ankerstangen waarneembaar. Bij de trend van de maxima van de ankerstangen U1 t/m U3 in Figuur 5.4 valt alleen op dat over de afstand tussen 5 en 6 m uit de damwand relatief weinig corrosie optreedt en dat de standaarddeviatie van de maxima daar klein is. Bij U6 t/m U8 worden de hogere dikteafnames aangetroffen rond de 8 m (richting achterzijde ankerstang).



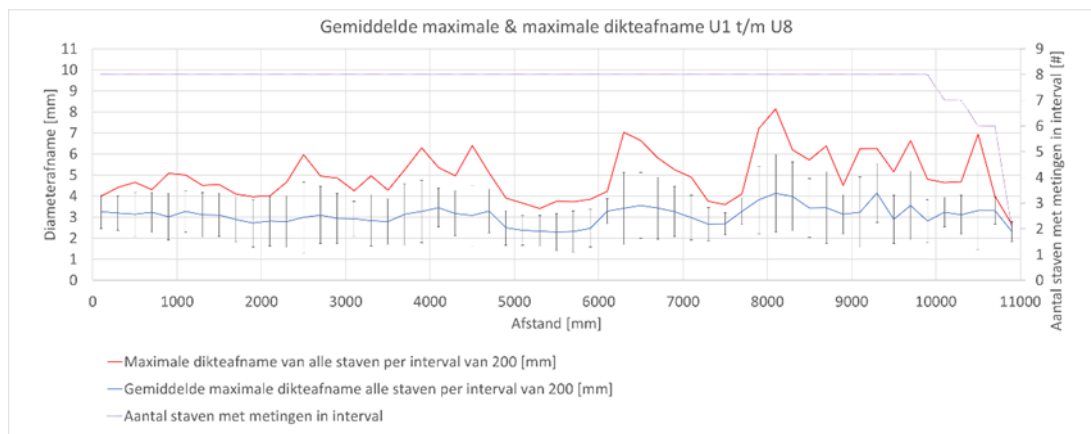
Figuur 5.4 Trend in gemiddelde maximale dikteafname per 200 mm ankerstang locatie Buitenhoofd-west, ankerstang U1 t/m 3.



Figuur 5.5 Trend in gemiddelde maximale dikteafname per 200 mm ankerstang locatie Buitenhoofd-west, ankerstang U4 en U5.



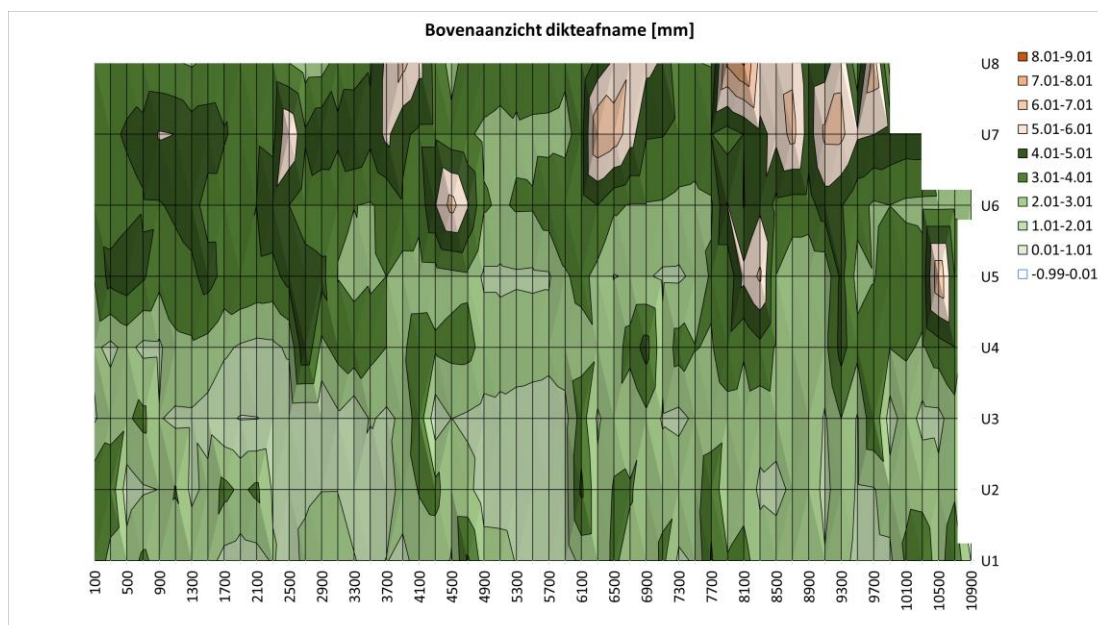
Figuur 5.6 Trend in gemiddelde maximale dikteafname per 200 mm ankerstang locatie Buitenhoofd-west, ankerstang U6 t/m U8



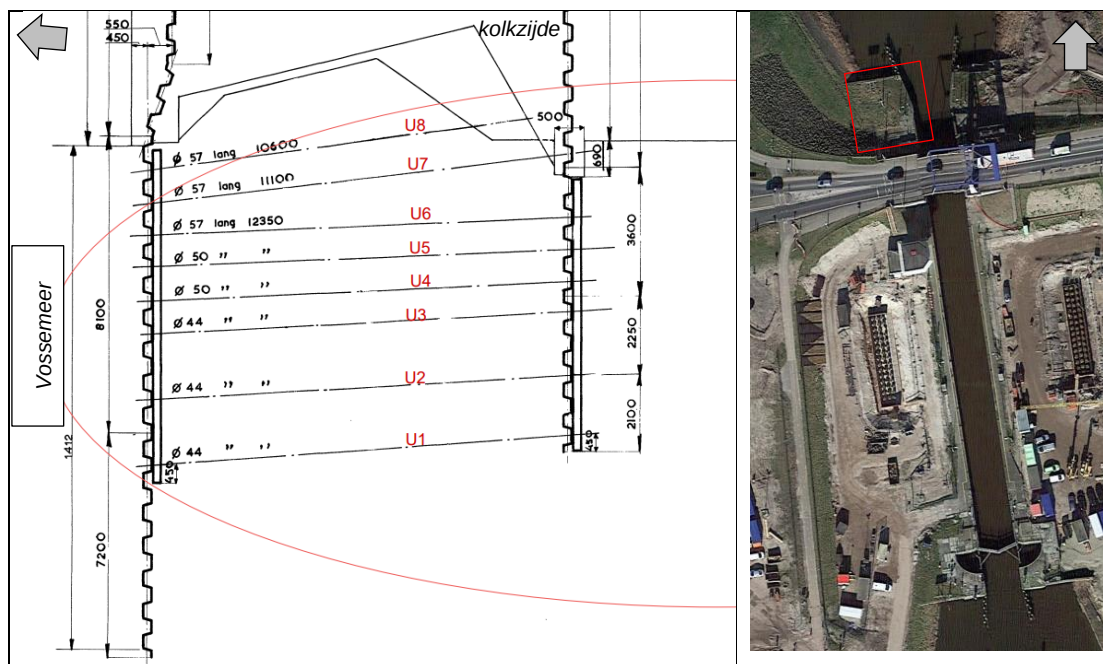
Figuur 5.7 Trend in gemiddelde maximale dikteafname per 200 mm ankerstang locatie Buitenhoofd-west, alle stangen

In Figuur 5.8 is de dikteafname in bovenaanzicht weergegeven voor Buitenhoofd-west. De oriëntatie van Figuur 5.8 gelijk aan die in van Figuur 5.9.

Aan het bovenaanzicht valt op dat de ankerstangen van de kolkzijde (betonnen u-bak met aan deze zijde de omloopkanalen) meer corrosie vertonen dan aan de landzijde. Van west naar oost neemt derhalve over het geheel gezien de corrosie toe.



Figuur 5.8 Dikteafname in bovenaanzicht Buitenhoofd-west.



Figuur 5.9 Bovenaanzicht Buitenhoofd-west.

6 Metingen locatie Binnenhoofd-west

De locatie en de archiefgegevens voor Binnenhoofd-west zijn weergegeven in Bijlage A.2.

Voorliggende hoofdstuk betreft de presentatie van de meetresultaten van de ankerstangen exclusief het schroefdraad. Van deze locatie zijn enkele eindstukken met schroefdraad beschikbaar welke worden beschouwd in Hoofdstuk 8.

6.1 Foto's van de ankerstangen



Figuur 6.1 Overzicht met ankerstangen Binnenhoofd-west.



Figuur 6.2 Uiteinde waterzijde ankerstang 7 met schroefdraad en schotel Binnenhoofd-west.

6.2 Analyse van de resultaten

De ankerstangen zijn in verband met de grote lengte in secties gezaagd van circa 1,5 m. Ten gevolge van het doorzagen van de ankerstangen zijn er aan de uiteinden van de secties soms beschadigingen opgetreden waardoor de inmeting een vertekend beeld geeft bij het analyseren van de inmeetdata is daarom, indien van toepassing, de data aan het begin of einde van de sectie, buiten beschouwing gelaten. Veelal gaat het dan om een zone van circa 1 cm lengte.

De ankerstangen zijn gemeten en geanalyseerd met de achterzijde van de damwand als oorsprong en de positieve richting is naar de grondzijde. Dit houdt in dat de maatvoering van de ankerstangen in langsrichting is ten opzichte van de damwand aan de waterzijde.

Aan de waterzijde is de ankerkop + schroefdraad afgezaagd. Dit betekende dat de maatvoering van de ankerstangen in dit hoofdstuk gepresenteerd, starten op circa 0,4 m uit de damwand.

6.2.1 Dikteafname ankerstang

Voor de gegevens met betrekking tot de ankerstangen worden verwezen naar hoofdstuk 2. De resultaten van de metingen zijn in Tabel 6.1 en Tabel 6.2 weergegeven.

De dikteafname van de ankerstang (zonder schroefdraad) bedraagt voor:

- X1 t/m X4: gemiddeld 3,10 mm, maximaal 5,29 mm en $L_{tot} = 13,04$ m.
- X6 t/m X8: gemiddeld 2,31 mm, maximaal 8,70 mm en $L_{tot} = 22,64$ m.
- X-alle: gemiddeld 2,59 mm, maximaal 8,70 mm, $\sigma = 1,02$ mm en $L_{tot} = 35,68$ m.

Zoals aangegeven in H3 is ankerstang X5 niet veiliggesteld en is dus niet ingescand.

Wat opvalt is dat, met het toenemen van de diameter ook de gemiddelde corrosie toeneemt maar de maximale corrosie op een ankerstang afneemt.

Tabel 6.1 Dikteafname per ankerstang X1 t/m X5 (Ø52 mm).

ID	Lengte stang(en) [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname [mm]				Afstand tot maximale dikteafname [mm]
			Gem	St.dev	Min	Max	
X1	3101	48,89	3,11	0,51	2,26	5,29	2444
X2	3319	49,05	2,95	0,43	2,13	5,03	2716
X3	3233	48,89	3,11	0,36	2,28	4,27	3136
X4	3382	48,78	3,22	0,48	2,36	5,22	845
X1 t/m 4	13035	48,90	3,10	0,46	2,13	5,29	2444

Tabel 6.2 Dikteafname per ankerstang X6 t/m X8 (Ø47 mm).

ID	Lengte stang(en) [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname [mm]				Afstand tot maximale dikteafname [mm]
			Gem	St.dev	Min	Max	
X6	4607	44,64	2,36	0,59	1,22	4,31	1187
X7	8968	44,68	2,32	1,39	0,90	8,70	6182
X8	9065	44,73	2,27	1,07	0,89	5,57	366
X6 en 7	22,64	44,69	2,31	1,14	0,89	8,70	6182

In Tabel 6.1 en Tabel 6.2 zijn ook de locaties weergegeven waar de maximale dikteafname is geconstateerd. Deze bevindt zich tussen 0,67 en 6,18 m afstand van het begin van de 7 onderzochte stangen.

Zoals in Hoofdstuk 4 aangegeven is per ankerstang ook bepaald wat tenminste de initiële diameter is geweest. Op basis van deze minimale initiële diameter kan ook een indruk worden verkregen worden hoeveel uniforme corrosie er is opgetreden. Voor deze in H4 beschreven analyse zijn per staaf een groot aantal doorsneden geselecteerd met een rondom een relatief vlak oppervlak.

De uniforme corrosie voor deze inschatting is gedefinieerd als het verschil tussen initiële diameter van een ankerstaaf en de gemiddelde gefitte diameter van een doorsnede.

De inschatting van de gemiddelde uniform dikteafname van de ankerstang (zonder schroefdraad) bedraagt:

- Voor X1 t/m X4: 2,11 mm
- Voor X6 t/m X8: 1,36 mm
- Voor alle X: 1,64 mm

Wat opvalt is dat met het toenemen van de diameter ook de gemiddelde uniforme corrosie toeneemt.

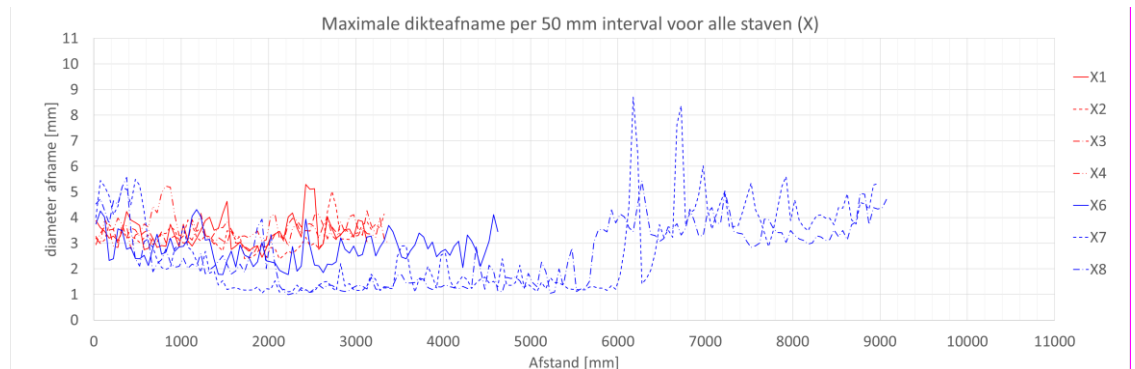
Tabel 6.3 Dikteafname per ankerstang X1 t/m X4 (Ø52 mm).

ID	Gemiddelde initiële diameter ankerstang op basis van scanresultaten [mm]	Gemiddelde uniforme corrosie [mm]
X1	49,87	2,14
X2	49,97	2,03
X3	49,85	2,15
X4	49,85	2,15
X1 t/m X4	49,89	2,11

Tabel 6.4 Dikteafname per ankerstang X6 t/m X8 (Ø47 mm).

ID	Gemiddelde initiële diameter ankerstang op basis van scanresultaten [mm]	Gemiddelde uniforme corrosie [mm]
X6	45,84	1,16
X7	45,63	1,37
X8	45,56	1,44
X6 t/m X8	45,64	1,36

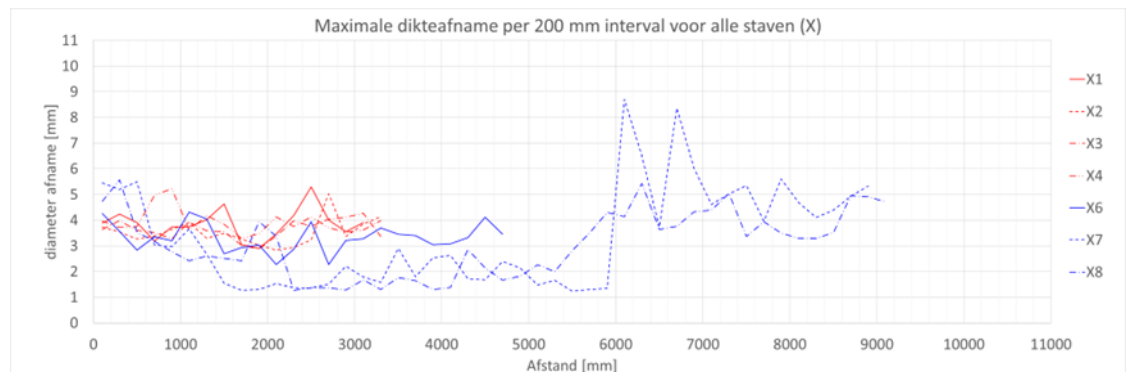
In Figuur 6.3 zijn de maximale dikteafname per 50 mm interval van locatie Binnenhoofd-west weergegeven. .



Figuur 6.3 Maximale dikteafname per 50 mm ankerstang voor alle ankerstangen locatie Binnenhoofd-west.

6.2.2 Trend langs de ankerstang

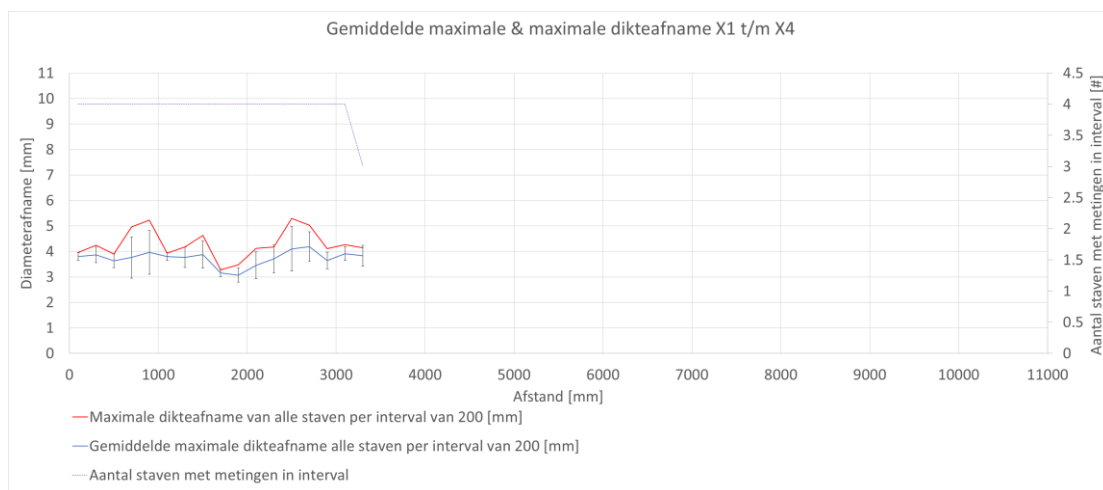
Door de data te filteren en uitsluitend per ankerstang de maximale dikteafnames per 200 mm ankerstanglengte te beschouwen kunnen de standaarddeviatie van deze maxima en extreme waarde van alle ankerstangen per 200 mm worden bepaald. Deze standaarddeviatie en extremen samen met de gemiddelde dikteafname zijn grafisch als functie van de afstand langs de stang weergegeven in Figuur 6.4.



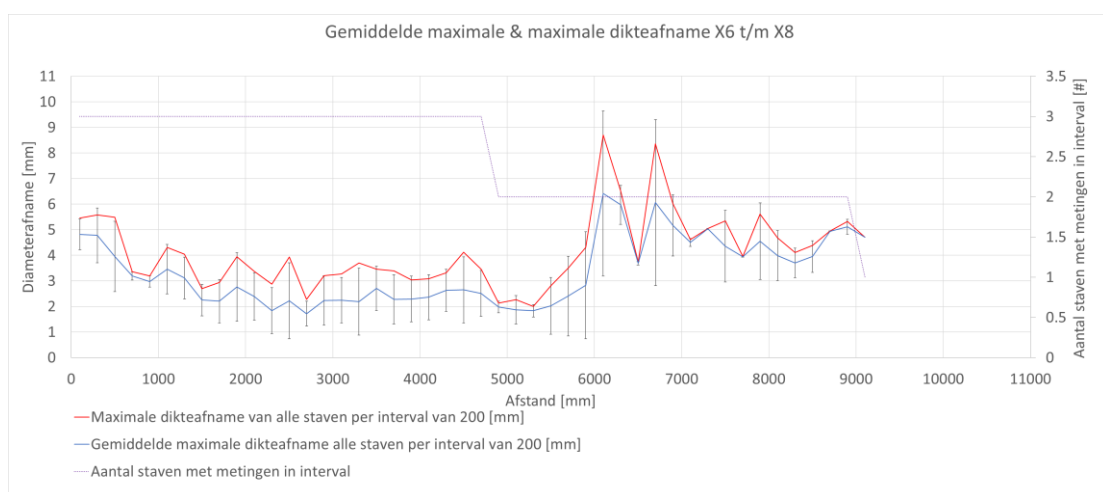
Figuur 6.4 Maximale dikteafname per 200 mm ankerstang voor alle ankerstangen locatie Binnenhoofd-west.

In Figuur 6.5 t/m Figuur 6.7 de trend van dikteafname van de ankerstangen met gelijke lengte en initiële diameter en tot slot alle ankerstangen nader bekeken. Weergegeven zijn de maximale dikteafname (extremen), de standaarddeviatie en de gemiddelde maximale dikteafname als functie van de afstand langs de stang.

Voor ankerstangen X1 t/m X8 is geen overall trend over de lengte van de ankerstangen waarneembaar. Bij ankerstangen X7 en X8 worden de grotere dikteafnames aangetroffen beginnend op circa 6 m vanaf de waterzijde.

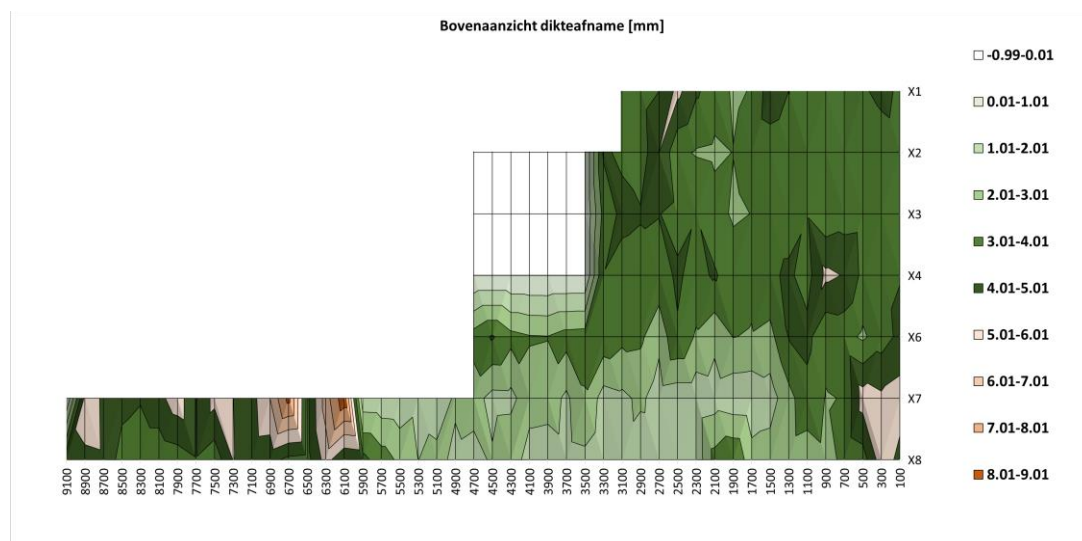


Figuur 6.5 Trend in gemiddelde maximale dikteafname locatie Binnenhoofd-west, ankerstang X1 t/m X4.

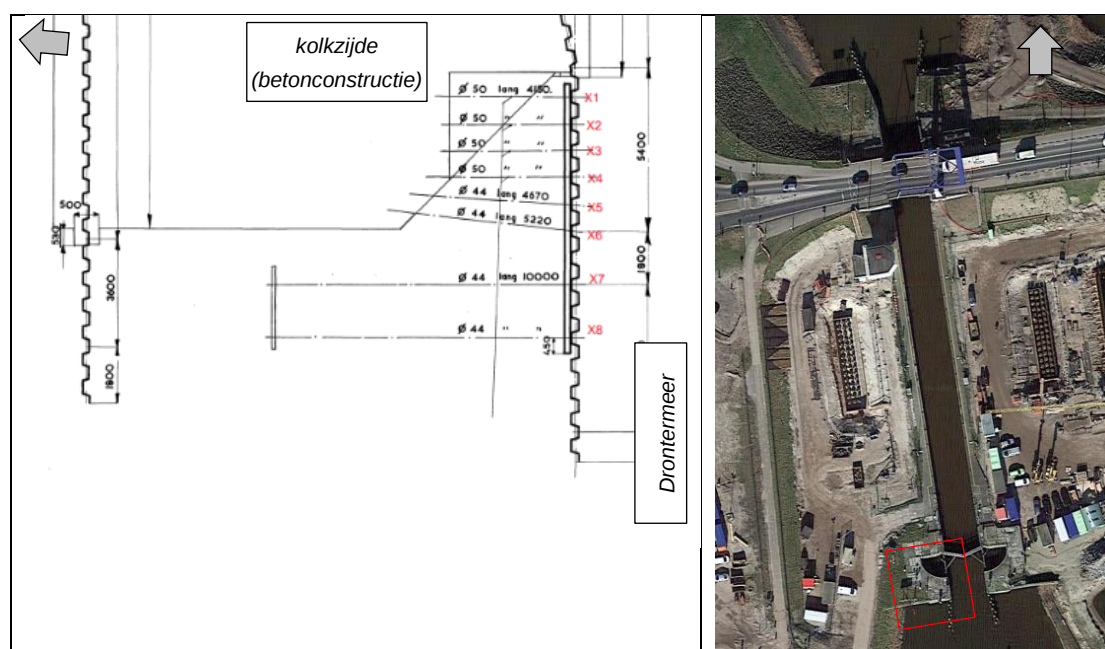


Figuur 6.6 Trend in gemiddelde maximale dikteafname locatie Binnenhoofd-west, ankerstang X6 t/m X8.

In Figuur 6.7 is de dikteafname in bovenaanzicht weergegeven voor Binnenhoofd-west. Hierbij is de oriëntatie van Figuur 6.7 gelijk aan deze van Figuur 6.8.



Figuur 6.7 Dikteafname in bovenaanzicht Binnenhoofd-west.



Figuur 6.8 Boven aanzicht Binnenhoofd-west.

Aan het bovenaanzicht valt op dat over een afstand van circa 1,3 tot 3 m uit de voorzijde van de damwand de ankers aan de zijde van de kolk meer corrosie vertonen dan aan de zijde van het land. Van west naar oost neemt derhalve de corrosie toe.

Bij anker X7 en X8 is er tot circa 0,9 m (0,5 m +0,4 m) achter de damwand ook veel corrosie aanwezig. Van deze ankers is ook het schroefdraad beschouwd, zie Hoofdstuk 8.

Het overall beeld laat vooral zien dat er gebieden zijn waar bij naast gelegen ankerstangen meer en minder dikteafname optreed (gecorreleerd) en dat er geen overall trend aanwezig is.

7 Metingen locatie Binnenhoofd-oost

De locatie en de archiefgegevens van locatie Binnenhoofd-oost zijn weergegeven in Bijlage A.2.

Voorliggende hoofdstuk betreft de beschouwing van 3 secties uit één ankerstang exclusief het schroefdraad.

7.1 Foto's van de ankers



Figuur 7.1 Foto ankerstangen Binnenhoofd-oost.

7.2 Analyse van de resultaten

Bij de inspectie van de ankerstangen zijn een drietal secties gezaagd van circa 1,5 m. Ten gevolge van het doorzagen van de ankerstangen zijn er aan de uiteinden van de secties soms beschadigingen opgetreden waardoor de inmeting een vertekend beeld geeft bij het analyseren van de inmeetdata is daarom, indien van toepassing, de data aan het begin of einde van de sectie, buiten beschouwing gelaten. Veelal gaat het dan om een zone van circa 1 cm lengte.

7.2.1 Dikteafname ankerstang

Voor de gegevens met betrekking tot de ankerstangen worden verwezen naar Hoofdstuk 2. De resultaten van de metingen zijn in Tabel 7.1 weergegeven. Er is geen informatie met betrekking tot de locatie en oriëntatie van de drie secties uit de ankerstang bij deze locatie. De resultaten voor ankerstang BI-O wordt afgeleid uit de beschikbare drie secties BI-O-1 t/m BI-O-3.

De dikteafname van de ankerstang (zonder schroefdraad) bedraagt voor ankerstang BI-O-1 t/m 3: gemiddeld 2,03 mm, maximaal 10,20 mm, $\sigma = 2,03$ mm en $L_{tot} = 35,68$ m.

Tabel 7.1 Dikteafname ankerstang BI-O (secties BI-O-1 t/m BI-O-3; Ø44 mm).

ID	Lengte stang(en) [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname [mm]				Afstand tot maximale dikteafname [mm]
			Gem	St.dev	Min	Max	
BI-O-1	1050	40,76	3,24	2,68	-0,55	10,20	nvt
BI-O-2	1590	43,46	0,54	0,91	-0,65	2,77	nvt
BI-O-3	1602	44,04	-0,04	0,91	-0,64	6,27	nvt
BI-O-1 t/m 3	4242	43,01	0,97	2,03	-0,65	10,20	nvt

In Tabel 7.1 is vanwege ontbrekende informatie geen afstand weergegeven waar de maximale dikteafname is geconstateerd.

Zoals in Hoofdstuk 4 aangegeven is per ankerstang ook bepaald wat tenminste de initiële diameter is geweest. Op basis van deze minimale initiële diameter kan ook bepaald worden hoeveel uniforme corrosie er is opgetreden.

De gemiddelde uniforme dikteafname van de ankerstang (zonder schroefdraad) bedraagt voor BI-O: -0,59 mm

De negatieve waarde van de corrosie volgt uit het feit dat werkelijke diameter de bovengrens van de productietolerantie benaderd (44,8 mm) en dat dan in de gevolgde systematiek van dit onderzoek op de ankerstangen van de Roggebotsluis de initiële diameter niet wordt gecorrigeerd terwijl gerekend wordt met de nominale diameter (44,0 mm).

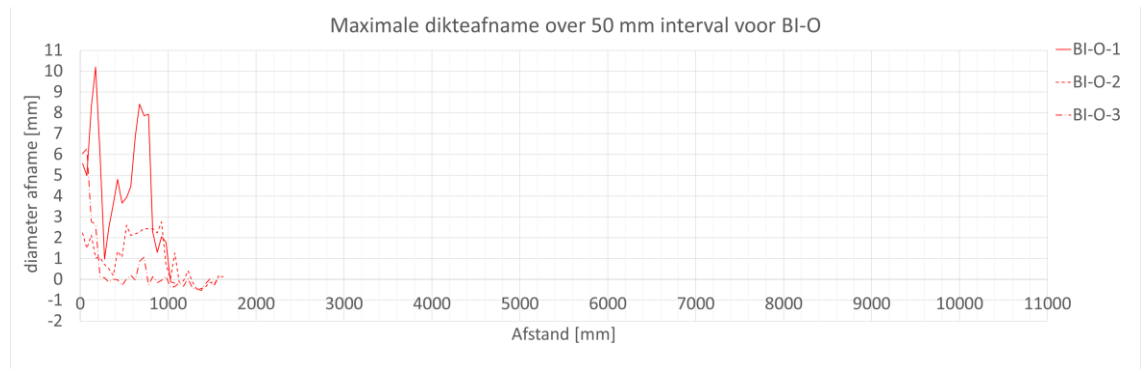
Dat betekent dus overigens dat wanneer wordt uitgegaan van de maximale uit de scanresultaten gereconstrueerde diameter de maximale dikteafname 10,93 mm is.

Tabel 7.2 Dikteafname per ankerstang BI-O-1 t/m BI-O-3 (Ø44 mm).

ID	Gemiddelde initiële diameter ankerstang op basis van scanresultaten [mm]	Gemiddelde uniforme corrosie [mm]
BI-O-1	44,48	-0,48
BI-O-2	44,63	-0,63
BI-O-3	44,61	-0,61
BI-O-1 t/m 3	44,59	-0,59

In Tabel 7.2 zijn de resultaten van de maximale dikteafname per 50 mm interval van de ankerstang secties van locatie Binnenhoofd-oost weergegeven. In verband met het ontbreken van de informatie konden de resultaten van de drie secties niet op de juiste

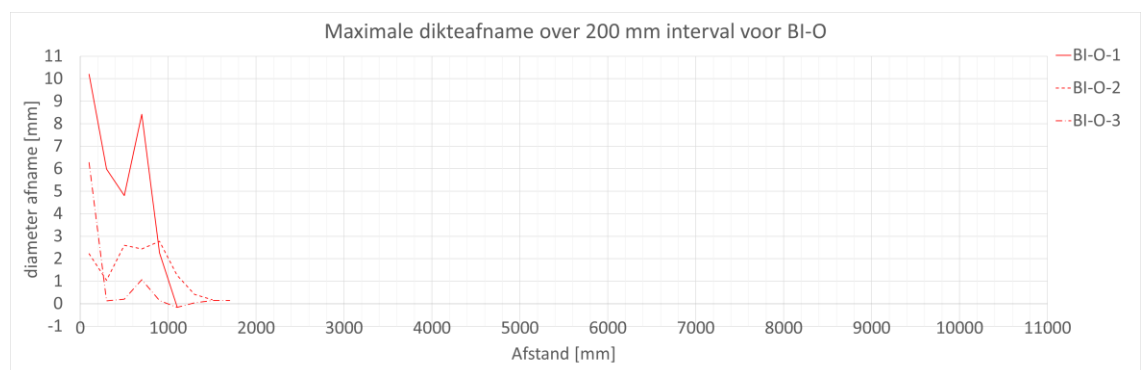
afstand van de damwand worden uitgezet. Ook is het mogelijk dat de oriëntatie van een meting gespiegeld kan zijn dan nu getekend.



Figuur 7.2 Maximale dikteafname per 50 mm interval voor de drie ankerstang secties locatie Binnenhoofd-oost.

7.2.2 Trend langs de ankerstang

Voor de ankerstang is de data gefilterd en zijn uitsluitend de maximale dikteafnames per 200 mm ankerstanglengte beschouwd. Deze is weergegeven in Figuur 7.3.



Figuur 7.3 Maximale dikteafname per 200 mm interval voor de drie ankerstang secties locatie Binnenhoofd-oost.

Aangezien de locatie van de drie secties en de oriëntatie niet bekend is kan er geen beschouwing gemaakt worden van een trend langs de ankerstang BI-O.

8 Eindstukken

In dit hoofdstuk is de analyse van de veiliggestelde ankerstangen met schroefdraad opgenomen. Er zijn 3 “eindstukken” beschikbaar welke afkomstig zijn van Binnen- en Buitenhoofd-west.

8.1 Foto's van de ankers

Hieronder zijn foto's van de “eindstukken” weergegeven.



Figuur 8.1 Foto ankerstangen met schroefdraad.



Figuur 8.2 Diameter gladde stang is gelijk aan diameter uitwendig schroefdraad.

In onderstaande tabel zijn de gegevens opgenomen van de eindstukken.

Tabel 8.1 Gegevens eindstukken.

Naam ankerstang eindstuk	Totale lengte [mm]	Lengte glad [mm]	Lengte schroefdraad [mm]	Diameter Nominaal [mm]	Naam archief
X7-eind	452	145	307	47	Eindstuk3
X8-eind	524	315	209	47	Eindstuk1
U1/2-eind	556	360	196	47	Eindstuk2

8.2 Analyse van de resultaten

Deze eindstukken hoefde vanwege de reeds korte lengte niet in secties te worden gezaagd. In verband met de aanwezigheid van de moer en ankerschotel wordt circa de eerste 0,1 m van de ankerstang niet in de beschouwing betrokken die bevindt zich namelijk in de moer en schotel.

De eindstukken bestaan uit circa 0,2 tot 0,3 m schroefdraad, het overige deel is glad staal.

Ten gevolge van het doorzagen van de ankerstangen zijn er aan de uiteinden van de secties soms beschadigingen opgetreden waardoor de inmeting een vertekend beeld geeft bij het analyseren van de inmeetdata is daarom, indien van toepassing, de data aan het begin of einde van de sectie, buiten beschouwing gelaten. Veelal gaat het dan om een zone van circa 1 cm.

De ankerstangen zijn geanalyseerd vanaf de damwandzijde (waterzijde) tot van de damwand af. Dit houdt in dat de maatvoering van de ankerstangen in langsrichting is ten opzichte van de damwand aan de waterzijde.

8.2.1 Dikteafname ankerstang

8.2.1.1 Ankerstangdeel zonder schroefdraad

Bij de beschouwing van het gladde deel van de ankerstangen, met een lengte van circa 30 cm, is geconstateerd dat de dikteafname circa 3,1 á 4,6 mm bedraagt en daarmee aansluit op de bevindingen zoals gerapporteerd in Hoofdstuk 5 en 6.

Tabel 8.2 Gemiddelde en maximale dikte afname eindstukken zonder schroefdraad.

Naam ankerstang-eindstuk	Naam ankerstang	Gemiddelde dikteafname gladde deel van eindstuk [mm]	Maximale dikteafname gladde deel van eindstuk [mm]
X7-eind	X7	4,02	4,55
X8-eind	X8	3,14	3,81
U1/2-eind	U1 of U2	3,29	4,03

8.2.1.2 Ankerstangdeel met schroefdraad

Voor de gegevens met betrekking tot de ankerstangen worden verwezen naar Hoofdstuk 2. Voorliggende paragraaf heeft alleen betrekking op het deel van de "eindstukken" welke is voorzien van schroefdraad.

De dikteafname van de schroefdraden bedraagt gemiddeld 4,9 mm en maximaal 10,1 mm.

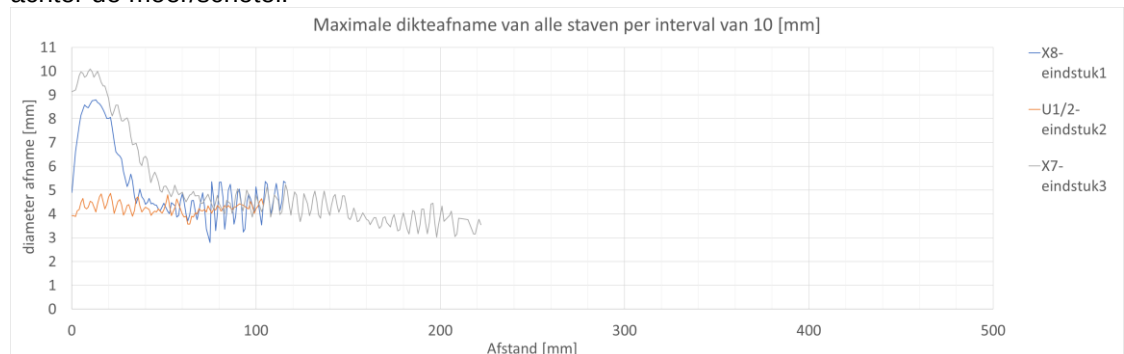
Tabel 8.3 Dikteafname per ankerstangschroefdraad eindstuk 1 t/m 3 ($D=\varnothing 47$ mm; $D_2=43,94$ mm⁽¹⁾).

ID	Lengte stang(en) [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname [mm]				Afstand tot maximale dikteafname [mm]
			Gem	St.dev	Min	Max	
X7-eind	310	38,84	5,10	1,87	3,03	10,09	10
X8-eind	215	38,66	5,28	1,60	2,79	8,80	13
U1/2-eind	200	39,69	4,25	0,26	3,57	4,87	21
Alle-eind	725	39,06	4,88	1,24	2,79	10,09	14

⁽¹⁾ Initiële diameter D_2 (behorende bij de spanningsdoorsnede), zie paragraaf 4.6 voor details.

Tabel 8.3 laat zien dat de locatie waar de maximale dikteafname is geconstateerd op een vaste plek van de ankerstang wordt geconstateerd, namelijk direct achter de schotel (ankerkop).

In Tabel 8.3 zijn de resultaten van de dikteafname van het schroefdraad van de eindstukken weergegeven. Beginpunt van de horizontale as ($x = 0$ mm) komt overeen met het uiteinde van de ankerstang (~waterzijde moer) over de circa eerste 100 mm zijn geen metingen vanwege de aanwezigheid van de moer en schotel. Daarom is $X=0$ aangehouden als direct achter de moer/schotel.



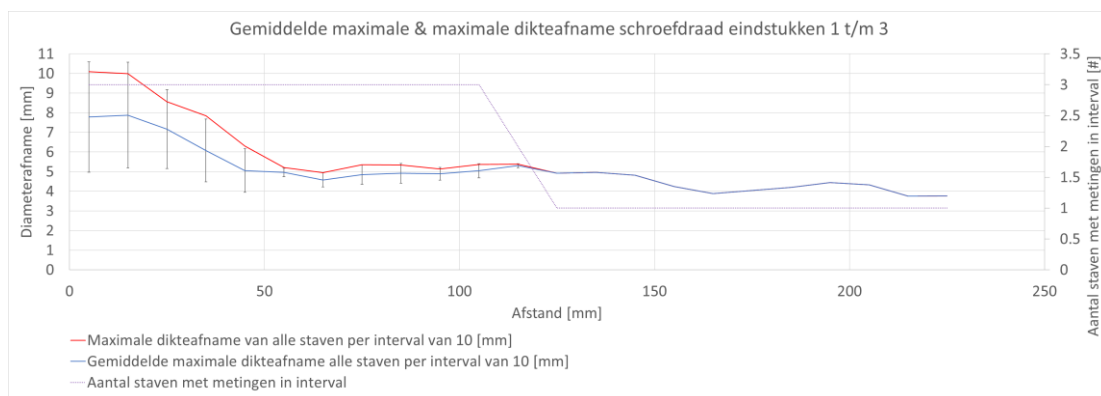
Figuur 8.3 Dikteafname gedeelte met schroefdraad van de eindstukken.

Bij de X7 en X8 schroefdraad Binnenhoofd-west is in Figuur 8.3 direct achter de moer en schotel een insnoering aanwezig. Bij het U1/2 onderzochte schroefdraad Buitenhoofd-west was deze insnoering niet aanwezig. Dus 2/3 van de waarnemingen van deze beperkte steekproef laten een insnoering direct achter de schotel zien. Ook is het effect van het aanwezige schroefdraad zichtbaar in de 'slingering'.

Opgemerkt dat de aangetroffen "As-build" situatie op een zeer essentieel aspect afwijkt van het ontwerp. In het ontwerp was voorzien dat de schroefdraad circa 3 cm binnen de schotelconstructie zou eindigen en er dus geen schroefdraad direct in contact met de bodem zou staan.

8.2.2 Trend langs het schroefdraad deel van de ankerstang

Door de data te filteren en uitsluitend de maximale dikteafnames per 10 mm ankerstang lengte te beschouwen kunnen de standaarddeviatie van deze maxima en extreme waarde van de ankerstangen per 10 mm worden bepaald. Deze standaarddeviatie en extremen samen met de gemiddelde dikteafname zijn grafisch als functie van de afstand langs de stang weergegeven in onderstaande figuur waarbij is ingezoomd op het deel met schroefdraad. Bij de weergave is $X=0$ aangehouden als direct achter de moer/schotel.



Figuur 8.4 Trend in maximale en gemiddelde maximale dikteafname; eindstukken-schroefdraad.

9 Conclusies resultaat dikteafname metingen Roggebotsluis

9.1 Initiële diameter ankerstangen

Alhoewel tekeningen beschikbaar zijn waarop de ankerstangen en ankerstangdiameters zijn vermeld blijkt uit de metingen dat bijvoorbeeld de ankers met diameter 44 mm conform tekening niet zijn toegepast aangezien de gemeten diameter circa 46,5 mm bedraagt. Er is geen aanvullende As-build informatie beschikbaar over de daadwerkelijke initiële (nominale) diameter. Op basis van de beschikbare gegevens (tekening en metingen) is daarom een methode gebruikt waarmee is bepaald wat naar verwachting de initiële (nominale) diameter is geweest bij realisatie in 1955. Er is daarom enige onzekerheid over de initiële diameter en daarmee afgeleide diameter afname in de tijd.

Ten opzichte van de nominale diameter is er sprake van een mogelijke productietolerantie. Het is niet bekend hoeveel deze tolerantie in 1955 bedroeg. Op basis van actuele normen zou deze tolerantie +/- 0,8 of 1,0 mm bedragen op de diameter. In de berekening van de dikteafname wordt gerekend met de nominale waarde van de diameter; met andere woorden de gemiddelde productietolerantie = 0 mm. Echter indien de maximale gemeten diameter buiten de grenzen van de productie toleranties is gelegen is de initiële nominale diameter aangepast ten opzichte van de waarde op tekening naar de maximale gemeten waarde (naar boven afgerond op millimeters). Omdat gemiddeld genomen er ook bij de maximale diameter ook enige "uniforme" corrosie zal zijn opgetreden resulteert deze aanpak niet in een systematische overschatting van de dikteafname.

Indien de maximale gemeten diameter van een staaf wel groter was dan de nominale waarde op tekening maar binnen de fabricagetoleranties lag is de nominale waarde zoals op tekening toegepast, deze aanpak heeft als consequentie dat er dan ook negatieve waarden van de dikteafname voorkomen in de analyses. Deze aanpak leidt niet tot een systematische overschatting van de dikteafname. Echter bij een individuele staaf kan er wel een afwijking bestaan. Toevalligerwijs is dat het geval bij de staaf met de grootste diktafname van 10,2 mm. Deze zou, indien was uitgegaan van de grootste gemeten diameter van de staaf die 0,7 mm groter was dan de nominale waarde, geresulteerd hebben in een dikteafname van 10,9 mm.

Geconcludeerd wordt dat de gehanteerde aanpak voor de keuze van de nominale waarde voor de bepaling van de dikteafname niet leidt tot een systematische overschatting van de opgetreden dikteafname op basis van de metingen.

9.2 Dikteafname

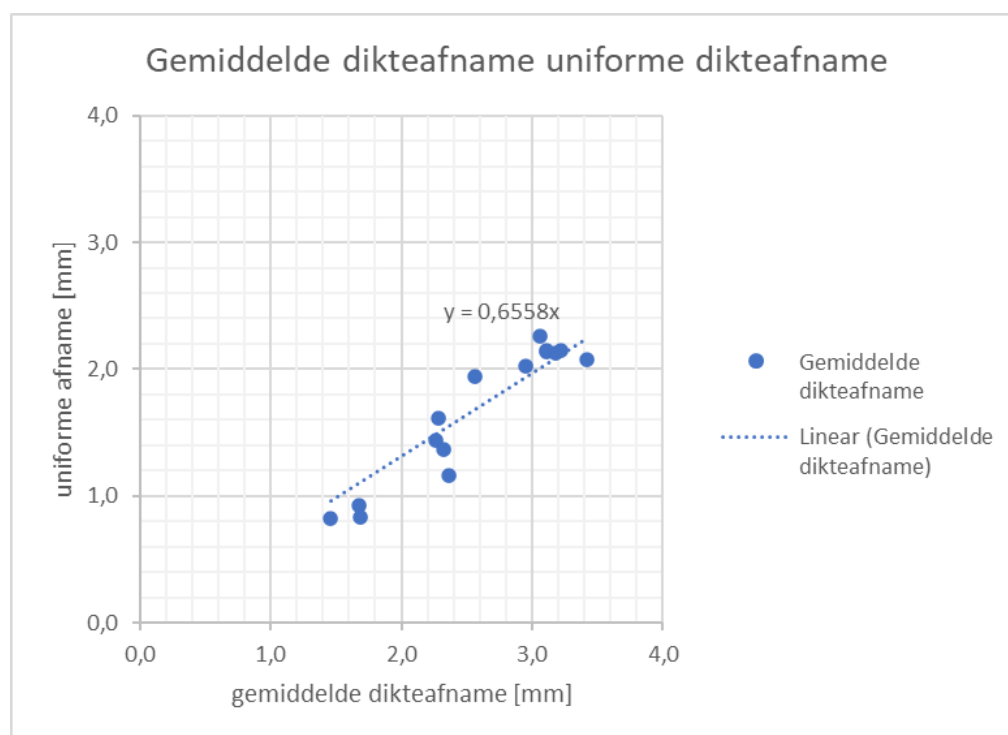
9.2.1 Ankerstangen zonder schroefdraad

In Tabel 9.1 zijn de belangrijkste resultaten van de ankerstangen per locatie en van alle ankerstangen tezamen samengevat. De geanalyseerde ankerstangen hebben een lengte die varieert tussen circa 2 en 11 m voor de westzijde ankers, circa 0,5 m voor de eindstukken en 1 tot 1,6 m voor de oostzijde ankers. In totaal zijn op 16 ankerstangen diktemetingen uitgevoerd, met een totale onderzochte lengte van 125 m. Het onderzochte deel van ankerstangen start op circa 0,4 m achter de damwand dit is waar in-situ de zaagsnede is gemaakt.

Tabel 9.1 Dikteafname 67 jaar oude ankerstangen (zonder schroefdraad).

Locatie	Ankerstangen					Dikteafname [mm]				
	ID	Coating	Aantal [#]	Totale lengte [m]	D _{ini} [mm]	Max	Gem	Min	St.dev	Uniform deel
Buiten- hoofd- west	U1-3	Teer	3	30,30	47	4,23	1,61	0,68	0,52	0,86
	U4-5	Teer	2	21,55	52	6,94	2,42	1,28	0,67	1,78
	U6-8	Teer	3	30,96	57	8,14	3,22	2,23	0,75	2,16
Binnen- hoofd- west	X1-4	Teer	4	13,04	52	5,29	3,10	2,13	0,46	2,11
	X6-8	Teer	3	22,64	47	8,70	2,31	0,89	1,14	1,36
Binnen- hoofd- oost	BI-O	Teer	1	4,24	44	10,20	0,97	-0,65	2,03	-0,59
Alles	-	Teer	18	124,73	-	10,20	2,41	-0,65	1,06	1,51

In Figuur 9.1 is de gemiddelde corrosie uitgezet tegen de uniforme corrosie van Buitenhoofd-west en Binnenhoofd-west. Hieruit blijkt dat circa 65 % van de totale corrosie uniform (rondom) is. Het overige deel, circa 35 %, is lokale (put)corrosie. De resultaten van Binnenhoofd-oost zijn niet opgenomen in Figuur 9.1 omdat die afkomstig zijn van metingen op 3 a-select gekozen delen van een ankerstang, tezamen 40% van de totale ankerstang.



Figuur 9.1 Gemiddelde als functie van de uniforme dikteafname van de ankerstangen Buitenhoofd- en Binnenhoofd-west.

9.2.2 Ankerstangen met schroefdraad

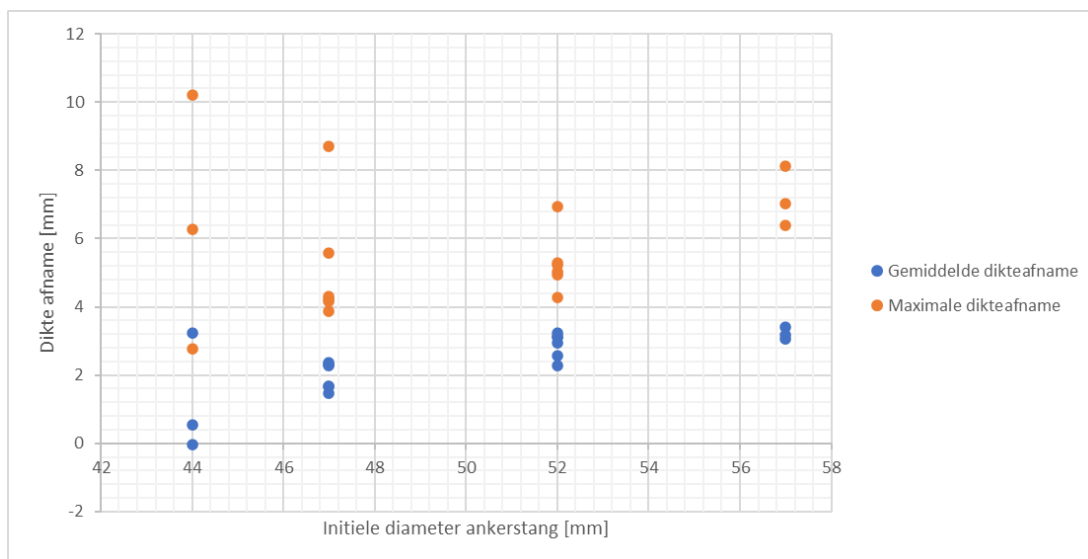
In Tabel 9.2 zijn de belangrijkste resultaten van de dikteafname van schroefdraad samengevat. De geanalyseerde ankerstangen hebben een lengte van circa 0,5 m waarvan 0,2 tot 0,3 m uit schroefdraad bestaat, Tabel 9.2 gaat alleen in op deze stukken schroefdraad.

Tabel 9.2 Dikteafname schroefdraad 67 jaar oude ankerstangen, Buiten- en Binnenhoofd-west.

Ankerstangen schroefdraad					Dikteafname [mm]				Afstand max dikteafname [mm]
ID	Coating	Aantal [#]	Totale lengte [m]	D _{ini} (D _{z,ini}) [mm]	Max	Gem	Min	St.dev	
U1/2-eind, X7 en X8-eind	Teer	3	0,73	47 (43,94)	10,09	4,88	2,79	1,24	14

9.3 Relatie dikteafname met initiële diameter

In Figuur 9.2 is voor de ankerstangen zonder schroefdraad de relatie tussen de initiële diameter en de dikteafname op de ankerstang weergegeven. Hierbij lijkt er sprake te zijn van de lichte trend dat bij de toenemende diameter de gemiddelde corrosie toeneemt.

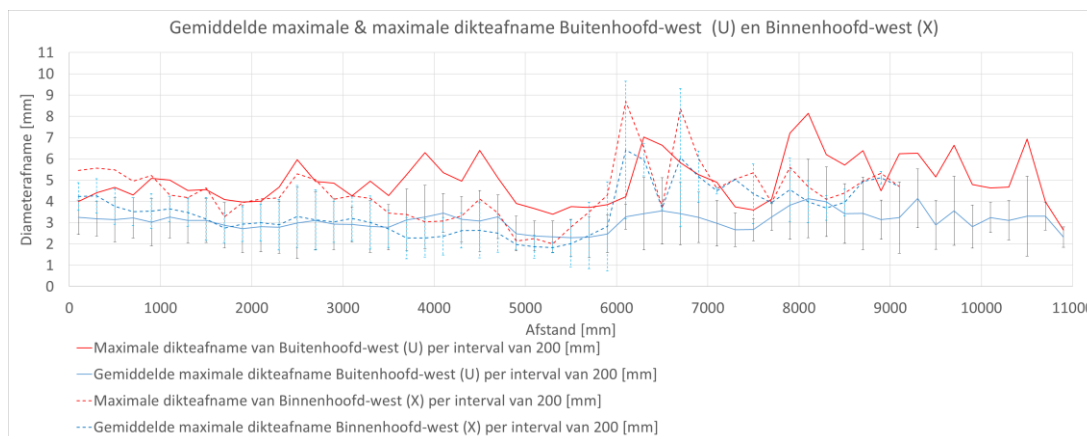


Figuur 9.2 Relatie tussen initiële diameter en dikteafname ankerstang, Buiten- en Binnenhoofd-west.

9.4 Trends langs ankerstang

9.4.1 Buiten en Binnenhoofd-west

In Figuur 9.3 zijn de per 200 mm ankerstanglengte bepaalde maximale dikteafnames en gemiddelde maximale dikteafnames over alle stangen weergegeven van de ankers in locatie Buiten- en Binnenhoofd-west. Er is geen generieke trend aanwezig het beeld van Figuur 9.3 laat zien dat er gedeelten tot enige meters lang zijn waar geen grote extremen zijn optreden.



Figuur 9.3 Maximale (extremen) en gemiddelde maximale dikteafnames per 200 mm ankerstanglengte voor locaties Buiten- en Binnenhoofd-west.

9.4.2 Binnenhoofd-oost

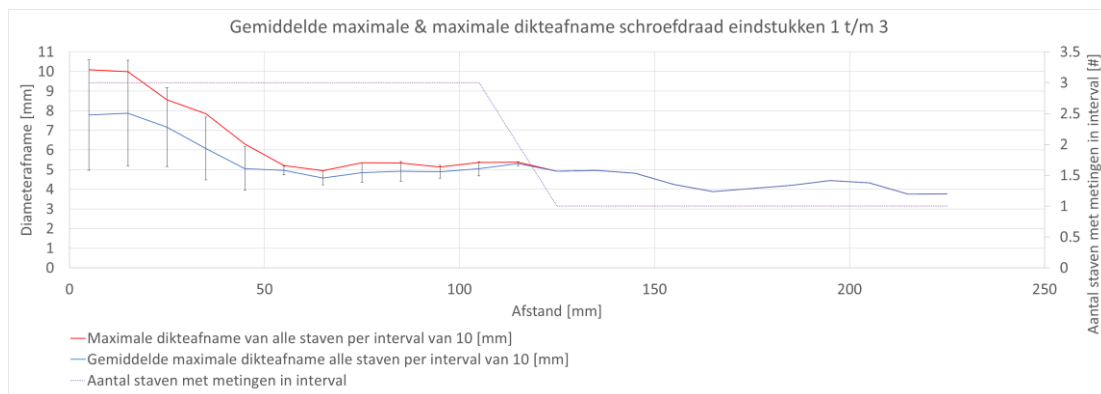
Aangezien slechts drie ankerstangsecties van één ankerstang zijn geanalyseerd en de locatie van de ankerstangsecties en de oriëntatie niet bekend is kan er geen beschouwing gemaakt worden van een trend langs de ankerstang.

9.4.3 Eindstukken ankerstang met schroefdraad

Op basis van de waarnemingen is duidelijk dat achter de ankerschotel een relatief grote dikteafname aanwezig is. Bij de visuele inspectie is dit waarneembaar als insnoering.

Op basis van de 2 waarnemingen (X8-eind en X7-eind) kan voor Binnenhoofd-west gesteld worden dat van alle daar onderzochte schroefdraden de maximale dikteafname direct achter de ankerschotel is waargenomen. Bij het ene onderzochte schroefdraad Buitenhoofd-West was deze insnoering niet aanwezig. Dus 2/3 van de waarnemingen van deze beperkte steekproef laten een insnoering direct achter de schotel zien. De trendlijn van de maximale (extremen) en gemiddelde maximale dikteafname (over de 3 eindstukken) zijn gegeven in Figuur 9.4.

Opgemerkt dat de aangetroffen As-build situatie op een zeer essentieel aspect afwijkt van het ontwerp. In het ontwerp was voorzien dat de schroefdraad circa 3 cm binnen de schotelconstructie zou eindigen en er dus geen schroefdraad direct in contact met de bodem zou staan.

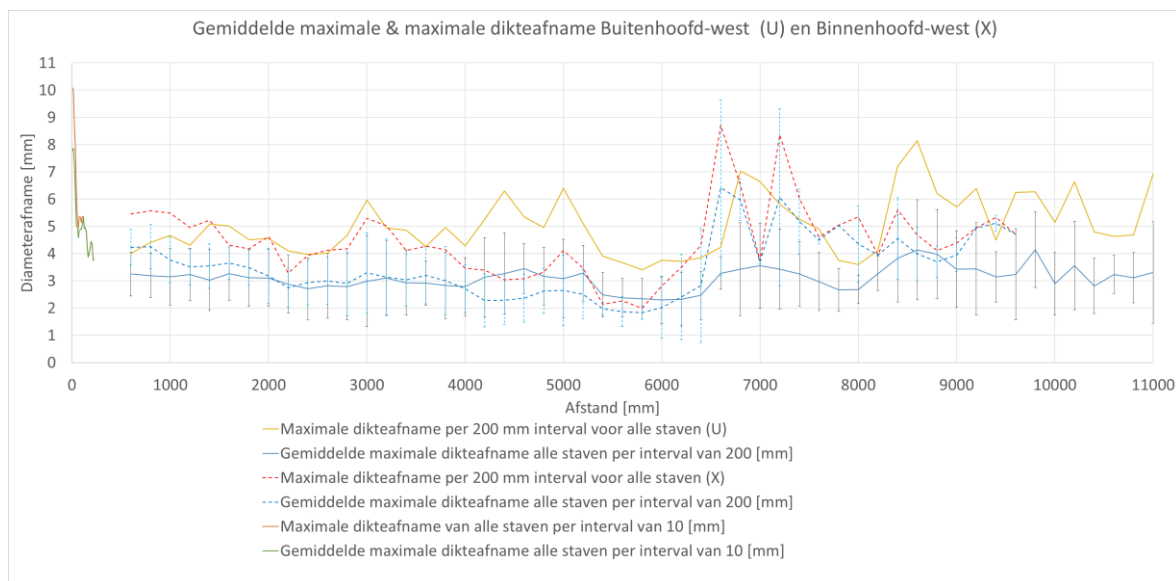


Figuur 9.4 Dikteafname gedeelte met schroefdraad van de eindstukken.

9.4.4 Trend alle ankerstangen en eindstukken met schroefdraad

In Figuur 9.5 zijn de trendresultaten van de 3 eindstukken met schroefdraad en de 15 ankerstangen (X en U) in één figuur gezet. De oorsprong van de horizontale as in deze gecombineerde figuur ligt op de achterzijde van de ankerkopschotel. Figuur 9.5 geeft de visuele trend over de gehele ankerstang voor alle ankerstangen weer. Te zien is dat bij de 3 eindstukken de hoogste maximale dikteafname wordt geconstateerd.

Opgemerkt wordt dat het niet weergegeven deel tussen circa 200 en 500 mm het gladde deel van de eindstukken betreft waar tussen 3,1 en 4,6 mm dikteafname werd gemeten. Omdat het over slechts 3 secties ging voegt deze informatie nauwelijks iets toe ten opzichte van de overige lijnen van de ankerstangen U en X. Verder zijn de 3 secties van Binnenhoofd-oost zijn niet toegevoegd aan deze trendlijn omdat onbekend is waar en hoe deze secties zich in de totale ankerstang bevinden. Hier was een maximale dikteafname van 10,2 mm geconstateerd, zie H9.2.1.



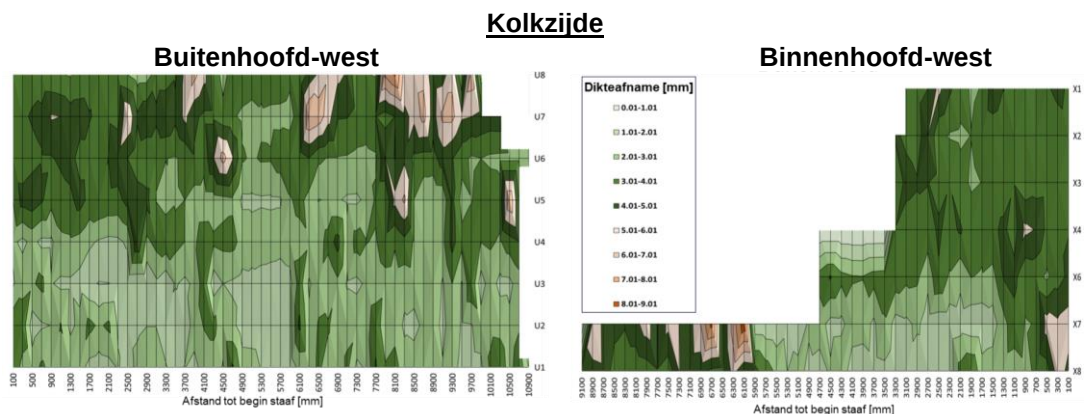
Figuur 9.5 Trend over alle ankerstangen en eindstukken met schroefdraad van Buitenhoofd-west en Binnenhoofd-west.

9.5 Trends qua Locatie

9.5.1 Buiten- en Binnenhoofd-west

In Figuur 9.6 is de dikteafname in bovenaanzicht weergegeven voor Buiten- en Binnenhoofd-west. Het overall beeld laat vooral zien dat er gebieden zijn waarin bij naast gelegen ankerstangen meer en minder dikteafname optreedt (gecorrleerd). Er is wel een verschil tussen de twee locaties het beeld bij Buitenhoofd-west laat het een afnemende trend vanaf de kolk zien en deze trend is er bij Binnenhoofd-west niet.

Alleen bij ankers X7 en X8 is direct achter de damwand een locatie aanwezig met relatief veel dikteafname aanwezig, dit is ook bij de eindstukken met schroefdraad van deze 2 ankers geconstateerd.



Figuur 9.6 Dikteafname in bovenaanzicht Buiten- en Binnenhoofd-west

9.5.2 Binnenhoofd-oost

Aangezien de locatie van de ankerstangen en de oriëntatie niet bekend is kan er geen beschouwing gemaakt worden van een trends het enige wat kan worden opgemerkt dat het stukken waren van de lange, verst van de kolk afgelegen ankerstang. Bij Binnenhoofd-west, zie Figuur 9.6 zijn bij de ankerstang X8 die het verst van de kolk lag ook delen met grote dikteafname aanwezig.

9.6 Relatie leeftijd en corrosie

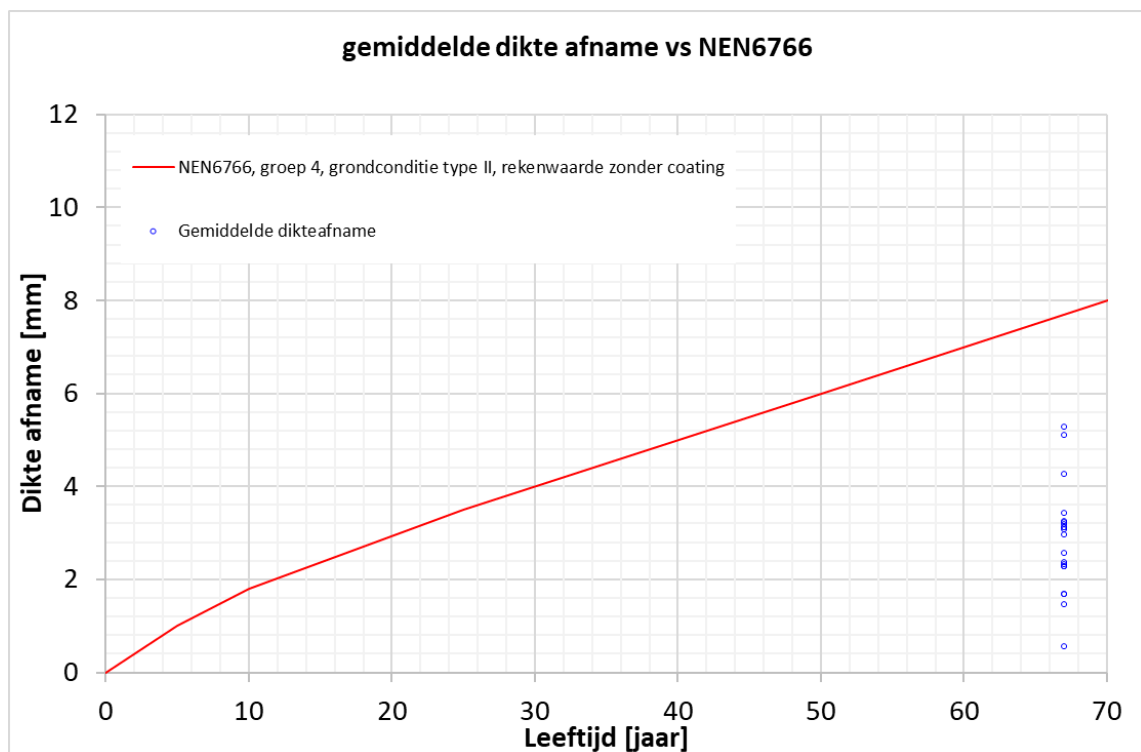
Aangezien alle ankerstangen van dezelfde leeftijd zijn kan een trend tussen leeftijd en corrosie niet worden beschouwd.

In totaal zijn op 16 ankerstangen diktemetingen uitgevoerd, met een totale onderzochte lengte van 125 m. In Figuur 9.7 t/m Figuur 9.10 is de leeftijd van de ankerstangen per locatie uitgezet tegen de waargenomen dikteafnames van de ankerstangen. Tevens is in deze figuren de rekenwaarde van de dikteafname conform NEN6766 (groep 4, grondtype II) voor staal zonder corrosie bescherming als lijn weergegeven ter referentie.

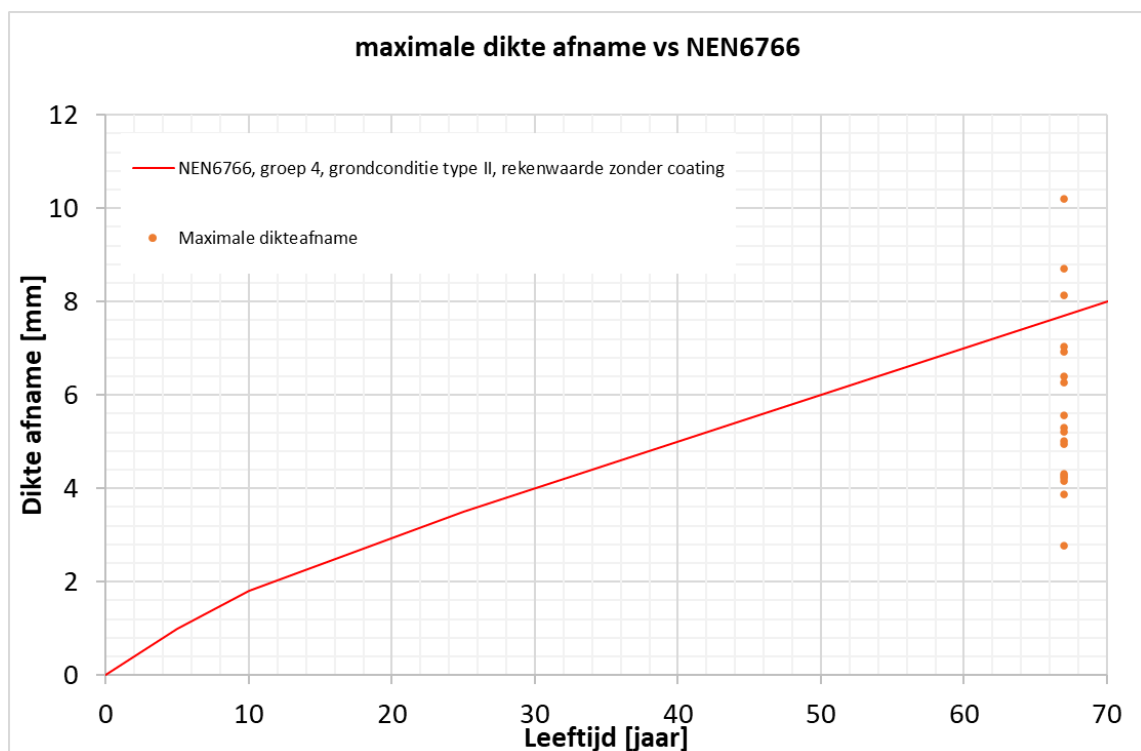
Opmerking

Let op bij vergelijking van de metingen met de rode lijn **Figuur 9.7 t/m Figuur 9.10** de rode lijn geeft namelijk de rekenwaarden voor dikteafname uit de NEN6766 voor onbeschermde stalen ankers weer. Echter de ankerstangen van de Roggebot Sluis zijn met teer beschermde stalen ankers.

In Figuur 9.7 zijn de gemiddelde dikteafnames van ieder van de 16 ankerstangen weergegeven en in Figuur 9.8 de maximale dikteafnames (extremen) van deze ankerstangen.

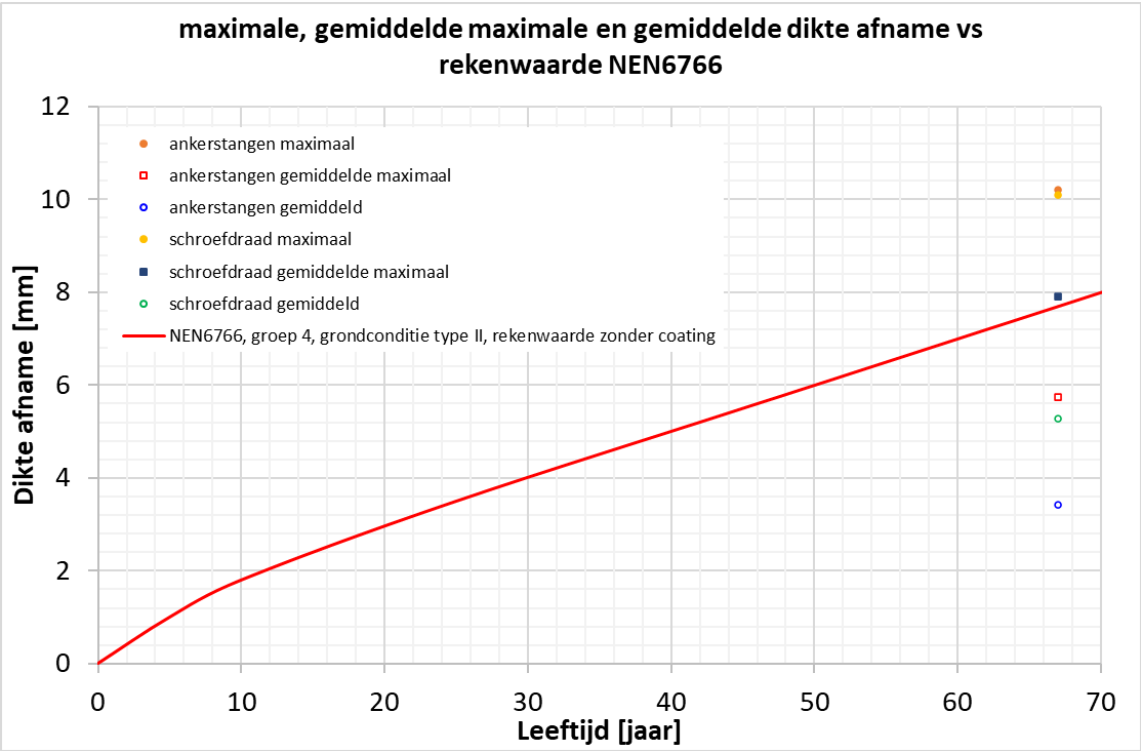


Figuur 9.7 Gemiddelde dikteafname van de onderzochte ankerstangen versus de leeftijd van de ankerstangen.



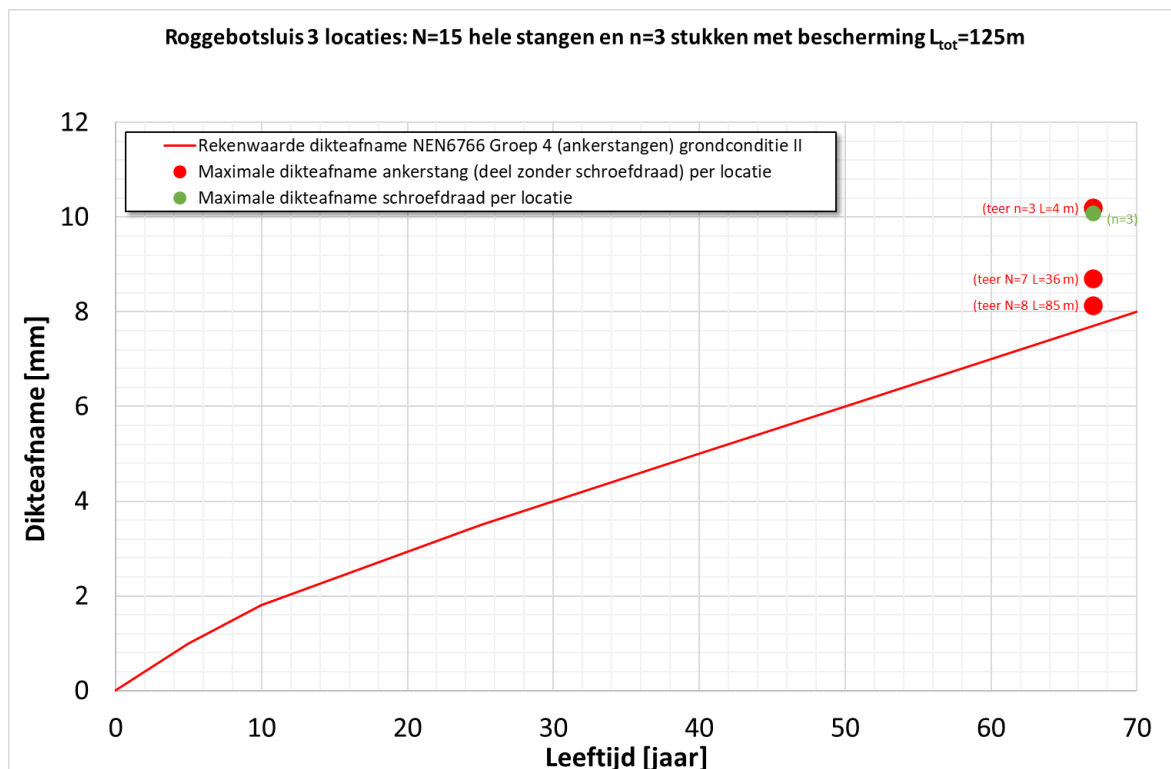
Figuur 9.8 Maximale dikteafname van de onderzochte ankerstangen vs de leeftijd van de ankerstangen.

In Figuur 9.9 zijn de maximale en de gemiddelde dikteafname van de hele populatie ankerstangen en schroefdraad weergegeven. Hierbij wordt opgemerkt dat de totale ankerstanglengte circa 125 m bedraagt en de schroefdraadlengte circa 0,5 m.



Figuur 9.9 Maximale, gemiddelde van de maxima en de gemiddelde dikteafname over hele populatie ankerstangen en schroefdraad.

Tot slot zijn alle resultaten van maximale dikteafnames samengevat in Figuur 9.10. Daarbij is relevante informatie over de onderliggende populatie ankerstangen toegevoegd.



Figuur 9.10 Maximale gemeten dikteafname met gegevens van populatie en rekenwaarde dikteafname conform huidige NEN6766 (groep 4 grondconditie II).

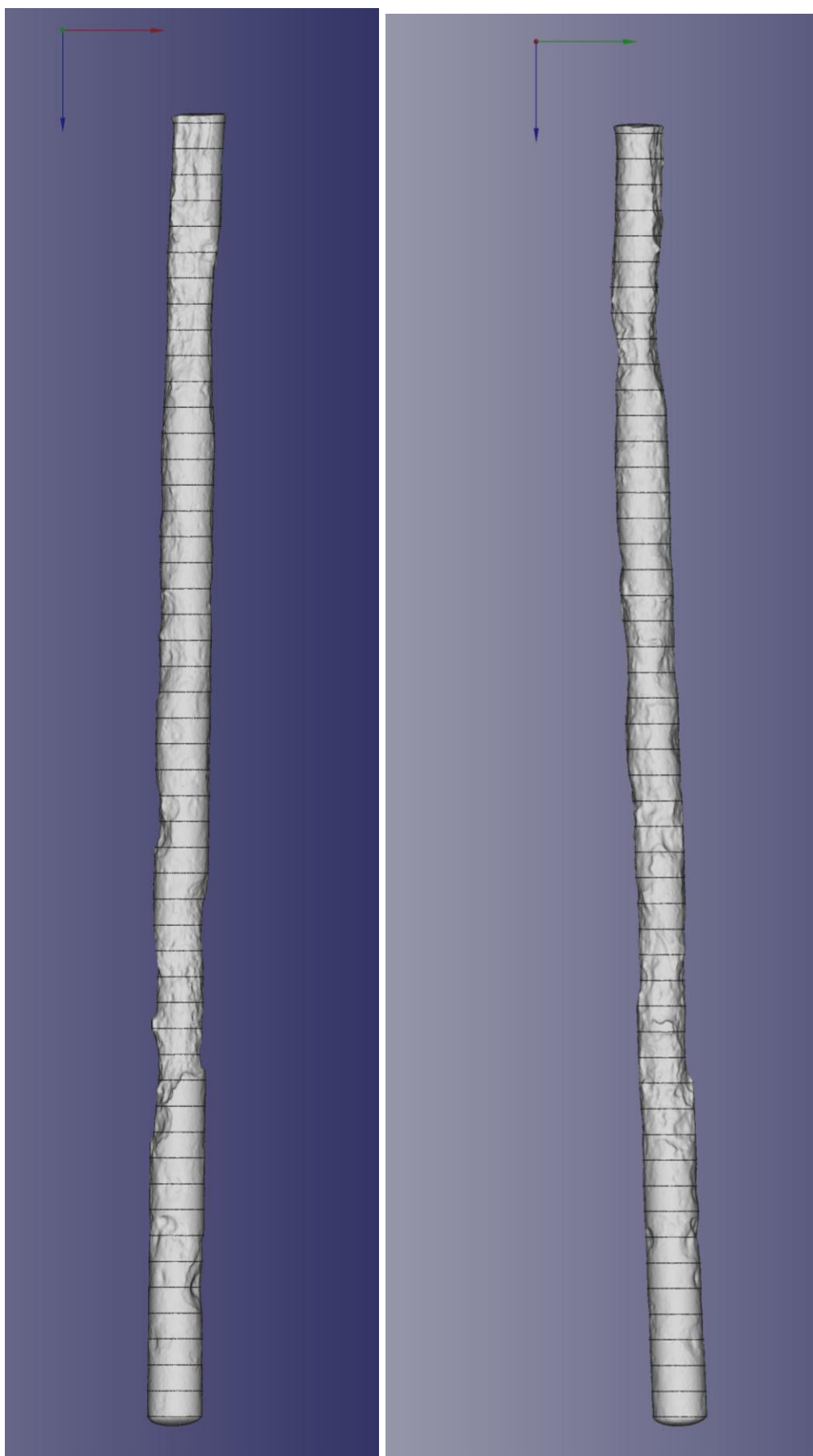
In Figuur 9.10 is te zien dat de zowel maximale gemeten dikteafname van de ankerstangen bij elk van de drie locaties als de maximaal gemeten dikteafname van de draadeinde boven de lijn met rekenwaarde van de dikteafname conform NEN6766 voor onbeschermd staal ligt.

Waarbij nog moet worden opgemerkt dat de in Figuur 9.10 weergegeven maximale dikteafname van 10,2 mm feitelijk 10,93 mm was omdat uit de metingen bleek dat de diameter van de stang 0,73 mm groter was dan de nominale waarde. Echter conform de in dit onderzoek gevolgde procedure is de initiële diameter niet verhoogd omdat de 0,73 mm binnen de fabricage toleranties lag.

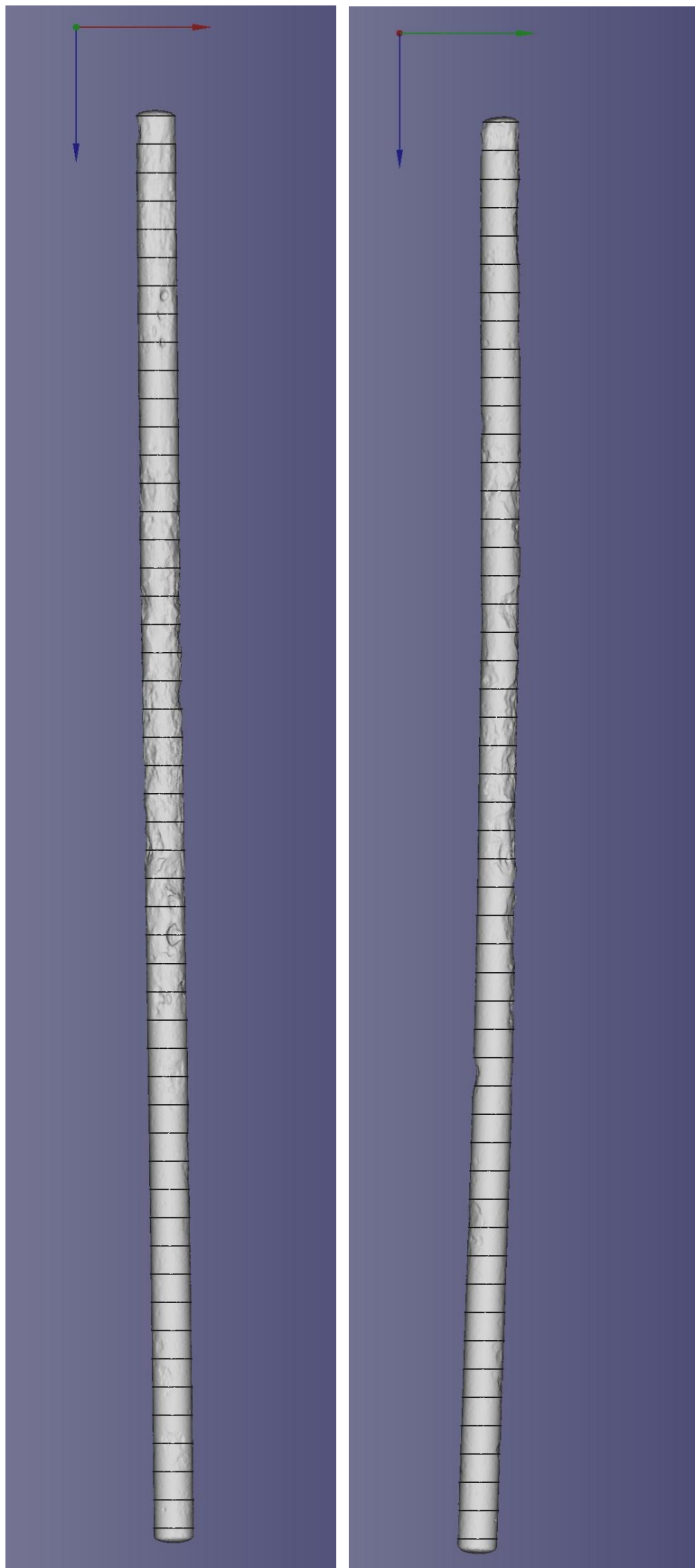
9.7 Beeld maximale corrosie

Bij alle stangen is sprake van een combinatie van uniforme corrosie lokaal sterkere (put)corrosie. Van alle ankerstangen zijn 3D modellen beschikbaar.

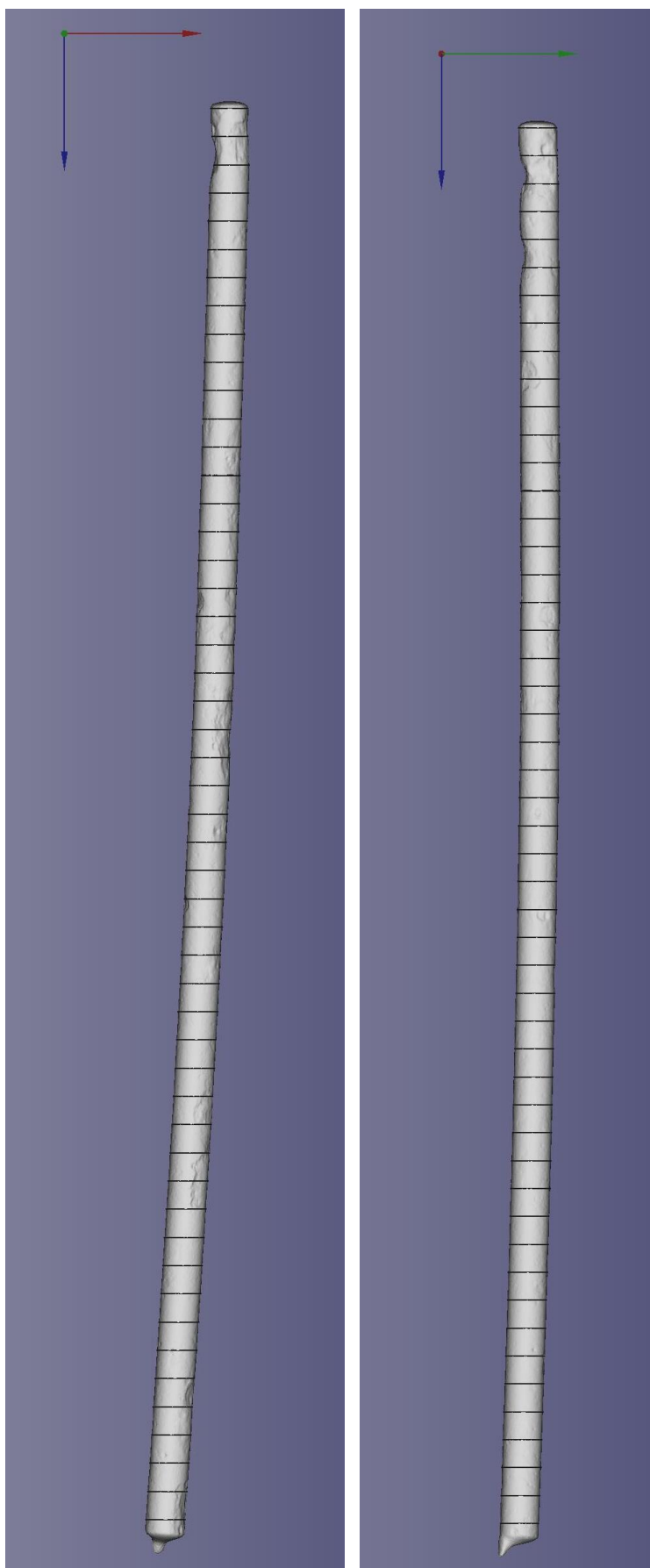
In Figuur 9.11 t/m Figuur 9.13 zijn ter illustratie 3D-weergaven van scans van een aantal stukken ankerstangen van Binnenhoofd-oost weergegeven.



Figuur 9.11 Links ankerstang BI-O-1 X-as, rechts ankerstang BI-O-1 Y-as.



Figuur 9.12 Links ankerstang BI-O-2 X-as en rechts ankerstang B-O-2 Y-as.



Figuur 9.13 Links ankerstang BI-O-3 X-as en Rechts ankerstang BI-O-3 Y-as.

A Ankerstang locaties en gegevens

Op basis van de geleverde en verzamelde informatie lijkt er in het algemeen sprake van een constructieve oplossing met ankers die vastgemaakt zijn aan een damwand. Het anker (leganker) is aan de achterzijde gekoppeld aan een ankerwand of is verankerd aan de betonnen constructie van de sluis.

De sluis is 70 jaar geleden ontworpen en is in juli 1956 in bedrijf gegaan. De ontwerplevensduur was 100 jaar.

A.1 Inspectie oktober 2022

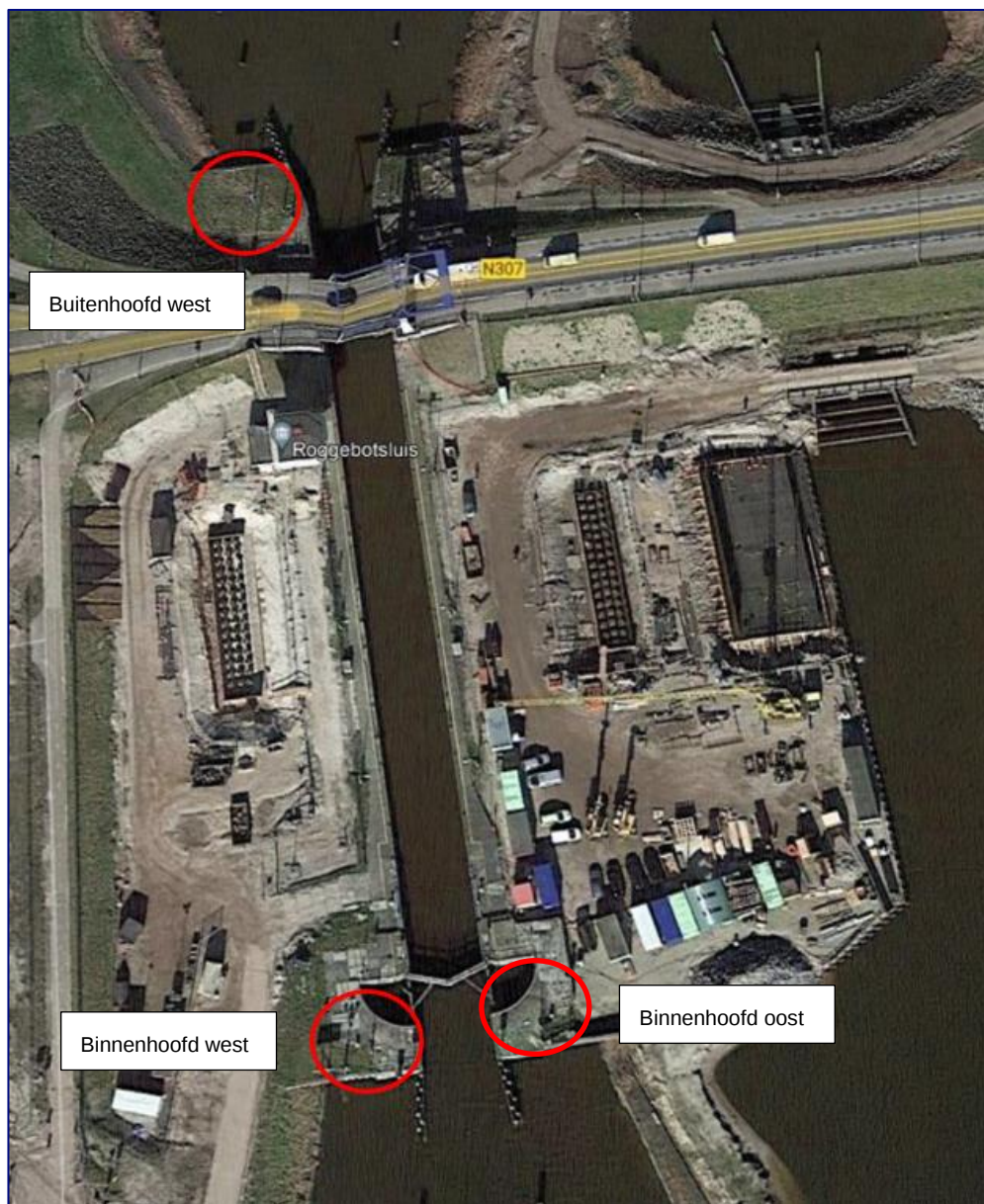
[PDF-rapport 11207401-017-HYE-0001 'Inspectie ankers Roggebotsluis' dd 14 oktober 2022]

A.2 Inspectie April-mei 2023

A.2.1 Informatie algemeen

Als vervolg op de inspectie van twee ankers van de Roggebotsluis op 7 oktober 2022, zijn er op 3 en 4 april en 15 mei 2023 wederom inspecties uitgevoerd en zijn er in totaal zestien ankers gedemonteerd/verwijderd en getransporteerd naar de labs van Deltares te Delft.

De ankers bevonden zich allen aan de westzijde. Dit wordt aangeduid met 'Binnenhoofd-west' of 'Buitenhoofd-west'. In onderstaande figuur aangegeven met de rode cirkels.



Figuur A.1 Ankerstang locaties Binnenhoofd (onder) en Buitenhoofd (boven).

A.2.2 Binnenhoofd-west

In totaal bevonden zich er 8 ankers aan deze zijde :

- 2 lange van zo'n 10 meter.
- 6 kortere van zo'n 4-5 meter.

De ankers bevonden zich zo'n twee meter onder het maaiveld en liepen iets schuin naar beneden weg. De lange ankers van zo'n 10 m waren verzonken in een betonnen muurtje. De korte ankers zaten in de grondzijde vast aan de betonnen fundering met een scharnierende oogverbinding.

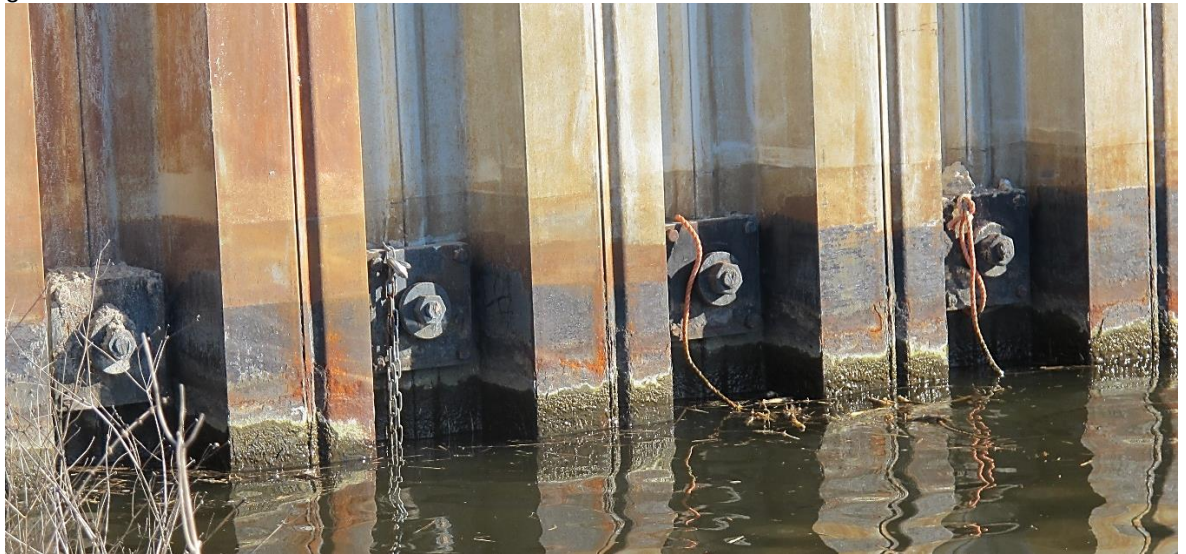


Figuur A.2 Oogverbinding met ankerwand (zijaanzicht links, bovenaanzicht rechts).



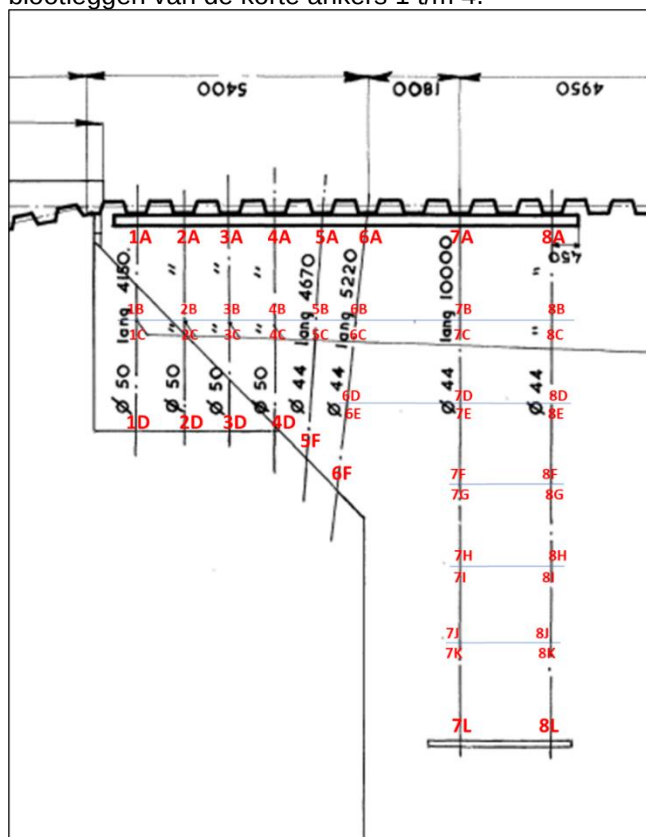
Figuur A.3 Muurbevestiging na verwijderen ankerroog.

Aan de damwandzijde staken de ankers door de damwand heen en zaten aangetrokken met een moer. De ankers bevonden zich ongeveer 50 cm boven de waterspiegel. Doordat ze schuin wegliepen, zat het achterste gedeelte van met name de lange ankers in wat nattere grond.



Figuur A.4 Bevestiging aan de damwandzijde.

De werkzaamheden zijn uitgevoerd op 3 en 4 april 2023. Op 3 april is begonnen met het blootleggen van de korte ankers 1 t/m 4.



Figuur A 5 Schets van het bovenaanzicht van de ankers Binnenhoofd-west, inclusief nummering.



Figuur A.6 Anker 1 t/m 4 gezien richting de damwand.

De graafmachine heeft bij het ontgraven licht de ankers aangeraakt, waardoor er hier en daar wat lichte beschadigingen zijn.



Figuur A.7 Beschadiging tgv graafwerkzaamheden.

Om de stangen zit een laag zand van zo'n twee cm die stevig aanvoelt en ook harder is. In het vorige verslag werd dit aangeduid als zijnde een roestlaag. De laag direct om de ankers is zwartig. Er zijn samples van zowel de laag zand om de ankers als van de laag direct op de ankers genomen.

Op de ankers is te zien dat daar waar de coating (Teer?) weg is, de corrosie dieper is opgetreden. Er zit een reliëf van 0,5-1 mm in.



Figuur A.8 Detail van een anker en afgebrokkelde stukken van de laag om het anker en met sample zakje.

De ankers gaan door een gording aan de binnenkant van de damwand en zitten met een moer en ring vastgetrokken. Bij twee ankers is het gelukt om dit stuk dat door de damwand gaat te bemachtigen en mee te nemen. Het gedeelte direct achter de moer en ring is duidelijk ingesnoerd



Figuur A.9 Detail van de montage door de damwand.



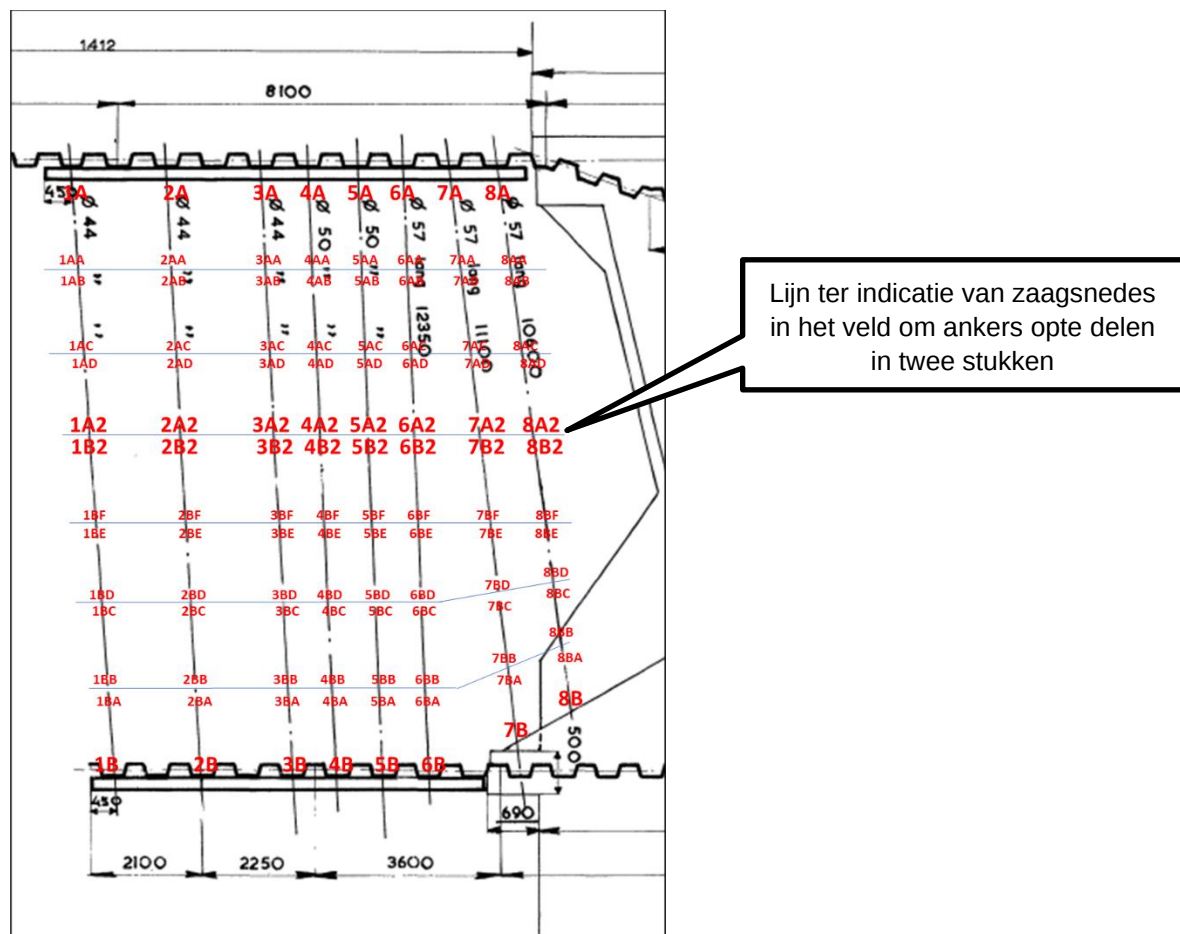
Figuur A.11 Uiteinde van een anker met moer en 'ring'



Figuur A.10 Montageplaat door damwand

A.2.3 Buitenhoofd-west

Aan deze zijde zaten er 8 ankers met een minimale lengte van 10,6 m en een maximale lengte van 12,35 m.



Figuur A.12 Schets van het bovenaanzicht van de ankers Buitenhoofd-west, incl nummering.

De situatie is vergelijkbaar met de Binnenhoofd-zijde: zanderige grond om de ankers, iets schuin weglappend naar beneden vanaf de damwand gezien en zo'n twee meter onder het maaiveld. Aan de damwandzijde is de afstand tot het waterniveau zo'n 0,5 m.



Figuur A.13 Situatie Buitenhoofd-Zuid (links op foto hoofdwand, rechts op foto ankerwand).

De ankers zitten aan de damwandzijde op dezelfde manier gemonteerd als aan de Binnenhoofd-zijde het geval is.



Figuur A 14 Montage aan de buitenzijde van de damwand.

Ankers 1 t/m 6 zitten verankerd door een damwandconstructie en 7 en 8 zitten aan het beton van de sluis verankerd met een oogverbinding.



Figuur A 15 Verankering van de ankers Buitenhoofd-Zuid.

De werkzaamheden op locatie zijn uitgevoerd op 15 mei 2023. Aan deze zijde heeft de graafmachine een relatief dunne laag van zo'n 10 cm laten liggen op de ankers, over een groot deel van het middengebied. Aan de uiteinde bij de damwand is omzichtig omgegaan met het materiaal en was een smalle strook blootgelegd. De ankers waren hier redelijk goed toegankelijk. Aan de verankeringszijde moest handmatig zand weg geschept worden om zo de ankers ter plaatse te kunnen doorslijpen. De ankers zijn in het midden tevens handmatig blootgelegd en doorgeslepen, zodat er stukken overbleven van 4,5 en 6 m. Aan deze stukken zijn vervolgens spanbanden bevestigd en met een graafmachine zijn de stukken uit de resterende zandlaag getrokken. Op deze manier is de beschadiging geminimaliseerd. De ankerstukken zijn in het veld genummerd, zodat locatie en oriëntatie vastgelegd zijn.



Figuur A.16 Ankerstangen gemarkeerd, verzameld en klaar om opgehaald te worden voor transport.

B Tekeningen damwanden en ankers

[PDF-rapport Bijlage B Alle civieltechnische tekeningen sluis selectie tbv rapport]

C Initiële diameters ankerstangen

[PDF-bestand invoegen met de samenvatting van de beschouwing van de minimale initiële diameters]

D Initiële diameters schroefdraad

[PDF-bestand invoegen met de beschouwing van de initiële diameter ter plaatse van het schroefdraad]

E Resultaten 3D-scan en dikteafname Buitenhoofd

E.1 Algemeen

Van elke ankerstang is een 3D model beschikbaar. Hiervan is een grafische weergave beschikbaar.

Voor elke ankerstang worden verder de volgende resultaten geleverd die gerelateerd zijn aan de elke mm bepaalde dwarsdoorsnede langs de ankerstang:

Tabel E.1 Parameters

Parameter	Toelichting
Mean radius	Gemiddelde straal in de cross section
Min radius from origin	Kleinste straal in de cross section berekend van het middelpunt tot omtrek
Max radius from origin	Grootste straal in de cross

Hieronder volgt een nadere toelichting van de diverse parameters:

Gemiddelde straal.

De gemiddelde straal geeft de op dit moment resterende dikte van de ankerstang. De theoretische diameter van de ankerstang voor deze locatie is gelijk aan 2x de gemiddelde straal. Op basis hiervan kan een indicatie worden verkregen van de opgetreden corrosie door de dikteafname ten opzichte van de initiële oorspronkelijke diameter te bepalen.

$$r_{\text{gem}} = (\text{doorsnede A} / 0,25 / \pi)^{0,5}$$

Minimale straal.

In een doorsnede wordt de minimale straal bepaald. Het verschil tussen de gemiddelde straal en de minimale straal geeft aan hoe diep het anker op die locatie is gecorrodeerd. Wordt die waarde lokaal hoger dan is er mogelijk sprake van een grotere lokale corrosie, met name als de maximale straal nauwelijks verandert. De gemiddelde straal – minimale straal is dus een parameter die kan aangegeven of sprake is van homogene of een lokale corrosie.

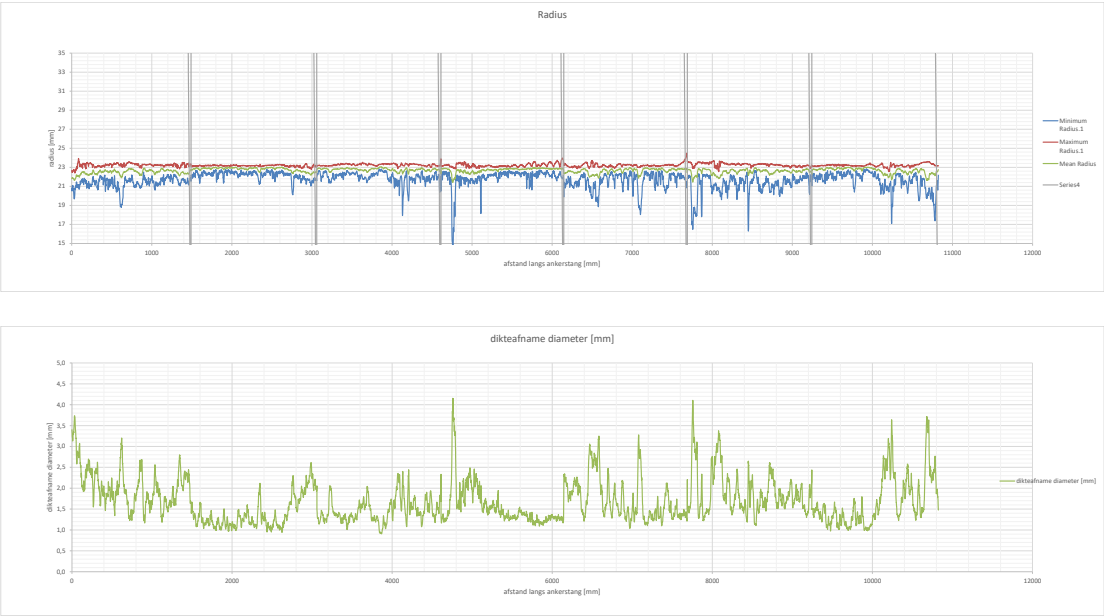
Maximale straal.

In een doorsnede wordt de maximale straal bepaald. De maximale straal is groter dan het gemiddelde. Soms is het anker beschadigd door bijvoorbeeld uitgraaf werkzaamheden en is dit in de maximale straal zichtbaar door ofwel een lokale afname of toename.

E.2 Buitenhoofd west

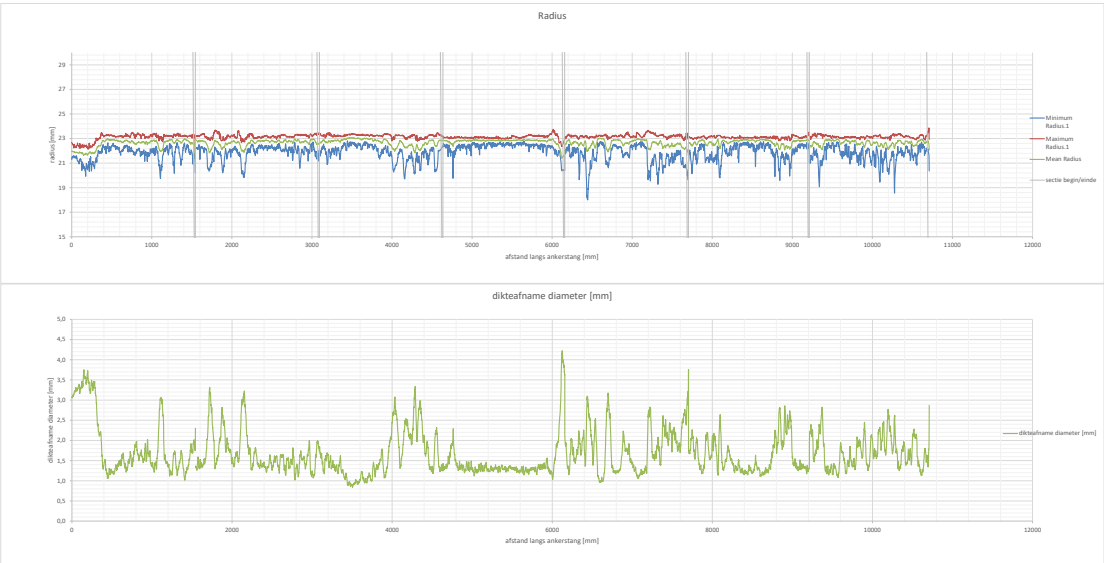
E.2.1 U1

Figuur E.1 U1.



E.2.2 U2

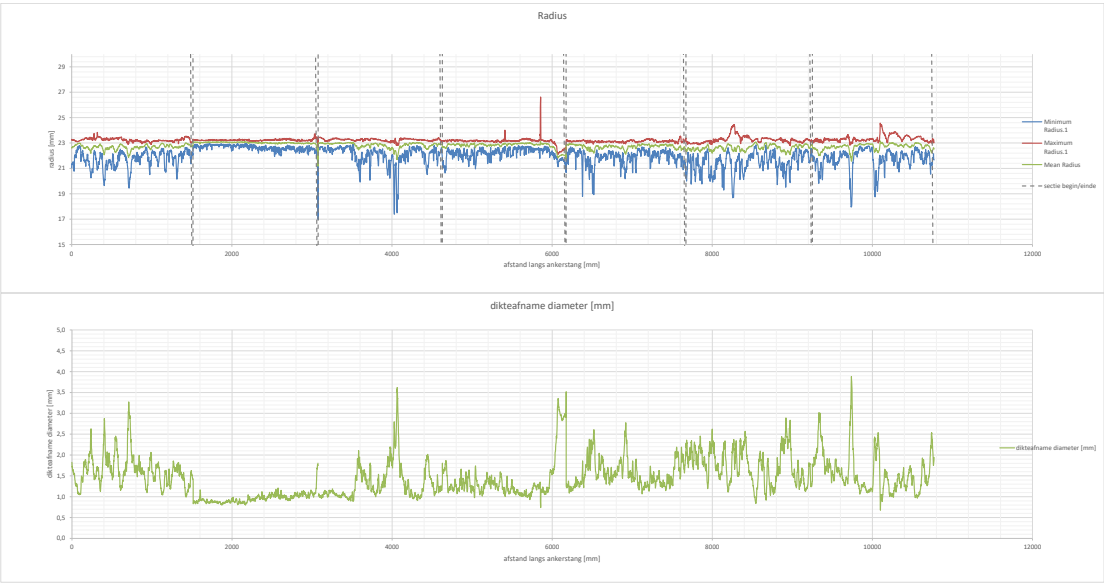
Figuur E.2 U2.



E.2.3

U3

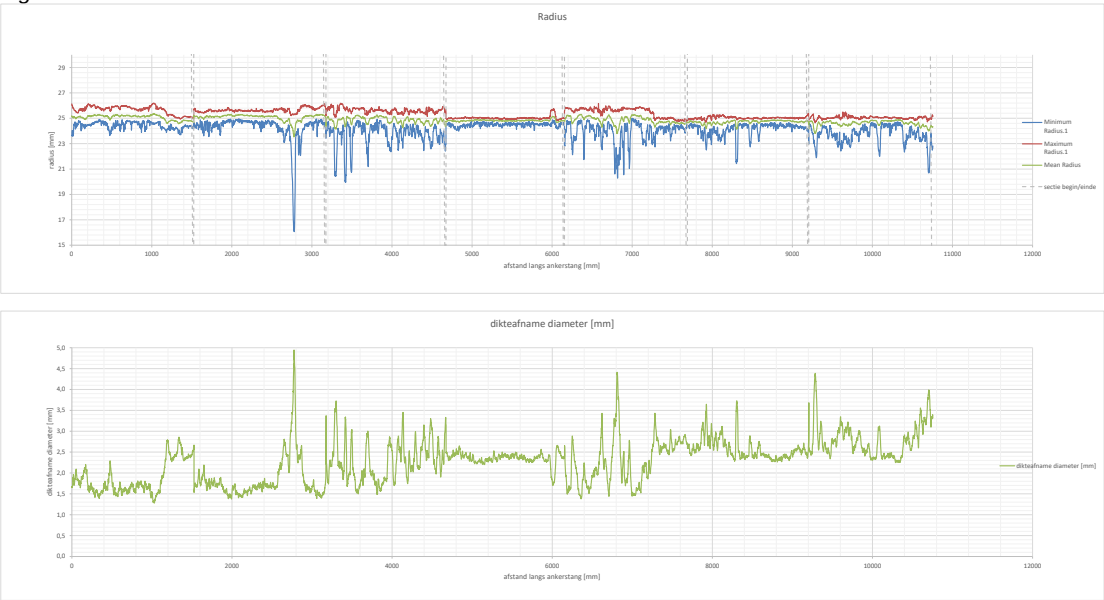
Figuur E.3 U3.



E.2.4

U4

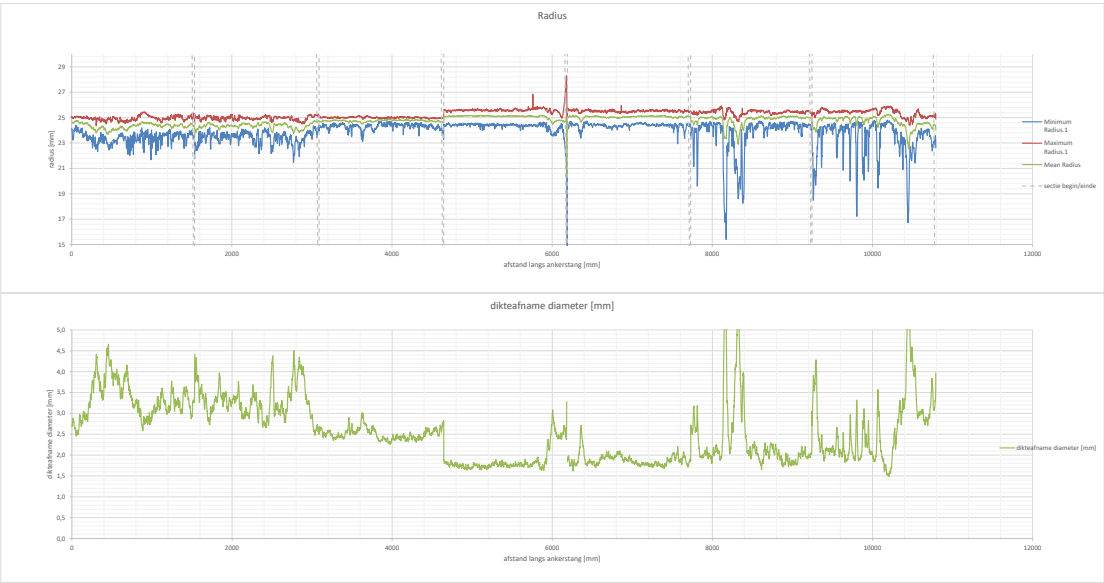
Figuur E.4 U4.



E.2.5

U5

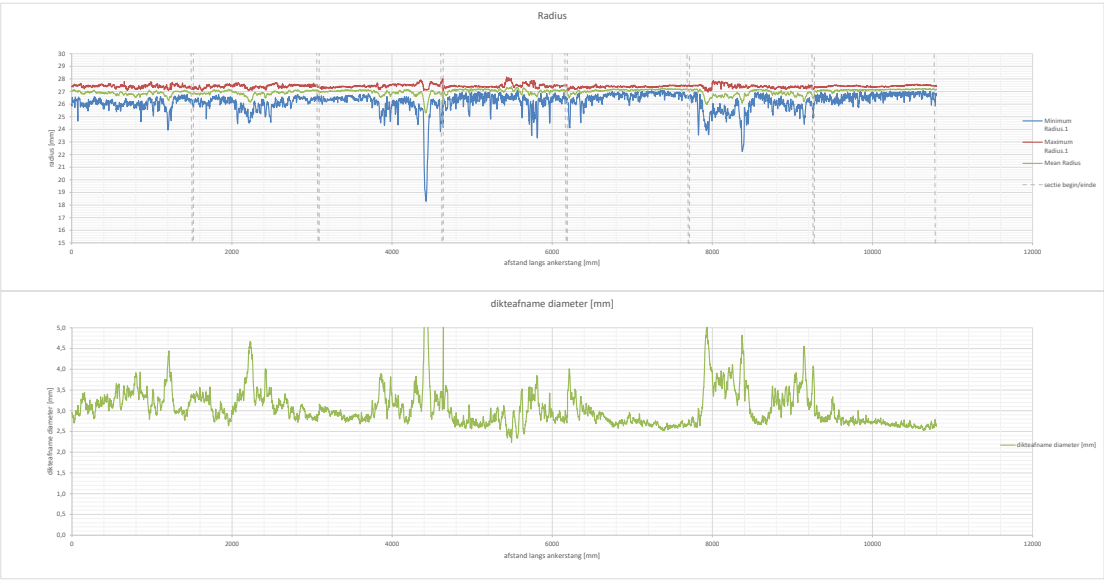
Figuur E.5 U5.



E.2.6

U6

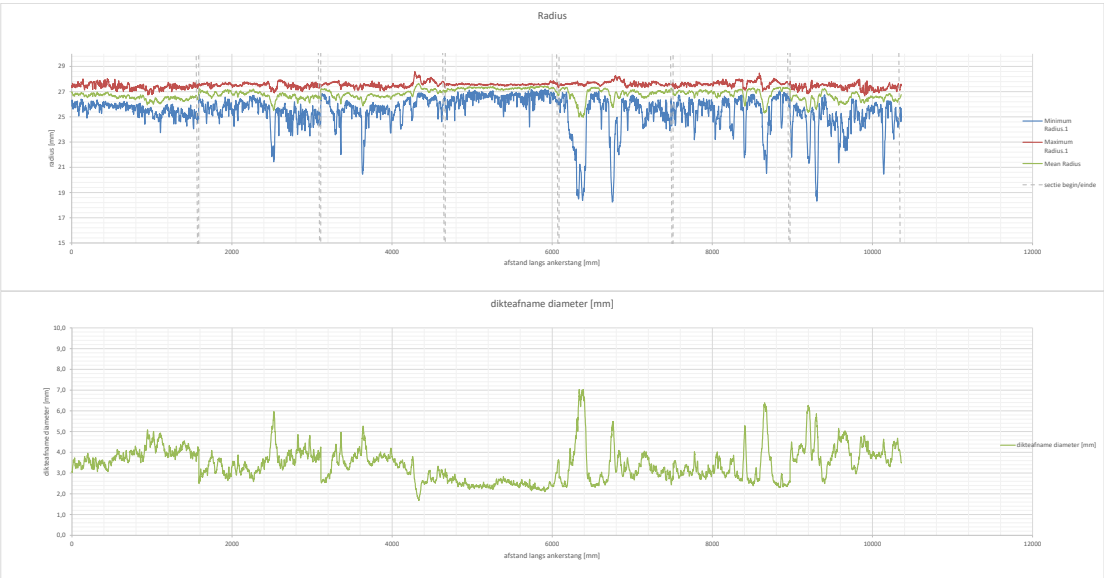
Figuur E.6 U6.



E.2.7

U7

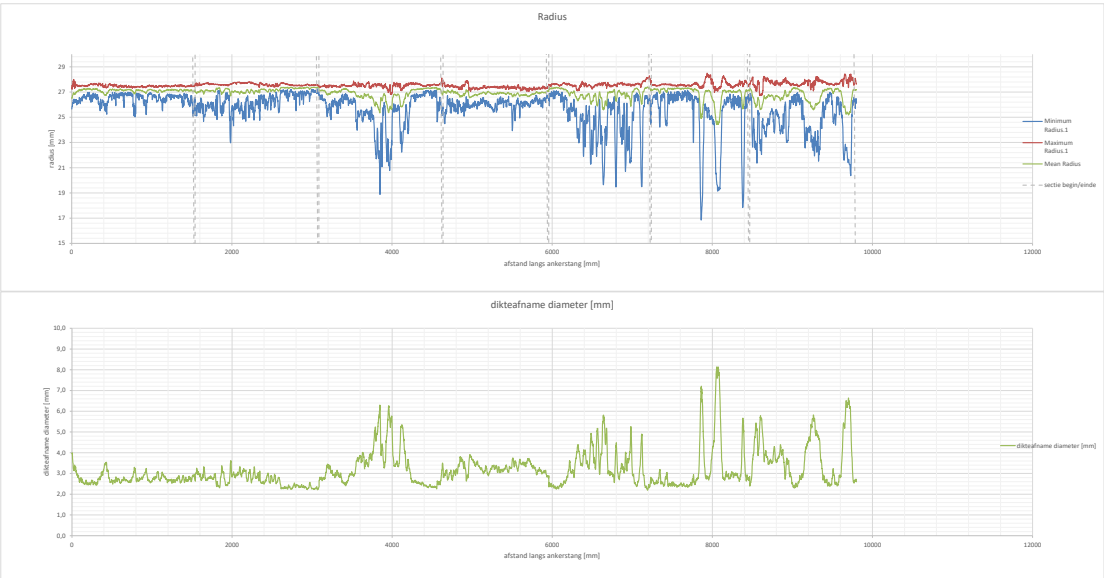
Figuur E.7 U7.



E.2.8

U8

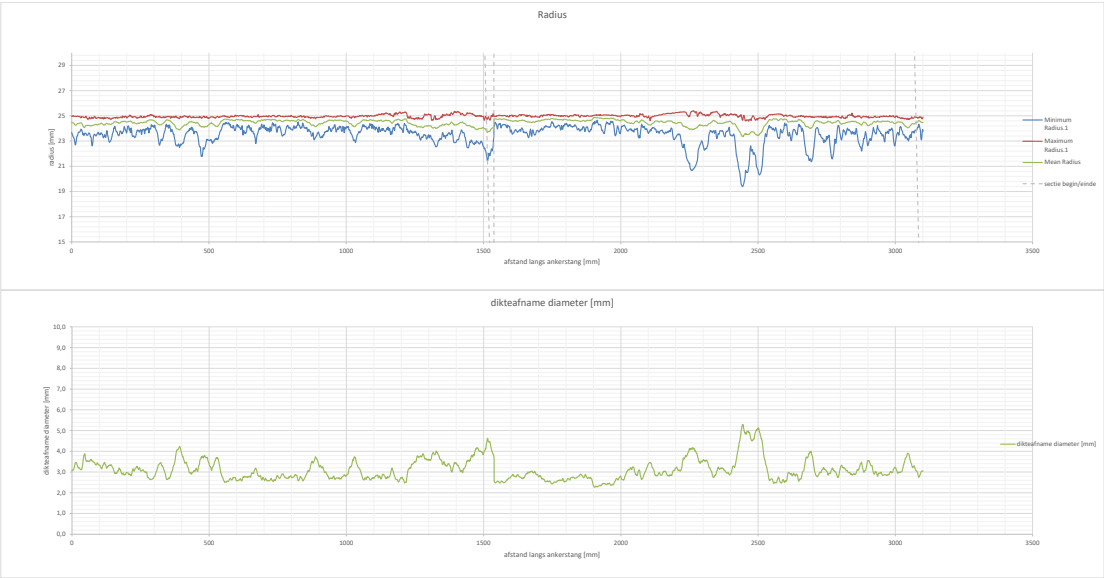
Figuur E.8 U8.



E.3 Binnenhoofd-west

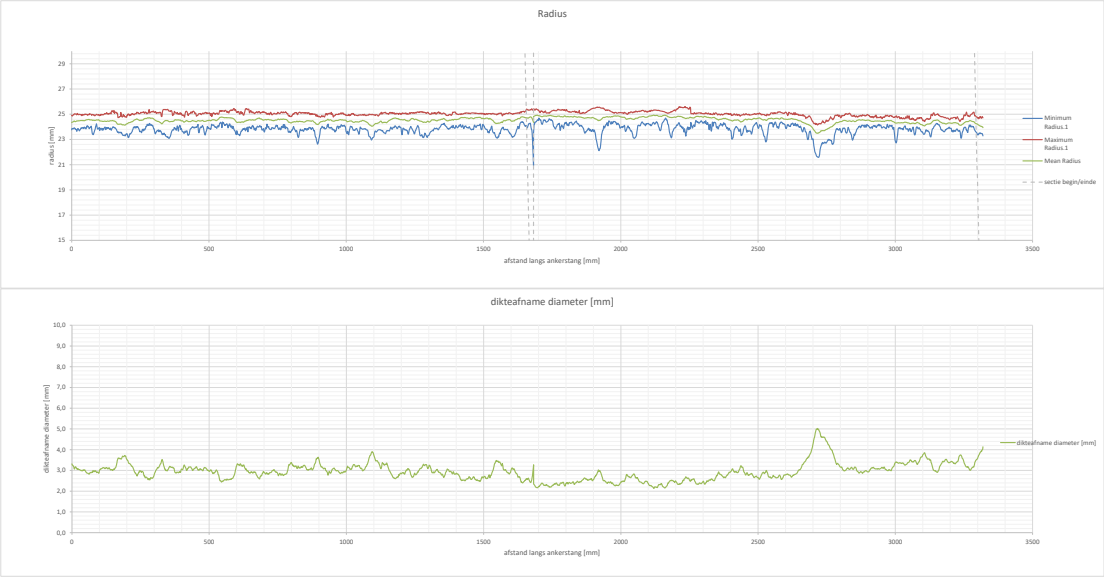
E.3.1 X1

Figuur E.9 X1.



E.3.2 X2

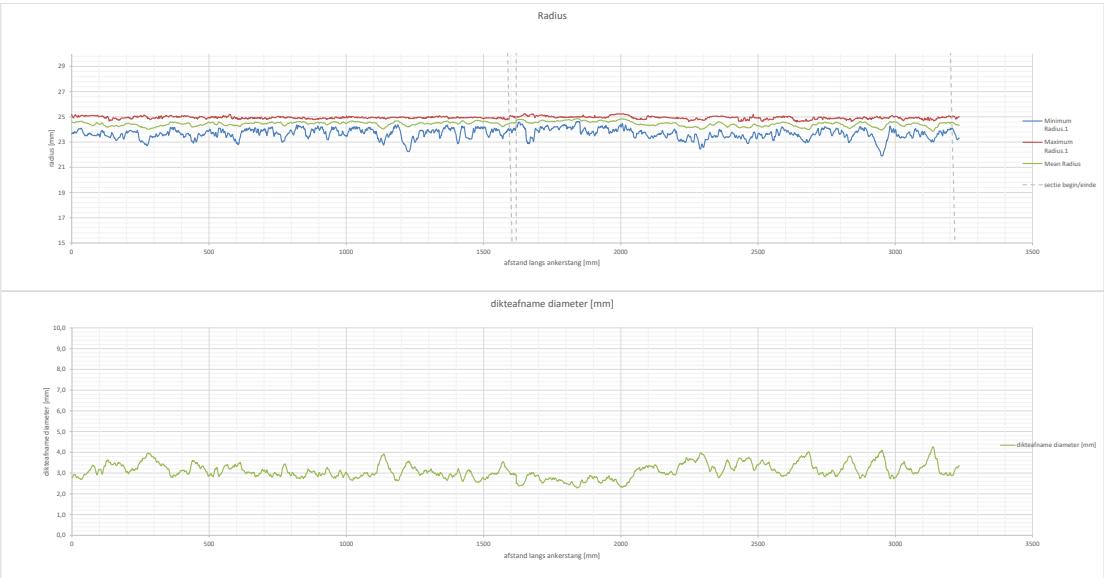
Figuur E.10 X2.



E.3.3

X3

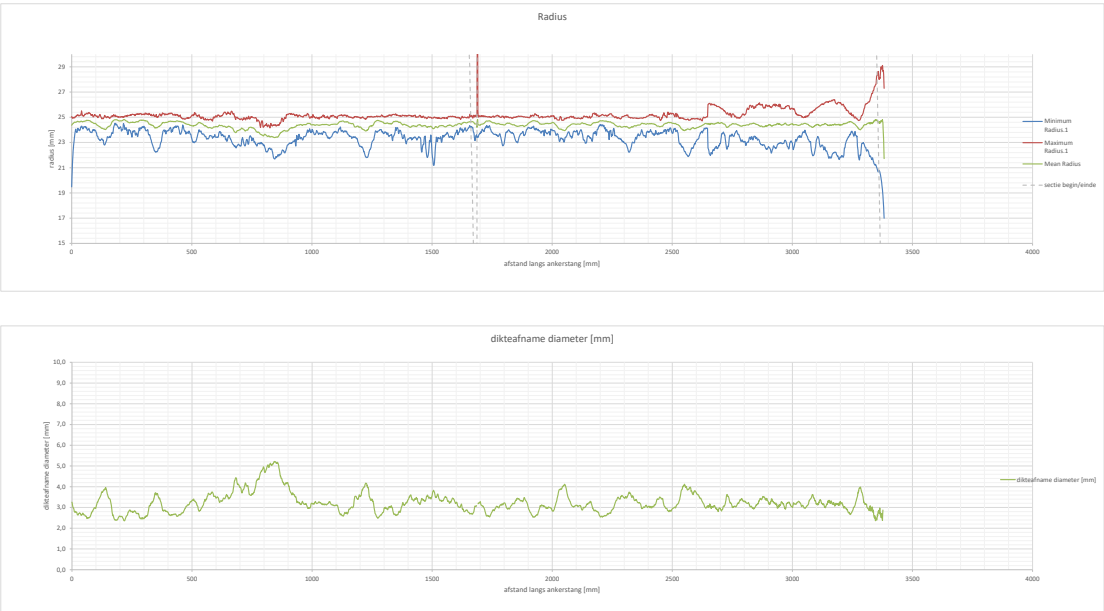
Figuur E.11X3.



E.3.4

X4

Figuur E.12X4.



E.3.5

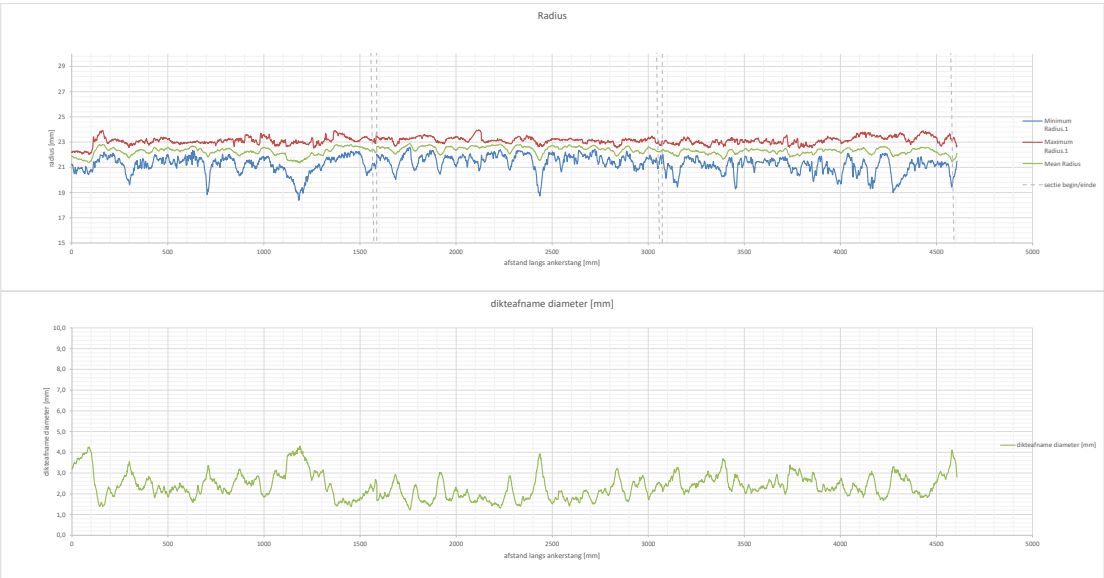
X5

Is niet gescand

E.3.6

X6

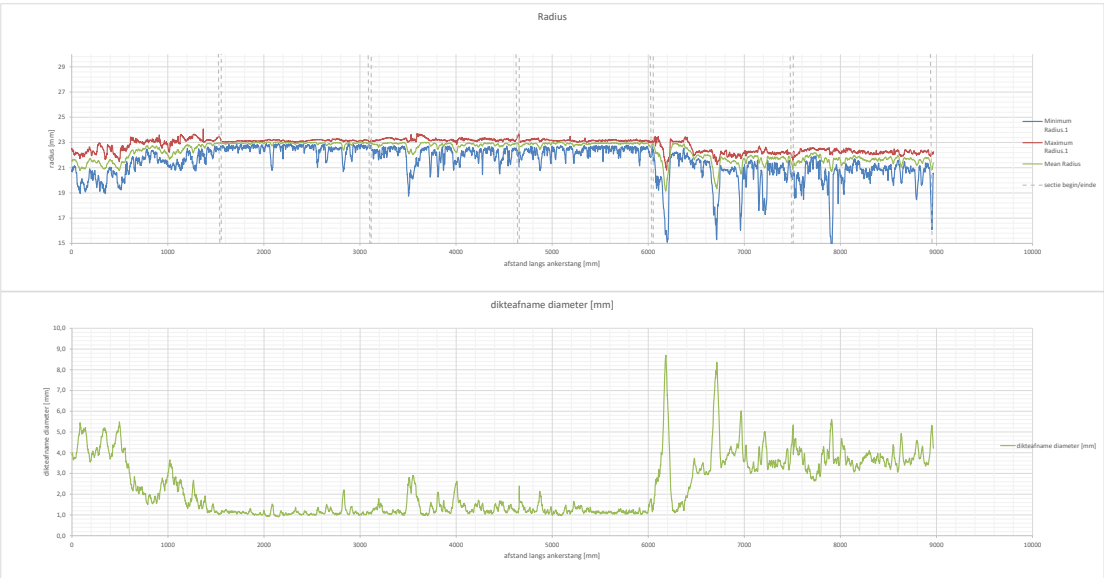
Figuur E.13 X6.



E.3.7

X7

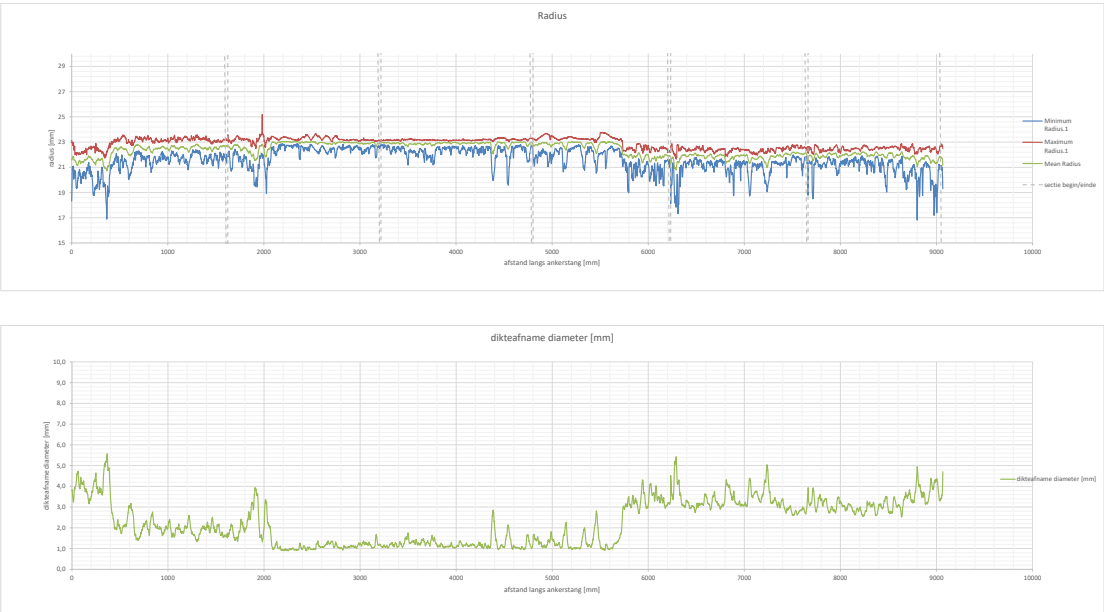
Figuur E.14 X7.



E.3.8

X8

Figuur E.15 X8.

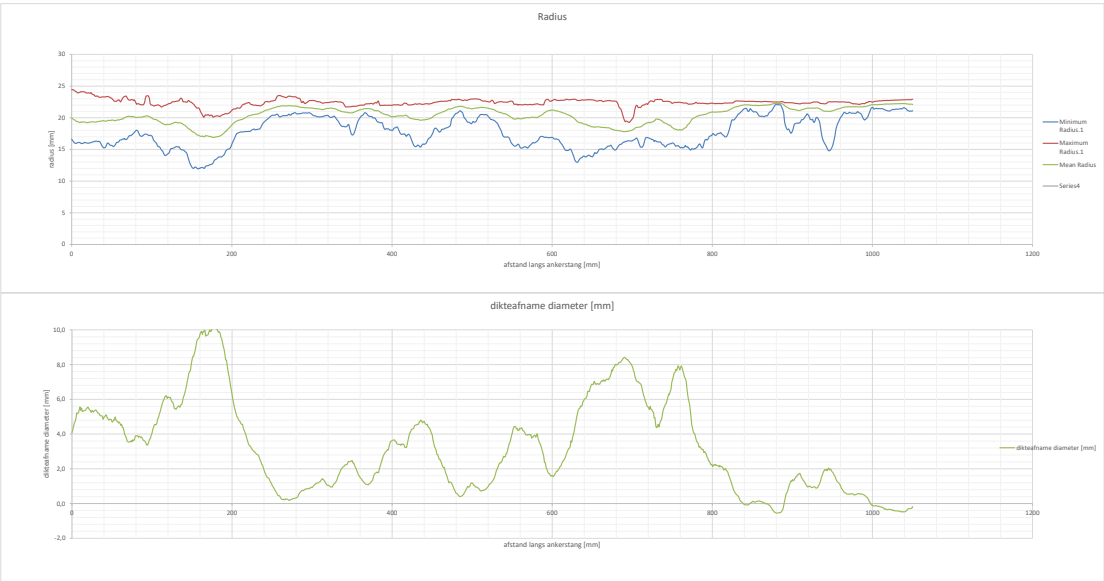


E.4

Binnenhoofd-oost

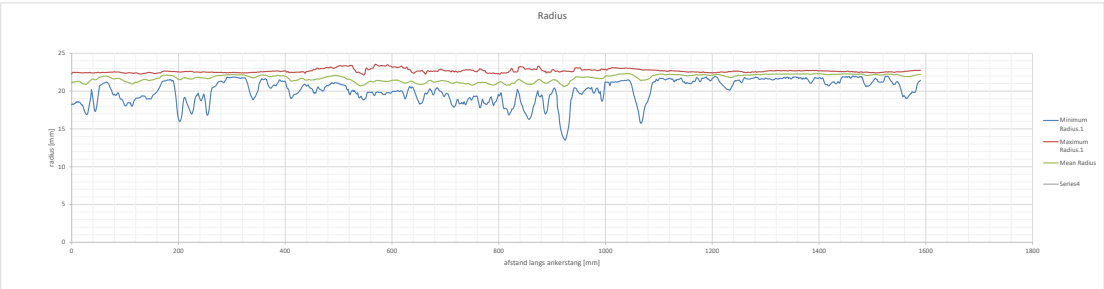
E.4.1

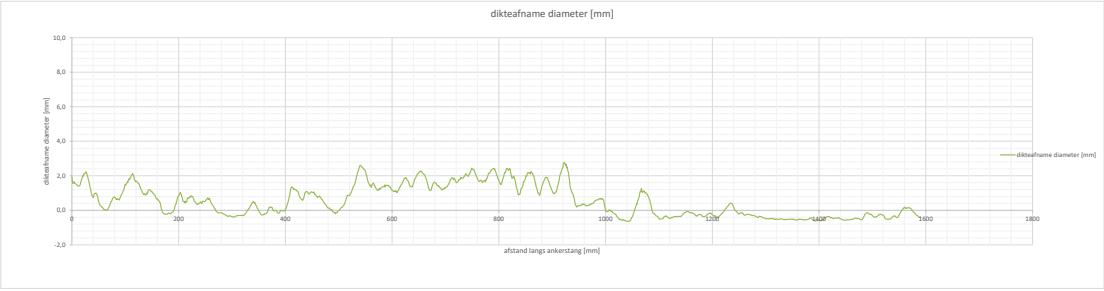
BI-O-1



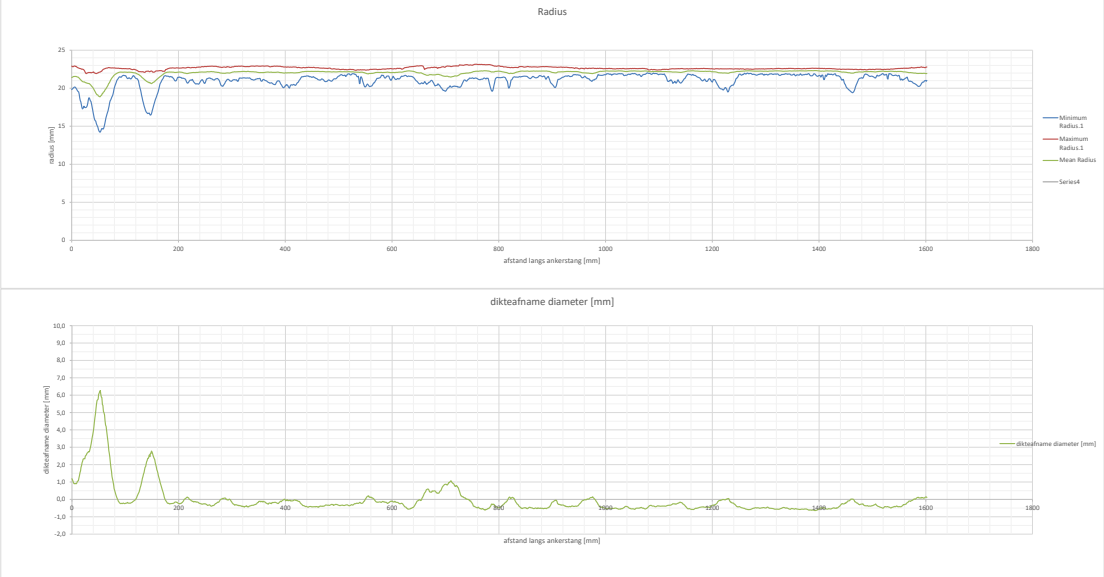
E.4.2

BI-O-2



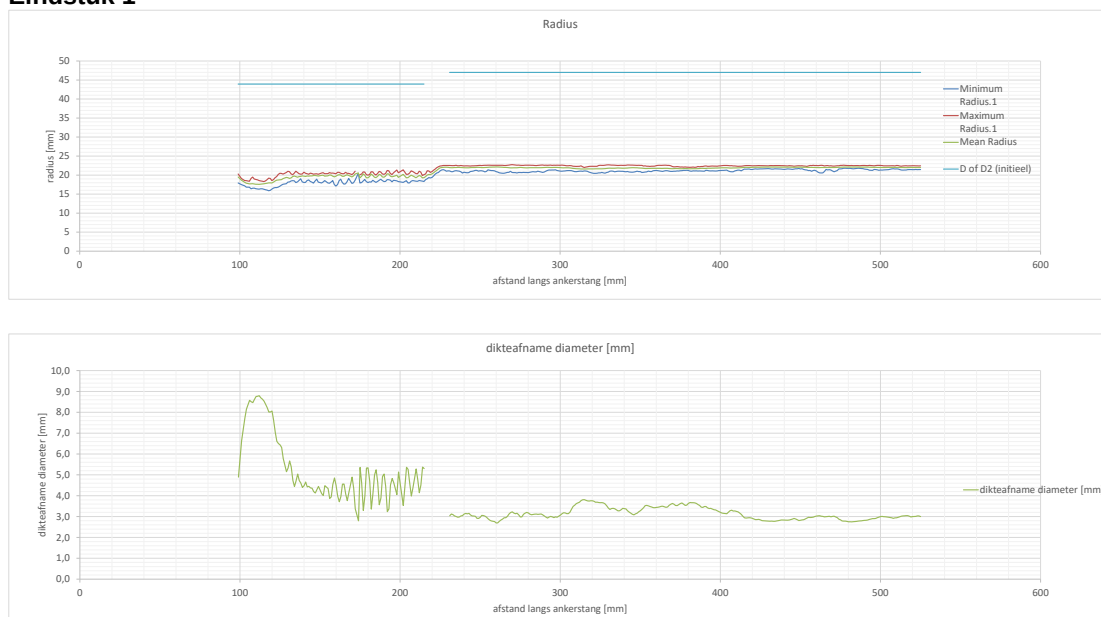


E.4.3 BI-O-3

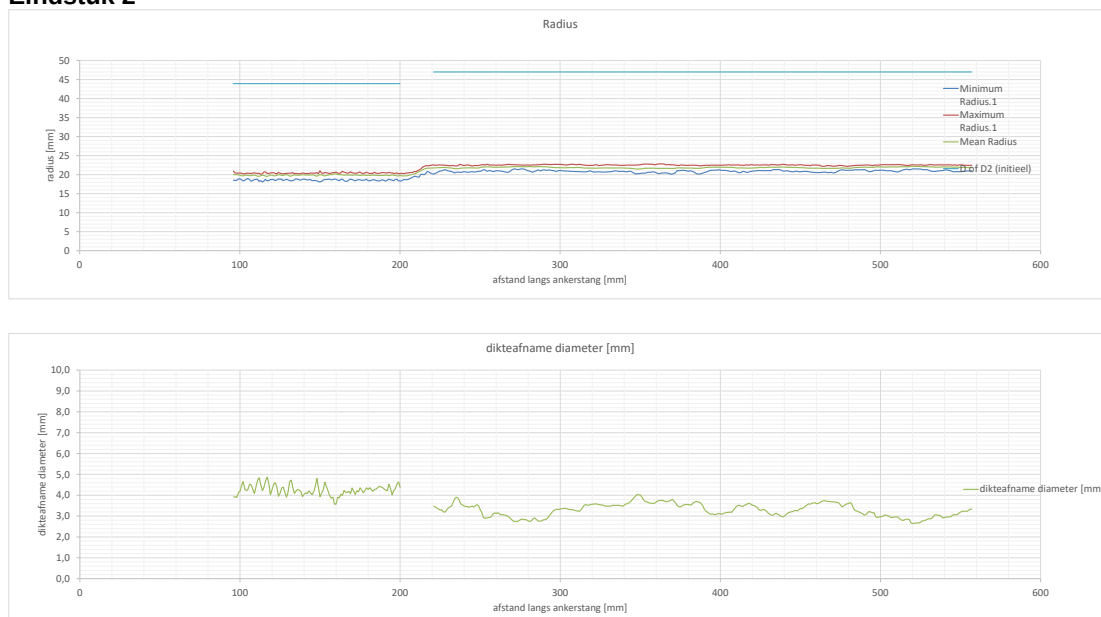


E.5 Ankerstangen met schroefdraad

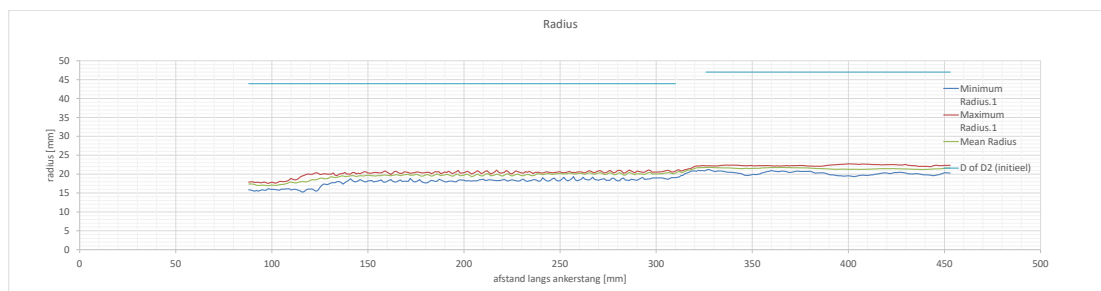
E.5.1 Eindstuk 1

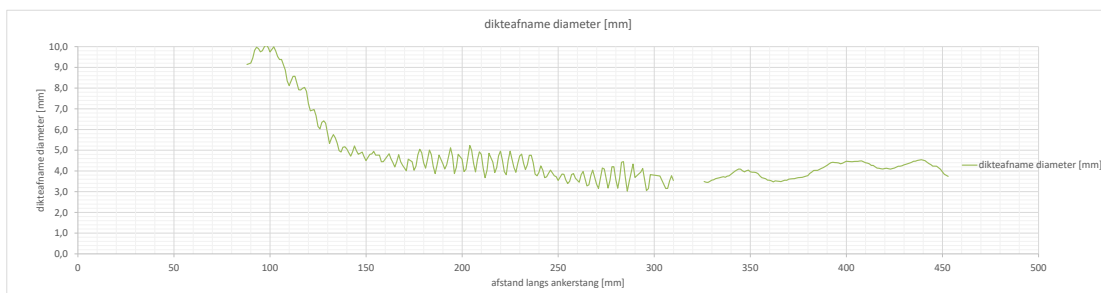


E.5.2 Eindstuk 2



E.5.3 Eindstuk 3





F Chemische analyse corrosieproducten ankerstangen Roggebotsluis

Chemische analyse corrosieproducten op ankerstangen

Inleiding

Bij visuele inspectie van de ankerstangen viel op dat de corrosieproducten/restanten niet veel verschilden, maar dat soms sprake was van een coating en soms deze coating niet zichtbaar was. Om hier meer over te kunnen zeggen, is wat materiaal van het oppervlak van de stangen afgeschraapt en op chemische samenstelling geanalyseerd in het chemisch lab van Deltares.

Voor de analyses zijn monsters verzameld vanuit de Roggebotsluis. Het gaat hierbij om:

- 4 corrosieproduct monsters van een damwand bij TNO.
- 6 corrosieproductmonsters van ankerstangen bij Deltares.

Analysemethode

- Elementanalyse
Een kleine hoeveelheid materiaal is gedroogd, gemalen en chemisch ontsloten met HNO_3/HF . Al het materiaal is daarbij opgelost. Vervolgens is de elementsamenstelling gemeten met ICP-OES.
- Chemische karakterisatie met TGA
Een kleine hoeveelheid materiaal is gedroogd, gemalen en geanalyseerd met TGA (Thermogravimetrische Gradient Analyse). Met deze methode wordt een monster verhit over een temperatuurtraject van 105 – 1000 °C. Over dit temperatuurtraject wordt de gewichtsafname gemeten. De gewichtsafname bij verschillende temperatuurtrajecten geeft een indicatie voor verschillende chemische componenten die bij deze temperatuur reageren, zoals: vochtgehalte, organisch koolstof en calciumcarbonaat (CaCO_3).

Resultaten

ICP OES.

Opvallend bij deze serie monsters is dat het Fe verreweg het meest voorkomende element is. Voor alle 4 de damwandmonsters en twee monsters van de ankerstangen maakt het ca 34-60% uit van het totale gewicht. Bij roest (FeOOH) bestaat ongeveer de helft van het gewicht uit Fe, en de helft uit O. O wordt bij deze methode niet waargenomen. Het feit dat ca de helft van deze monsters uit Fe bestaat maakt het aannemelijk dat het materiaal vooral uit roest bestaat.

Voor twee ankerstangen ligt het gehalte Fe op 20-26% en voor twee ankerstangen nog lager (0,3 en 0,6 %). Blijkbaar bestaan deze monsters niet volledig (of volledig niet) uit roest. Opvallend is dat in tegenstelling tot de eerdere analyses er in deze materialen geen Zn wordt aangetroffen. Dit wijst er op dat deze ankerstangen niet verzinkt waren.

Tabel F.1 Selectie van meest voorkomende elementen na koningswater destructie en analyse met ICP-OES.

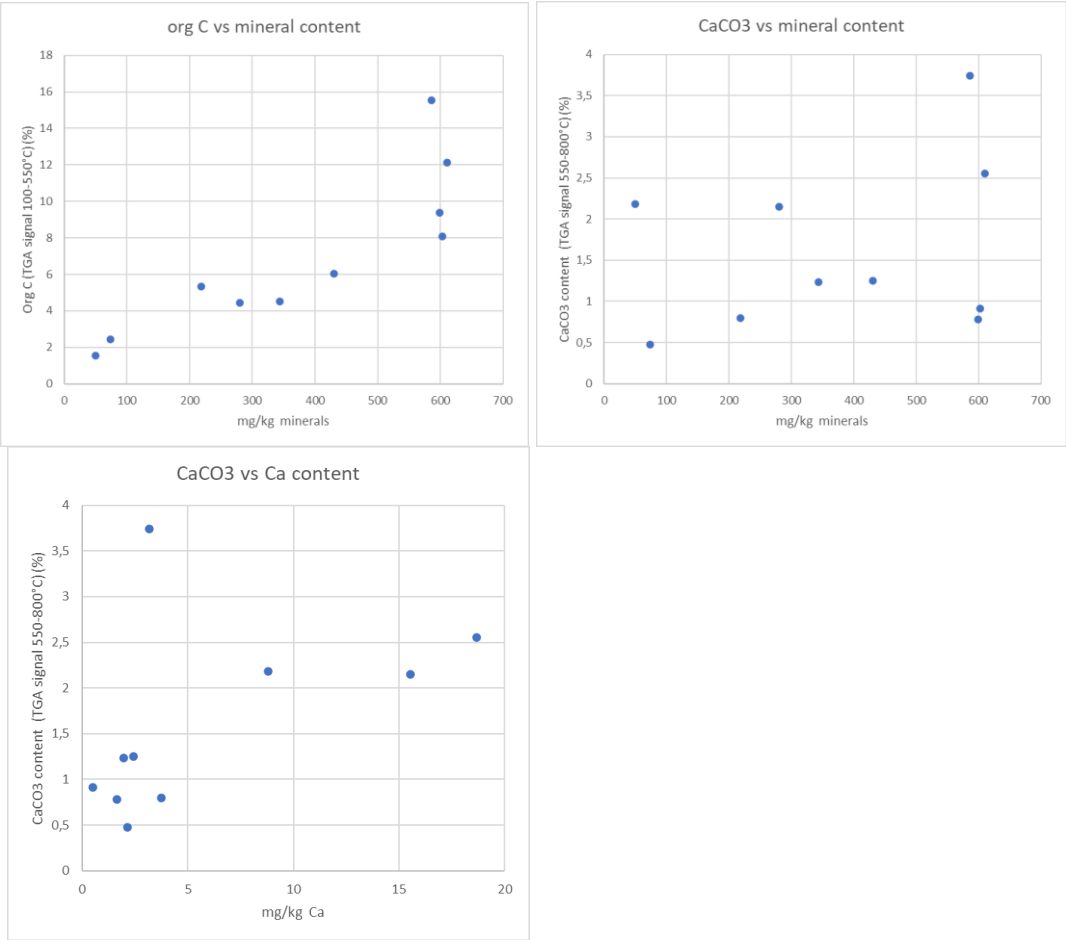
	Al	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Ni	P	S	Zn	som
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Damwandmonster 1	0	2	0	0	589	0	0	4	1	1	1	0	599
Damwandmonster 2	1	2	0	0	332	0	1	2	0	0	4	0	344
Damwandmonster 3	1	2	0	0	418	0	1	3	0	0	4	0	431
Damwandmonster 4	0	1	0	0	594	0	0	4	1	1	1	0	603
RB 1A anker bekleding	3	2	0	0	63	1	1	0	0	0	1	0	73
ROG BW anker 2	2	4	1	0	206	1	1	1	1	0	2	0	218
ROG BZ 8A bekleding	7	9	0	0	28	2	3	0	0	0	0	0	50
U2 BB Bekleding stang	1	19	0	2	576	0	0	3	1	0	7	0	610
X7L Bekleding stang	2	16	0	0	257	0	1	2	0	0	2	0	280
45AD Bekleding stang	1	3	2	4	562	0	0	4	2	0	7	0	586

[illegible]

Uit de TGA analyses zijn geen duidelijke conclusies te trekken. Het organisch C gehalte varieert, maar lijkt niet op een logische manier te corresponderen met de elementanalyse: juist bij de monsters met de laagste elementanalyses wordt ook het laagste gehalte organisch C gevonden. Het CaCO3 gehalte lijkt te corresponderen met het Ca gehalte, wat overeenkomt met het Ca in de CaCO3.

Tabel F.2 TGA analyses.

			gram	%	%	%	%	%	%	%	%
			inweeg	vocht	105-450	450-550	550-800	800-1000	105-1000	org C (450	CaCO3
2024-006-001	Monster 1	2024006001	3,2792	3,65577	9,14374	0,215552714	0,3418457	0,287087	9,988225	9,359293	0,776922
2024-006-002	Monster 2	2024006002	3,4092	2,372991	4,394135	0,133100982	0,5432203	0,369258	5,439714	4,527236	1,234592
2024-006-003	Monster 3	2024006003	3,0567	3,611411	5,85512	0,169364391	0,5515373	0,472795	7,048817	6,024485	1,253494
2024-006-004	Monster 4	2024006004	0,4132	3,101162	7,897129	0,17682936	0,4011129	0,392122	8,867193	8,073959	0,91162
2024-006-005	RB 1A anker bekleding	2024006005	3,2626	0,793845	2,25353	0,188154602	0,2082368	0,115859	2,76578	2,441684	0,473265
2024-006-006	ROG BW anker 2	2024006006	3,1216	1,304139	5,131309	0,205135529	0,3489251	0,035055	5,720425	5,336445	0,793012
2024-006-007	ROG BZ 8A bekleding	2024006007	3,1808	1,031187	1,212516	0,313850064	0,9590216	0,027319	2,512706	1,526366	2,179595
2024-006-008	U2 BB Bekleding stang	2024006008	0,5812	2,929972	11,7335	0,402892031	1,1221775	-0,03297	13,2256	12,13639	2,550403
2024-006-009	X7L Bekleding stang	2024006009	0,9832	1,276851	4,317228	0,136197955	0,9442165	-0,09468	5,302963	4,453426	2,145947
2024-006-010	45AD Bekleding stang	2024006010	2,6605	5,207668	15,15613	0,397311604	1,6459486	0,331886	17,53128	15,55344	3,740792
		ise921	1,07455	2,21395	6,764152	1,455137234	5,0480605	0,068046	13,3354	8,219289	11,47286



Figuur F.1 TGA analyses in vergelijking met geselecteerde minerale elementen. 1. Organisch C vs totaal minerale content; 2. CaCO3 vs totaal minerale content; 3. CaCO3 vs Ca content.

Conclusies analyses

- De producten op de damwanden bestaan voor circa de helft uit Fe. Dit kan overeenkomen met volledig bestaan uit roest (FeOOH), waarbij de overige helft van het gewicht uit O bestaat.

- De producten van de ankerstangen verschillen in samenstelling en vallen uiteen in 3 groepen:
 - Twee monsters bevatten veel Fe (ca 50%) en bestaan naar alle waarschijnlijkheid uit roest.
 - Twee monsters bevatten nog steeds veel Fe (ca 25%) en bestaan waarschijnlijk ook voor een groot deel uit roest, maar daarnaast uit andere bestanddelen.
 - Twee monsters bevatten weinig Fe (ca 0,5%) en bevatten waarschijnlijk weinig roest en vooral andere bestanddelen.
 - Voor alle ankerstangen is het opvallend dat er weinig Zn wordt aangetroffen, wat er op wijst dat deze niet verzinkt zijn.
 - Er wordt met TGA weinig organisch C waargenomen en deze correleert niet op de verwachte manier met de minerale elementen (verwacht correlatie: weinig minerale elementen – veel organisch C; gevonden correlatie andersom).
 - Ook voor de ankerstangen bestaat een groot deel van de corrosieproducten uit roest. Visueel lijkt er coating aanwezig geweest te zijn, maar deze is al langere tijd niet meer in goede staat en biedt al langere tijd geen bescherming tegen corrosie.

G Standaard diameters ankerstangen

In 1993 is ISO 724 gepubliceerd. Hierin zijn standaard maten van de schroefdraad diameters vastgelegd. Opgemerkt wordt dat de ankerstangen bij de Roggebotsluis in 1956 zijn gemaakt.

Nominal diameter = Major diameter D, d	Pitch P	Pitch diameter D_2, d_2	Minor diameter D_1, d_1
42	4,5	39,077	37,129
	4	39,402	37,670
	3	40,051	38,752
	2	40,701	39,835
	1,5	41,026	40,376
45	4,5	42,077	40,129
	4	42,402	40,670
	3	43,051	41,752
	2	43,701	42,835
	1,5	44,026	43,376
48	5	44,752	42,587
	4	45,402	43,670
	3	46,051	44,752
	2	46,701	45,835
	1,5	47,026	46,376
50	3	48,051	46,752
	2	48,701	47,835
	1,5	49,026	48,376
52	5	48,752	46,587
	4	49,402	47,670
	3	50,051	48,752
	2	50,701	49,835
	1,5	51,026	50,376
55	4	52,402	50,670
	3	53,051	51,752
	2	53,701	52,835
	1,5	54,026	53,376
56	5,5	52,428	50,046
	4	53,402	51,670
	3	54,051	52,752
	2	54,701	53,835
	1,5	55,026	54,376
58	4	55,402	53,070
	3	56,051	54,752
	2	56,701	55,835
	1,5	57,026	56,376

Door ArcelorMittal worden standaard ankerstang diameters in de volgende range geleverd (2023):
44-48-52-56-60 mm

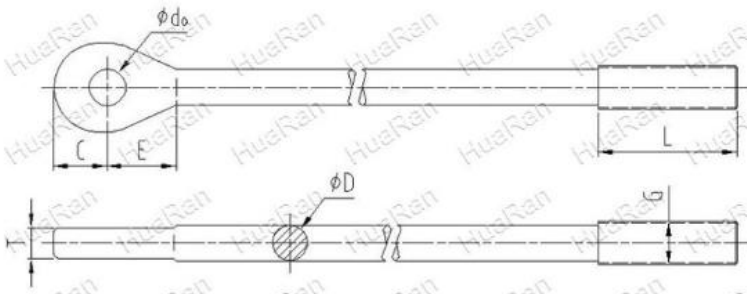
Schroefdraad kan ingesneden worden of als upset forged thread (extra dikte) geleverd worden.

<https://www.stalen-damwand.nl/product/steel-tie-rod-11.html>
Legankers Afmetingen

Thread Size	ØD (mm)	Gewicht (kg/m)	Graad 460		Graad 500		Graad 550		Graad 650		Graad 700	
			YL(Kn)	UL(Kn)	YL(Kn)	UL(Kn)	YL(Kn)	UL(Kn)	YL(Kn)	UL(Kn)	YL(Kn)	UL(Kn)
M48x5	40	9.86	578	767	628	817	691	942	817	1068	880	1106
M56x5.5	45	12.48	732	970	795	1034	875	1193	1034	1352	1113	1400
M60x5.5	50	15.41	903	1198	982	1276	1080	1473	1276	1669	1374	1728
M68x6	55	18.65	1093	1449	1188	1544	1307	1782	1544	2019	1663	2091
M72x6	60	22.2	1301	1725	1414	1838	1555	2121	1838	2403	1979	2488
M76x6	65	26.05	1526	2024	1659	2157	1825	2489	2157	2821	2323	2920
M85x6	70	30.21	1770	2348	1924	2501	2117	2886	2501	3271	2694	3387
M90x6	75	34.68	2032	2695	2209	2872	2430	3313	2872	3755	3093	3888
M95x6	80	39.46	2312	3066	2513	3267	2765	3770	3267	4273	3519	4423
M100x6	85	44.54	2610	3461	2837	3688	3121	4256	3688	4823	3972	4994
M105x6	90	49.94	2926	3881	3181	4235	3499	4771	4135	5407	4453	5598
M110x6	95	55.64	3261	4324	3544	4607	3899	5316	4607	6025	4962	6238
M115x6	100	61.65	3613	4791	3927	5105	4320	5890	5105	6676	5498	6912
M125x10	105	67.97	3983	5282	4330	5628	4762	6494	5628	7360	6061	7620
M135x10	115	81.54	4778	6336	5193	6751	5713	7790	6751	8829	7271	9140
M140x10	120	88.78	5202	6899	5655	7351	6220	8482	7351	9613	7917	9953
M150x12	125	96.33	5645	7486	6136	7977	6750	9204	7977	10431	8590	10799

<https://steeltierod.com/steel-tie-rod/>

Dimensions of steel tie rod



D (mm)	T (mm)	C (mm)	E (mm)	do (mm)	L (mm)	G (mm)
20	16	28	39	19.5	65	M24×3
25	20	35	47	24.5	75	M30×3.5
30	26	41	55	29.5	85	M36×4
35	30	48	68	34.5	100	M42×4.5
40	35	55	76	39.5	105	M48×5
45	40	61	83	44.5	105	M56×5.5
50	42	68	97	49	125	M60×5.5
55	45	75	105	54	140	M68×6
60	50	81	113	59	145	M72×6
65	55	88	120	64	165	M76×6

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl