



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2022

*Vervangings- en renovatieopgave
natte kunstwerken in Nederland:*

Kennisbijdrage:

Einde levensduur damwanden

Dikteafname ankerstangen uit gesloopte
damwandconstructie Twentekanaal

Auteurs

Hans Brinkman	(Deltares)
Stefan Jansen	(Deltares)
Hans Landwehr	(Deltares)
Remco van den Berg	(Deltares)
Renger van de Kamp	(Rijkswaterstaat)
Diego Allaix	(TNO)

kenmerk	: KpNK-2022-KV1.2-damwand-b007
versie	: 1.0
datum publicatie	: 15 maart 2024



Voorwoord

Kennisprogramma Natte Kunstwerken

Sluizen, stuwen, gemalen en stormvloedkeringen zijn belangrijke assets waarvoor beheerders zoals Rijkswaterstaat en de waterschappen verantwoordelijk zijn. Veel van deze natte kunstwerken in de waterinfrastructuur bereiken de komende decennia het einde van hun (technische en/of functionele) levensduur. Zij kunnen daardoor hun functies naar verwachting niet meer adequaat blijven uitoefenen. Dit zal ten koste gaan van de mate waarin de waterinfrastructuur voldoet aan betrouwbaarheidseisen. In het kader van goed assetmanagement staan we dan ook voor de enorme opgave om deze kunstwerken te vervangen of te renoveren. Welke kennis hebben we nodig om dat efficiënt, kostenbesparend en toekomst-bestendig aan te pakken?

Deltares

MARIN



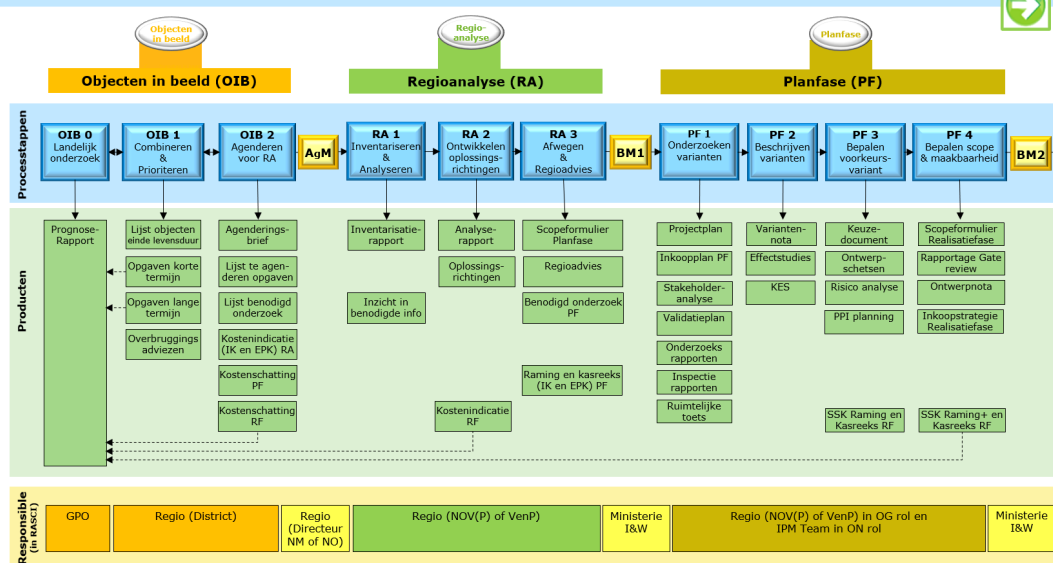
TNO

In het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (KpNK) ontwikkelen en bundelen Deltares, MARIN, TNO en Rijkswaterstaat deze kennis op basis van de Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken.

Werkwijze vervangings- en renovatieproces

De laatste jaren richten we ons niet meer uitsluitend op een-op-een vervanging van kunstwerken. We zoeken steeds meer naar mogelijkheden om hun levensduur te verlengen en (noodzakelijke) ingrepen te koppelen aan gebieds- en netwerkontwikkelingen en aan functionele ontwikkelingen. Rijkswaterstaat heeft als assetmanager een vernieuwde werkwijze voor dit vervangings- en renovatieproces (VenR) opgesteld om een uniform en systematisch proces te hebben waarmee een VenR-maatregel transparant onderbouwd kan worden (zie Figuur 1).

Procesketen VenR (tot aan Realisatie)



Figuur 1: Procesketen VenR binnen Rijkswaterstaat

Deze procesketen vormt de basis waar de kennisontwikkeling van het kennisprogramma aan bijdraagt.



Twee-stappen-benadering en drie kernvragen

De kennis die we ontwikkelen binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken draagt bij aan de stapsgewijze-benadering binnen deze Procesketen VenR:

- stap 1 (*Objecten in Beeld*): richt zicht op (het einde van) de technische levensduur van een kunstwerk en het agenderen van de VenR-opgave in het *Prognose rapport*;
- stap 2 (*Regioanalyse*): brengt vooral de relatie in kaart tussen het kunstwerk en de netwerken waar het (samen met andere kunstwerken) deel van uitmaakt. In het resulterende *Regioadvies* gaat het ook over (het einde van) de functionele levensduur.

Inhoudelijk vindt het onderzoek plaats aan de hand drie *kernvragen*:

1. Hoe lang gaat mijn kunstwerk nog mee, zowel technisch als functioneel?
2. Welke alternatieven heb ik, behalve een-op-een vervanging?
3. Hoe weeg ik de alternatieven tegen elkaar af?

Programmaplan, jaarlijkse kennisplannen en samenwerking

Het programmaplan omvat de achtergronden en ambities voor de gehele looptijd van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken. Jaarlijks worden deze ambities uitgewerkt in een kennisplan en een bijbehorend financieringsplan. Andere partijen zoals waterschappen, adviesbureaus en andere (commerciële) organisaties, nodigen we uitdrukkelijk uit om deel te nemen aan het gezamenlijk uitvoeren van een kennisplan, bijvoorbeeld met kennisbijdragen in voor hen relevante onderzoeksprojecten, met praktijkervaringen of financiële bijdragen.

Resultaten delen

Bijdragen en onderzoeksresultaten uit ons Kennisprogramma Natte Kunstwerken delen we met de hele sector via onze website (www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl) en op andere manieren.

Hieronder vindt u een kennisbijdrage binnen werkpakket 'Einde levensduur damwanden' uit het kennisplan 2022. Het omvat eerst de samenvatting van het onderzoek 'Dikteafname ankerstangen uit gesloopte damwandconstructie Twentekanaal'. Deze activiteit is namens het Kennisprogramma Natte Kunstwerken geleid door Deltares. Na de samenvatting vindt u het volledige onderzoeksverslag in de vorm van een onderzoeksrapport (inclusief een opvraagbare dataset met alle metingen).

N.B. Het volledige onderzoeksrapport is gelijk aan het originele onderzoeksrapport van Deltares, met uitzondering van het titelblad en de technische samenvatting. Bij publicatie van dit onderzoeksverslag op de KpNK-website is het titelblad om privacyredenen verwijderd. En een meer toegankelijke samenvatting volgt al hierna. De paginanummering in het onderzoeksrapport springt daarom van 2 naar 6.



Meer informatie

- Het Kennisprogramma Natte Kunstwerken is de uitwerking van de onderzoeklijn 'Toekomstbestendige Natte Kunstwerken' binnen het Nationaal Kennisplatform voor Water en Klimaat (NKWK). Zie www.waterenklimaat.nl

NKWK

- Voor meer informatie over het programma Kennisprogramma Natte Kunstwerken, zie www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl.



- Voor vragen over het Kennisprogramma Natte Kunstwerken en het Kennisplan 2022 kunt u terecht bij Martine Brinkhuis, e-mail martine.brinkhuis@rws.nl
- Voor vragen over de voorliggende kennisbijdrage kunt u terecht bij de auteurs:

Hans Landwehr - hans.landwehr@deltares.nl

Remco van den Berg - remco.vandenberg@deltares.nl



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2022



Samenvatting

Einde levensduur damwanden

Dikteafname ankerstangen uit gesloopte damwandconstructie Twentekanaal

Hieronder vindt u een kennisbijdrage van het werkpakket 'Einde levensduur damwanden' uit het Kennisplan 2022. De bijdrage – geleid door Deltares – omvat de samenvatting van het onderzoek 'Dikteafname ankerstangen uit gesloopte damwandconstructie Twentekanaal'. Na de samenvatting vindt u het volledige onderzoeksrapport. De dataset met alle meetresultaten zijn opvraagbaar via de contactpagina op de KpNK-website.

Aanleiding en probleemstelling

Het 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. Maar hoe groot zijn deze afnames? En hoe betrouwbaar kunnen we het effect bepalen van corrosie op de reststerkte van ankerstangen? Betrouwbare modellen hiervoor ontbreken tot nu toe.

Voor de verruiming van het Twentekanaal is in 2022 de damwandconstructie langs het kanaal vervangen. Dat bood de kans om voor het eerst in Nederland de in situ opgetreden dikteafname van damwanden en ankerstangen te onderzoeken. Momenteel is de toegestane afname van de diameter van ankerstangen volgens de wettelijke norm NEN 6766, 2,5 maal hoger dan die van de wanddikte. Deze norm is echter niet met metingen onderbouwd maar is gekozen op basis van expert judgement. Wellicht is een verlaging van deze norm mogelijk maar we hebben daarvoor tot nu toe geen cijfermatige onderbouwing. Dit onderzoek wordt dan ook gezien als een eerste en belangrijke stap om een toekomstige wijziging (verlaging) van deze toelaatbare diameterafname door corrosie bij ankerstangen getalsmatig te onderbouwen.

Verder is de verwachting dat de resultaten van dit onderzoek ook aanleiding vormen om de effecten van corrosie op ankerstangen, die vrijkomen bij projecten in 2023 en 2024, gericht te bepalen.

Onderzoeksvraag (WAT)

Het onderzoek levert dus een bijdrage aan de algemene onderzoeksvraag hoe nauwkeurig de huidige rekenmodellen zijn voor het voorspellen van de dikteafname door corrosie van stalen damwandplanken en ankerstangen. Hoe nauwkeuriger deze voorspelling, des te scherper de inschatting van de (rest)levensduur van de grondkerende constructies die uit deze onderdelen zijn opgebouwd.



Via het meten en analyseren van de degradatie (onder zoetwater-condities) bij de ankerstangen op vijf locaties langs het Twentekanaal willen we specifiek antwoord geven op de vraag: Hoe groot is de opgetreden afname van de ankerstangdiameter door corrosie?

In de analyse komen diverse andere subvragen aan de orde. Zijn er qua degradatie verschillen over de lengte van individuele ankerstangen te zien? Bijvoorbeeld lokale extremen dan wel gelijkmatigheden? Zijn er patronen te onderkennen in de resultaten per locatie? En welke verschillen zitten er tussen de resultaten per locatie?

Onderzoeksaanpak en -methode (HOE)

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

Onderzoeksresultaten en synthese

Eerst enkele opmerkingen over de onderzoeksaanpak en beperkingen bij het analyseren van de diameterafnames door corrosie bij in totaal 23 ankerstangen op vijf locaties langs het Twentekanaal:

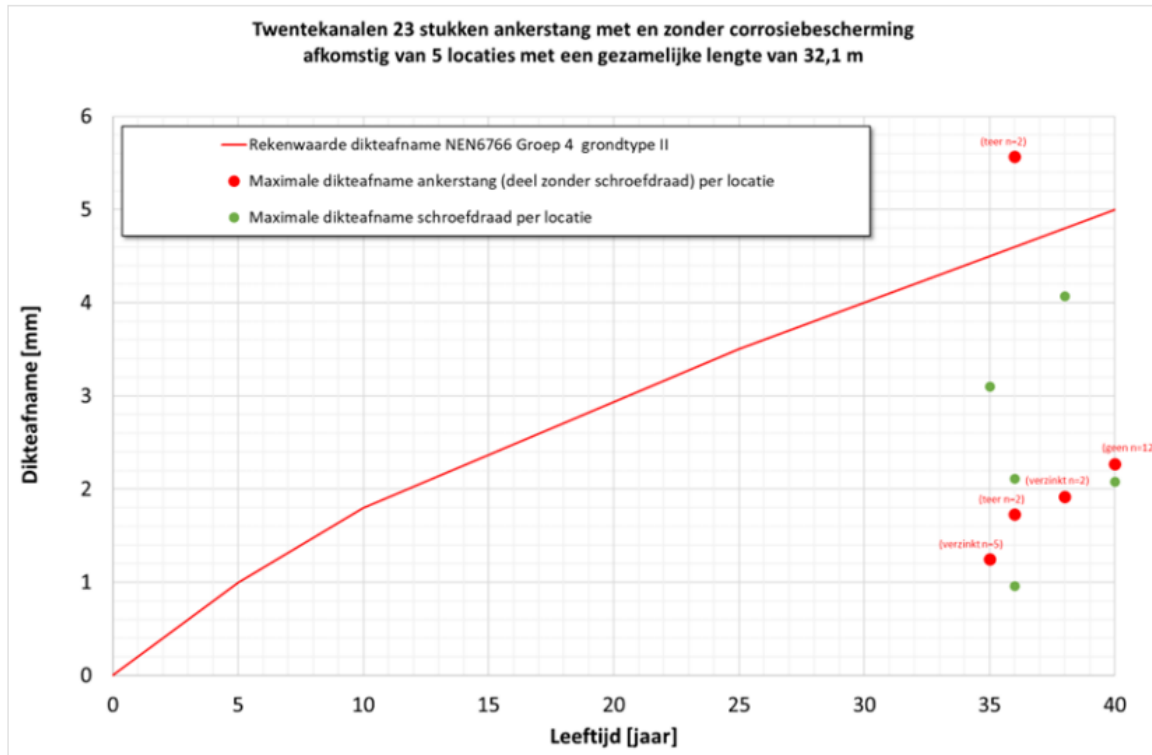
- Het is gelukt te komen tot een succesvolle procedure voor het maken van een 3D-model m.b.v. de 3D-scanner. Hierbij is rekening gehouden met de hanteerbaarheid van de ankers (gewicht), de nauwkeurigheid van het 3D-model en met de bereikte nauwkeurigheid van de resultaten (elke mm).
- Het vaststellen van de initiële ankerstangdiameter geeft een bepaalde onzekerheid, omdat die informatie ontbreekt of omdat er mogelijk sprake is van een toegepaste ankerstangdiameter die iets dikker is dan op tekening is aangegeven. Het handmatig opmeten van de geanalyseerde ankers geeft in verband met optredende degradatie uitsluitend een indicatie van de verwachte initiële ankerstangdiameter.
- De totale lengte van de onderzochte ankerstangen samen was 32,1 m. Alleen de eerste ca. 1 à 1,5 m lengte van een ankerstang is beschikbaar gekomen. Er is geen informatie over de exacte locaties van de ankerstangen of ligging daarvan ten opzichte van elkaar. Daardoor kon geen ruimtelijke patronen in de effecten van corrosie per locatie worden afgeleid.

Met deze onderzoeksaanpak is gekomen tot een dataset die een set van Excelsheets omvat, waarin de 3D-scans en het hieruit gehaalde verloop van de diameter van elke ankerstang over de lengte zijn vastgelegd. Deze dataset kan worden opgevraagd via de contactpagina op de KpNK-website. Uit de analyse van deze meetresultaten volgt dat de maximale dikteafname op de ankerstang 5,57 mm bij locatie Loofr bedraagt. De maximale dikteafname op het schroefdraad bedraagt 4,07 mm bij locatie CTW.

Op basis van alle onderzoeksresultaten (datasets in Excel) hebben we de volgende weergave kunnen maken van de leeftijd van de ankerstangen per locatie, uitgezet tegen de waargenomen maximale dikteafnames van ankerstang en schroefdraad op die locaties. In deze grafiek is (ter referentie) met een rode lijn ook de rekenwaarde volgens NEN 6766 (groep 4, grondtype II) van de dikteafname



weergegeven. Bij de ankerstangpunten is tevens aangegeven hoeveel ankers aanwezig waren voor dit gemiddelde (n) en welk type corrosiebescherming wordt verwacht (verzinkt, teer, geen).



Evaluatie en vooruitblik

De meetresultaten van de ankerstangen langs het Twentekanaal laten zien dat diameterafnames worden aangetroffen die hoger zijn dan op basis van de in de norm aangegeven rekenwaarden mogen worden verwacht. In 2023 zijn er ook ankerstangen veiliggesteld bij Roggebotsluis. Deze zullen ook worden geanalyseerd.

Op basis van de resultaten uit beide onderzoeken (Twentekanaal en Roggebotsluis) zal in 2024 een interpretatie van de gevonden resultaten worden uitgevoerd. We hopen daarmee vast te stellen of er consequenties voor het omgaan met degradatie van ankerstangen, bijvoorbeeld in relatie met NEN 6766, afgeleid kunnen worden. En, zo ja, welke dat zijn en wat dit betekent voor de noodzaak van vervolgonderzoek.

In het algemeen bevelen we aan om, bij sloop of renovatie van een damwandconstructie, gebruikte ankerstangen veilig te stellen. De datasets over de invloed van corrosie op de diameter van de ankerstangen (onder zoetwater-condities) kunnen zodoende verder uitgebreid worden.



Analyse afname dikte ankerstangen Twentekanal



Analyse afname dikte ankerstangen Twentekanalen

Auteur(s)

Hans Landwehr

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	11
1.1	Context KpNK	11
1.2	Probleem/ambitie	11
1.3	Algemene kennisvragen	12
2	Ankerstangen onderzoek Twentekanalen	14
2.1	Algemeen	14
2.2	Informatie per locatie	15
2.2.1	Tekeningen	16
2.2.2	Ankerstang diameters en leeftijd	16
2.2.3	Ankerstang diameters en schroefdraad	17
2.2.4	Ankerstang staalsoort en bescherming	18
2.2.5	Ankerstangen grond en grondwater	19
2.3	Voorbehandeling ankerstangen	19
3	Analyse aanpak	21
3.1	Opstelling 3D scan	21
3.2	Behandelingen op 3D object	22
3.3	Bepaling dikteafname ankerstang	23
3.4	Invloed van mechanische beschadigingen in ankerstangen op resultaten	24
3.5	Analyse van de geconstateerde dikteafname resultaten	24
3.6	Relatie met norm NEN6766	25
4	Metingen locatie Anna	27
4.1	Foto's van de ankers	27
4.2	Analyse van de resultaten	27
4.2.1	Dikteafname ankerstang	28
4.2.2	Dikteafname schroefdraad	29
4.2.3	Trend locatie	30
5	Metingen locatie CTW	32
5.1	Foto's van de ankers	32
5.2	Analyse van de resultaten	32
5.2.1	Dikteafname ankerstang	32
5.2.2	Dikteafname schroefdraad	33
5.2.3	Trend locatie	33
6	Metingen locatie I-xx	35
6.1	Foto's van de ankers	35

6.2	Analyse van de resultaten	35
6.2.1	Dikteafname ankerstang	35
6.2.2	Dikteafname schroefdraad	36
6.2.3	Trend locatie	37
7	Metingen locatie II-xx	38
7.1	Foto's van de ankers	38
7.2	Analyse van de resultaten	38
7.2.1	Dikteafname ankerstang	38
7.2.2	Dikteafname schroefdraad	39
7.2.3	Trend locatie	40
8	Metingen locatie Loofr	42
8.1	Foto's van de ankers	42
8.2	Analyse van de resultaten	42
8.2.1	Dikteafname ankerstang	43
8.2.2	Dikteafname schroefdraad	44
8.2.3	Trend locatie	44
9	Conclusies resultaat dikteafname metingen Twentekanalen	46
9.1	Dikteafname	46
9.2	Relatie dikteafname met anker eigenschappen	49
9.3	Trends langs ankerstang	50
9.4	Relatie leeftijd en corrosie	52
9.5	Beeld maximale corrosie	53
	Bijlagen	55
A	Ankerstang locaties en gegevens	56
A.1	Anna	56
A.1.1	Locatiebeschrijving	56
A.1.2	Situatie	56
A.1.3	Tekeningen en gegevens	57
A.1.4	Grondopbouw	58
A.1.5	Visuele waarneming	60
A.2	CTW	62
A.2.1	Locatiebeschrijving	62
A.2.2	Situatie	62
A.2.3	Tekeningen en gegevens	62
A.2.4	Grondopbouw	63
A.2.5	Visuele waarneming	65
A.3	I – xx	66
A.3.1	Locatie beschrijving	66
A.3.2	Situatie	66
A.3.3	Tekeningen en gegevens	67
A.3.4	Grondopbouw	68
A.3.5	Visuele waarneming	69

A.4	II – xx	71
A.4.1	Locatiebeschrijving	71
A.4.2	Situatie	71
A.4.3	Tekeningen en gegevens	72
A.4.4	Grondopbouw	73
A.4.5	Visuele waarneming	74
A.5	Loofr	75
A.5.1	Locatiebeschrijving	75
A.5.2	Situatie	75
A.5.3	Tekeningen en gegevens	76
A.5.4	Grondopbouw	77
A.5.5	Visuele waarneming	78
A.6	Geen markering	79
A.6.1	Locatiebeschrijving	79
A.6.2	Situatie	79
A.6.3	Tekening en gegevens anker	80
A.6.4	Grondopbouw	80
A.6.5	Foto's	80
B	Chemische analyse corrosieproducten ankerstangen Twentekanalen	83
B.1	Inleiding	83
B.2	Visuele indruk van bemonsterde samples	83
B.3	Analysemethode	83
B.4	Resultaten	84
B.4.1	Elementanalyse	84
B.4.2	Chemische componenten (TGA)	86
B.5	Samenvatting	88
C	Resultaten 3D scan analyse	89
C.1	Anna	90
C.1.1	Anna-01	90
C.1.1.1.	Object Anna-01	90
C.1.1.2.	Resultaten 3D scan	92
C.1.1.3.	Resultaten schroefdraad	93
C.1.2	Anna-02	95
C.1.2.1.	Object Anna-02	95
C.1.2.2.	Resultaten 3D scan	96
C.1.2.3.	Resultaten schroefdraad	97
C.1.3	Anna-03	98
C.1.3.1.	Object Anna-03	98
C.1.3.2.	Resultaten 3D scan	99
C.1.3.3.	Resultaten schroefdraad	100
C.1.4	Anna-04	101
C.1.4.1.	Object Anna-04	101
C.1.4.2.	Resultaten 3D scan	102
C.1.4.3.	Resultaten schroefdraad	103
C.1.5	Anna-05	105
C.1.5.1.	Object Anna-05	105
C.1.5.2.	Resultaten 3D scan	106
C.1.5.3.	Resultaten schroefdraad	107

C.1.6	Anna-06	108
C.1.6.1.	Object Anna-06	108
C.1.6.2.	Resultaten 3D scan	109
C.1.6.3.	Resultaten schroefdraad	110
C.1.7	Anna-07	111
C.1.7.1.	Object Anna-07	111
C.1.7.2.	Resultaten 3D scan	112
C.1.7.3.	Resultaten schroefdraad	113
C.1.8	Anna-08	114
C.1.8.1.	Object Anna-08	114
C.1.8.2.	Resultaten 3D scan	115
C.1.8.3.	Resultaten schroefdraad	116
C.1.9	Anna-09	117
C.1.9.1.	Object Anna-09	117
C.1.9.2.	Resultaten 3D scan	118
C.1.9.3.	Resultaten schroefdraad	119
C.1.10	Anna-10	121
C.1.10.1.	Object Anna-10	121
C.1.10.2.	Resultaten 3D scan	122
C.1.10.3.	Resultaten schroefdraad	123
C.1.11	Anna-11	124
C.1.11.1.	Object Anna-11	124
C.1.11.2.	Resultaten 3D scan	125
C.1.11.3.	Resultaten schroefdraad	126
C.1.12	Anna-12	127
C.1.12.1.	Object Anna-12	127
C.1.12.2.	Resultaten 3D scan	128
C.1.12.3.	Resultaten schroefdraad	129
C.2	CTW	130
C.2.1	CTW-01	130
C.2.1.1.	Object CTW-01	130
C.2.1.2.	Resultaten 3D scan	131
C.2.1.3.	Resultaten schroefdraad	132
C.2.2	CTW-03	133
C.2.2.1.	Object CTW-03	133
C.2.2.2.	Resultaten 3D scan	134
C.2.2.3.	Resultaten schroefdraad	135
C.3	I-xx	136
C.3.1	I-01	136
C.3.1.1.	Object I-01	136
C.3.1.2.	Resultaten 3D scan	137
C.3.1.3.	Beschadiging	138
C.3.1.4.	Resultaten schroefdraad	139
C.3.2	I-02	140
C.3.2.1.	Object I-02	140
C.3.2.2.	Resultaten 3D scan	141
C.3.2.3.	Resultaten schroefdraad	142
C.3.3	I-03	143
C.3.3.1.	Object I-03	143
C.3.3.2.	Resultaten 3D scan	144
C.3.3.3.	Resultaten schroefdraad	145
C.3.4	I-04	146
C.3.4.1.	Object I-04	146

C.3.4.2.	Resultaten 3D scan	147
C.3.4.3.	Beschadiging	148
C.3.4.4.	Resultaten schroefdraad	149
C.3.5	I-05	150
C.3.5.1.	Object I-05	150
C.3.5.2.	Resultaten 3D scan	151
C.3.5.3.	Resultaten schroefdraad	152
C.3.6	Keuze initiële diameter	153
C.4	II-xx	153
C.4.1	II-01	153
C.4.1.1.	Object II-01	153
C.4.1.2.	Resultaten 3D scan	154
C.4.1.3.	Resultaten schroefdraad	155
C.4.2	II-10	155
C.4.2.1.	Object II-10	155
C.4.2.2.	Resultaten 3D scan	156
C.4.2.3.	Resultaten schroefdraad	157
C.5	Loofr	158
C.5.1	Loofr-01	158
C.5.1.1.	Object Loofr-01	158
C.5.1.2.	Resultaten 3D scan	159
C.5.1.3.	Resultaten schroefdraad	160
C.5.2	Loofr-02	161
C.5.2.1.	Object Loofr-02	161
C.5.2.2.	Resultaten 3D scan	162
C.5.2.3.	Resultaten schroefdraad	163
D	Schroefdraad Diameter	165

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 VenR beslissing door de waterbeheerders wordt versterkt. In KpNK werken kennisinstellingen Deltares, TNO and Marin samen met het ministerie van Infrastructure and Water Management (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 is een invulling gegeven van het tweede jaar van KpNK 2021-2024. Daarin is voor werkpakket 1.2 Einde Levensduur Damwanden het volgende opgenomen m.b.t. tot 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 in onderhavige rapportage van de serie ankerstangen uit de Twentekanalen is toegelicht in het plan van aanpak¹. Voor de verruiming van het Twentekanaal zijn in 2022 damwanden vervangen. Dat bood de gelegenheid om voor de eerste maal in Nederland de in situ opgetreden dikteafname van damwanden en ankers in detail te onderzoeken. Doordat de damwanden over een grote lengte vervangen zijn kunnen de variaties in corrosie onderzocht worden in relatie tot de lokale omgevingscondities.

Dit 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. Momenteel is in deze norm de diameterafname voor ankerstangen 2,5 maal hoger dan de wanddikte afname van 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 wijzigingsvoorstel voor de NEN6766 te komen die is onderbouwd met metingen.

Het onderzoek zal leiden tot een dataset van degradatiegegevens van ankerstang metingen in zoetwater. Daarnaast worden analyseresultaten van degradatie en trends daarin opgeleverd. Beide resultaten zijn van belangrijk voor een nauwkeuriger prognose van de restlevensduur van damwanden.

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 toekomst 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 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?

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

Op dit moment is de werkhypothese dat de grootste aantasting direct achter de damwand zal plaatsvinden. Waarnemen van systematische verschillen over reeds de eerste 1,5 à 2 m direct achter de damwand zou ertoe leiden dat er in de veiligheidsfilosofie niet van de zeer ongunstige extreme waarde verdeling over de gehele ankerstang (serie-systeem) hoeft te worden uitgegaan maar slechts van een verdeling van de corrosie direct achter de damwand. Het is dus in deze eerste fase van het onderzoek niet perse nodig de gehele ankerlengte te verzamelen, dat kan in een later onderzoek alsnog gebeuren.

Om de ruimtelijke verdeling en locatie afhankelijkheid te kunnen vaststellen is de aanpak als volgt:

- Wat is de lokale variatie per locatie? Hiervoor hebben we 10 naast gelegen stangen nodig waarvan de onderlinge positie bekend is (nummers 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).

De voorliggende rapportage is een factual rapport van de verzamelde informatie en uitgevoerde metingen voor de onderzoekslocatie Twentekanalen. Daarbij wordt vooraf al opgemerkt dat beperkte ankerlengtes konden worden veiliggesteld en dat de details over de positie van elk anker onbekend zijn.

Deze factual rapportage zal samen met nog volgende rapportages van ankerstangen en damwand (Roggebotsluis) worden beoordeeld wat hieruit kan worden geleerd in relatie tot de openstaande kennisvragen en de norm NEN6766.

2 Ankerstangen onderzoek Twentekanalen

2.1 Algemeen

De ankerstangen voor dit onderzoek zijn op verzoek in 2022 door Rijkswaterstaat verzameld op diverse locaties langs de Twentekanalen waar op dat moment werkzaamheden werden uitgevoerd, zie Figuur 1. De details per locatie zijn weergegeven in Bijlage A. Het betreft ankerstangen behorende bij langsconstructies en bruggen in het Twentekanaal tussen sluis Delden en Hengelo en zijkanaal richting Almelo tussen de Cottwicherbrug (N346) en de A1, allen gebouwd in de jaren 80 van de 20^e eeuw. Het gaat om zogenaamde legankers, ankerstangen die nagenoeg horizontaal liggen en de hoofddamwand met een ankerwand (ankerscherm) verbinden.



Figuur 1 Ankerstanglocaties Twentekanalen.

De verzamelde ankerstangen betreffen de eerste circa 1,5 m van de ankerstang vanaf de damwandconstructie gerekend. Soms zit er nog een moer, een oog of dekplaat (volgplaat) op waarmee het anker aan de damwand vastzat en soms met een wartel aan het uiteinde waarmee deze ankerstang met de rest van de verankering verbonden was, zie Figuur 2. De onderzochte lengte van de ankerstangen is zoals aangeleverd, de stangen zijn niet ingekort.





Figuur 2 Foto's met voorbeelden van verzamelde ankerstangen.

Er is geen documentatie beschikbaar over de exacte positie van deze ankerstangen binnen de locaties waar de stangen van afkomstig waren.

2.2 Informatie per locatie

Van elke locatie is additionele informatie verzameld zoals ontwerptekeningen, grondonderzoek en visuele waarnemingen. De resultaten hiervan zijn in Bijlage A weergegeven. Rijkswaterstaat heeft vanuit hun archief tekeningen en grondonderzoeksresultaten geleverd. Verder is ook relevante informatie uit BROloket en Dinoloket aan Bijlage A toegevoegd.

2.2.1 Tekeningen

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

- [1] RWS-#3056203-v1, Tekening 82.0187, maart 1982, "Twentekanalen hoofdkanaal; Verruiming gedeelte km 45.165 – km 45.850; te maken werk".
- [2] RWS-#3056201-v1, Tekening 82.0188, maart 1982, "Twentekanalen hoofdkanaal; Verruiming gedeelte km 45.275 – km 45.850; Constructie damwand".
- [3] RWS-#3057333-v1, Tekening 86.0077, dec 1985, "Twentekanalen zijkanaal; Vernieuwing boordvoorziening en verruiming kanaalprofiel t.p.v. Cottwicherbrug, Warmtinkbrug en Linschofbrug; Situatie en details".
- [4] RWS-#3057332-v1, Tekening 86.0078, dec 1985, "Twentekanalen zijkanaal; Vernieuwing boordvoorziening en verruiming kanaalprofiel t.p.v. Cottwicherbrug, Warmtinkbrug en Linschofbrug; Details starre verankering".
- [5] RWS-#3055433-v1, Tekening 82.0616, mei 1982, "Twentekanalen algemeen; Damwandverankering".
- [6] RWS-#3055435-v1, Tekening 82.0200, nov 1984, "Twentekanalen algemeen; Damwandverankering".
- [7] RWS-#3057365-v1, Tekening 83.1015, jan 1984, "Twentekanalen zijkanaal; Verruiming gedeelte km 4.125-km6.225 westoever; Onderdelen damwandverankering".
- [8] RWS-#3057336-v1, Tekening 87.0402, juli 1987, "Twentekanalen zijkanaal; Verruiming gedeelte km 6.300-km9.800; Te maken werk km 8.200-9.800".
- [9] RWS-#3057352-v1, nr. 79.0533, mei 1979 "Twentekanalen – zijkanaal, verruiming gedeelte km 1.690-km4.080".

2.2.2 Ankerstang diameters en leeftijd

In Tabel 1 zijn kenmerkende gegevens per locatie samengevat. De tekeningen suggereren ankers met een ontwerpdiameter van 36 mm of 52 mm. Dat bleek bij visuele waarneming en handmeting niet altijd juist.

Tabel 1 Kenmerkende gegevens van de verzamelde ankerstangen per locatie.

Locatie	Beschrijving	Aantal ankers	Tekening geleverd	Initiële ankerstang diameter [mm]		Leeftijd in 2022 [jaar]
				Volgens tekening	Handmeting laboratorium	
Anna	zuidwestoever naast St. Annabrug Delden	12	[1] [2] Situatie 7 km naar oosten (1)	36	36	40
CTW	noordwestoever Cottwicherbruggen N348 (rond 1986)	3	[3] [4] Situatie voor 3 bruggen	36	52 (2)	38
I – xx	noordwest – oever ten westen van Lonnekerbrug (1987-1988)	5	[5] [6] [9]	36	36	35
II – xx	Westoever zijkanaal, tussen Rijssenseweg en A1 (bouwjaar niet exact bekend 1983-1984 of 1987-1988)	2	[7] [8]	36, 52	32 (2)	36

Loofr	Loofrietbrug (A35 tussen Delden en Hengelo)	2	[5] Situatie 3,5 km naar oosten (1)	36	32 (2)	36
Geen markering	rand ten zuidwesten van St. Annabrug Delden	Geen analyse	Nee, verwezen naar Anna	nvt	nvt	nvt

(1) Er zijn geen betere tekeningen beschikbaar; bij Anna (op 7 km afstand en ander kanaalpand) is onzeker of tekening de situatie goed beschrijft

(2) Visuele inspectie gaf aan dat de diameter afweek van de tekening. Handmatig opmeten van de ankerstangen en rekening houdend met handelsmaten leverde de aangepaste diameter.

De tekeningen zijn soms van een ander deel langs het kanaal. Het principe van de legankers, blijkt uit mondelinge informatie met RWS en bevestigd door de visuele waarnemingen, komt echter wel overeen. Uit Tabel 1 blijkt dat de leeftijd van de ankerstangen bij alle locaties ongeveer gelijk is, namelijk 35 - 40 jaar. Verder blijkt dat bij sommige locaties de initiële ankerstang diameter bij een handmatige controle afwijkt van de tekening. Bij de analyses zal uitgegaan worden van de handmatige meting. Op basis van deze handmatige meting is een diameter gekozen op hele mm's die het dichtst bij de waarneming in de categorie 32-36-40-44-48-52 mm, welke overeenkomen met de handelsmaten.

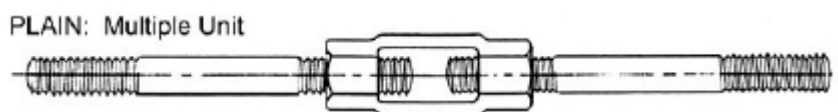
De ankerstangen met locatiebeschrijving 'Geen markering' in Tabel 1 zijn niet verder geanalyseerd in verband met te korte stukken, te grote verbuigingen en mechanische beschadigingen.

2.2.3 Ankerstang diameters en schroefdraad

Aan de uiteinden van een ankerstang zit schroefdraad. Op basis van de tekeningen wordt afgeleid dat sprake is van ankers waarbij het schroefdraad in de ankerstang is ingesneden, zie Figuur 3. 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 buiten diameter 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 3 Principe ankerstang schroefdraad [bron ²]

Het schroefdraad zorgt dus voor een vermindering van de oorspronkelijk aanwezige ankerstang diameter, immers het schroefdraad wordt in het staal gesneden. In Bijlage D 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.

² ACE Marine Rigging & Supply. (z.d.). Tie Rods. Opgehaald van Website over Tie Rods: http://www.acemarinerrigging.com/assets/products/hdwr_tie_rods.htm

Soms is er op het uiteinde van de ankerstang sprake van een via een smeedproces aangebracht oog of een kopmoer, zie Figuur 4. In dat geval is er geen schroefdraad en is de ankerstang zelf het zwaktste deel.



Figuur 4 Voorbeelden van via smeedproces aangebracht oog of kopmoer/bol [bron³].

2.2.4 Ankerstang staalsoort en bescherming

Op een aantal tekeningen is aangegeven dat de ankerstangen thermisch verzinkt zijn. Thermisch verzinken⁴ is een veelgebruikte methode van verzinken, bedoeld om staal of ijzer te beschermen tegen corrosie. In het laboratorium zijn de stangen beoordeeld visueel beoordeeld op de verwachte bescherming, zie Bijlage A. Tevens zijn chemische analyses uitgevoerd op corrosieproducten, zie Bijlage B. In Tabel 2 zijn deze gegevens samengevat.

Tabel 2 Gegevens staal en bescherming van de verzamelde ankerstangen per locatie.

Locatie	Staal	Corrosiebescherming Volgens tekening	Corrosiebescherming visuele inspectie en chemische analyse	Leeftijd [jaar]
Anna	Niet vermeld	Niet vermeld	Geen bescherming	40
CTW	Fe360	Niet vermeld	Zinklaag zichtbaar	38
I – xx	Niet vermeld	Thermisch verzinkt	Zinklaag zichtbaar	35
II – xx	Fe360;	Thermisch verzinkt	Geen zinklaag aanwijzingen voor organische coating ⁵	36
Loofr	Niet vermeld	Niet vermeld	Geen zinklaag, aanwijzingen voor organische coating	36

Uit Tabel 2 blijkt dat alleen bij locaties CTW en I-xx er sprake was van een zinklaag. Bij de overige locaties II-xx en Loofr is mogelijk sprake van een organische corrosiebescherming (teerlaag). Een bescherming met een teer coating was vroeger een gebruikelijke methode (KIVI, 1938).

³ Anker Schroeder. (2015). Anchors for marine structures. Dortmund, Duitsland: Anker Schroeder ASDO GmbH.

⁴ Thermisch verzinken zorgt voor een beschermende laag van zink, die het metaal tegen corrosie beschermt. Wordt deze laag doorbroken, dan treedt het zink op als offeranode, zodat het ijzer door het zink beschermd wordt. De laagdikte is afhankelijk van de staalsamenstelling, de materiaaldikte en de tijd in het zinkbad. Bij normaal constructiestaal wordt na het verzinken een laagdikte bereikt tussen 30 µm (staal van 2 mm) en 180 µm (staal van 20 mm). Dit zijn gangbare laagdiktes die afhankelijk van de omstandigheden kunnen variëren. Thermisch verzinken geeft een hoge weerstand tegen slijtage (de beschermende zinklaag verbindt zich tijdens het verzinkproces chemisch met het staal, zodat de laag buitengewoon sterk met het staaloppervlak wordt verbonden) en er wordt een langdurige corrosie bestendigheid bereikt.

⁵ Organische coating : een opgesmeerde teerlaag

De staalkwaliteit wordt aangenomen op standaard FE360 voor alle stangen vanwege de overeenkomende tijdsperiode van installatie.

2.2.5 Ankerstangen grond en grondwater

In Tabel 3 is de informatie met betrekking tot de beschikbare gegevens van grond en grondwater samengevat.

Tabel 3 Gegevens grond en grondwater van de verzamelde ankerstangen per locatie.

Locatie	Hoogte anker-damwand aansluiting [m]	Meest waarschijnlijk e grondlaag ankerdiepte	Kanaalpeil [m tov NAP]	Grondwaterstand ankerzijde [m tov NAP] (1)
Anna	0,3 m boven kanaalpeil	zand	+16	+14
CTW	Niet aangegeven	zand	+10	+ 9,7 à +10,2
I – xx	0,3 m boven kanaalpeil	zand	+25	+ 24,2
II – xx	Niet aangegeven	zand	+10	+ 9,5 à +10,4 m
Loofr	0,3 m boven kanaalpeil	zand	+16	+ 14,7

(1) momentopname, gebaseerd op waarnemingen van aangetroffen grondwater bij uitvoering boringen

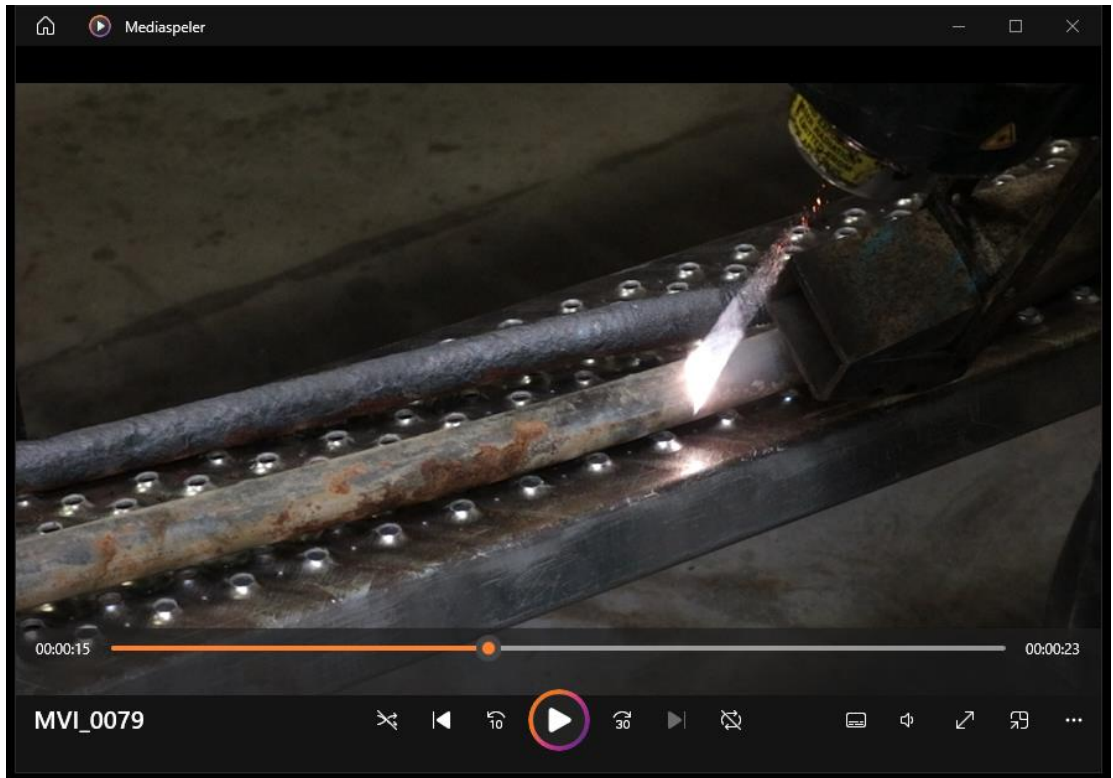
Uit Tabel 3 blijkt dat alle ankers in zandige grond liggen. De ankers liggen nagenoeg horizontaal. Op basis van de zeer beperkt beschikbare gegevens van grondwater lijkt het erop dat de grondwaterstand achter de damwand zich onder of soms rond het kanaalpeil bevindt. Er zijn verder geen aanwijzingen dat er sprake is van significante grondwaterstroming nabij de ankers.

2.3 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.

Bij deze serie ankers zijn de ankerstangen bij een bedrijf in België met een pulserende laser van 1000 Watt 'schoongebrand', zie Figuur 5. Hierbij wordt roest en andere deeltjes verwijderd. Het voordeel hierbij is dat het metaal niet beschadigd. Het metaal wordt hierbij wel verwarmd tot ongeveer 60 graden Celsius.



Figuur 5 Schoonbranden met een laser.

De ankerstangen hebben veelal schroefdraad aan de zijde waarmee het anker vastzat aan de damwand. Aan de andere zijde ontbreekt de schroefdraad vaak of is schroefdraad aanwezig waar met een wartel een verbinding was met de rest van het leganker. Over het algemeen is er sprake van één van de volgende situaties aan het uiteinde van een ankerstang:

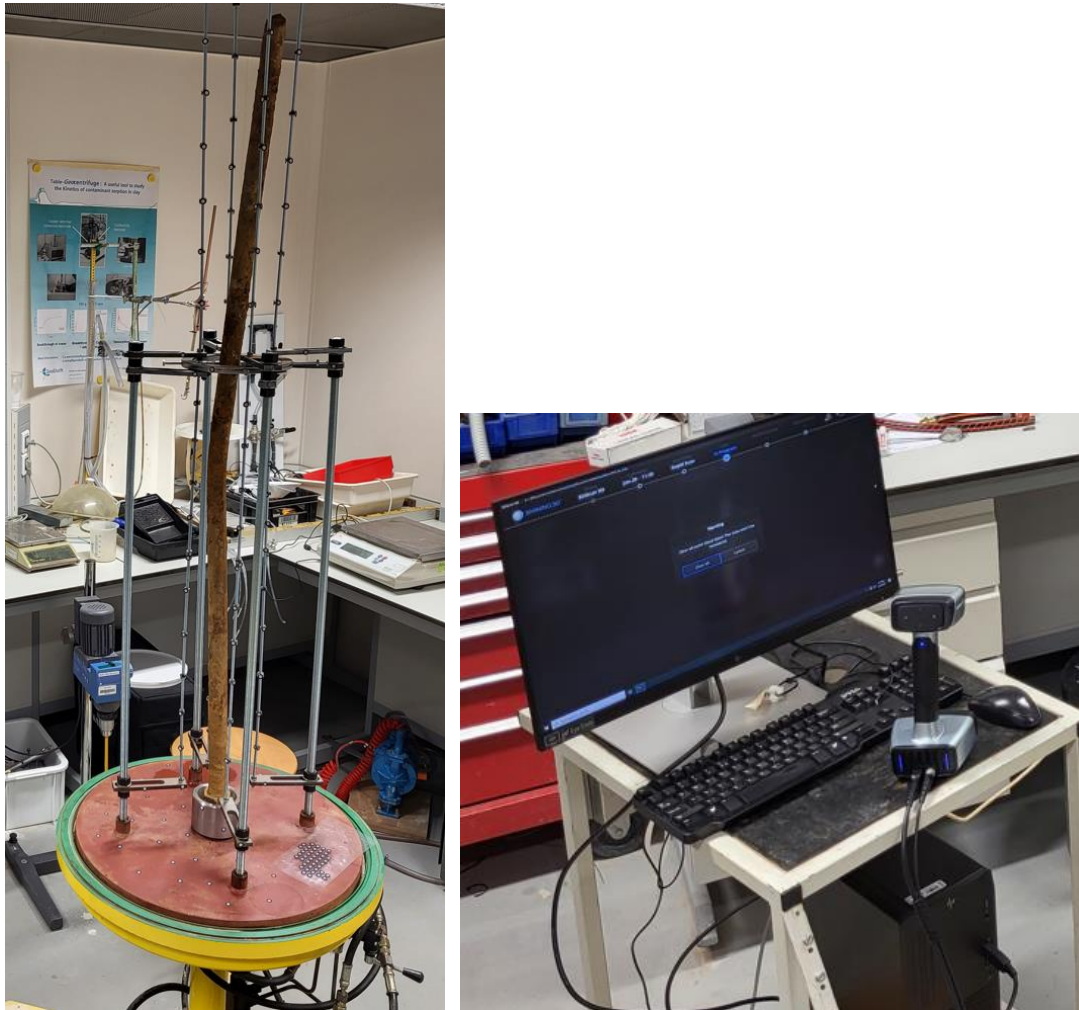
- Schroefdraad, waarop een afdekschroef of wartel aanwezig was.
- Scherp zaagvlak omdat het anker hier machinaal is afgezaagd.
- Schadevlak omdat het anker op een andere wijze hier is afgekort.

Voor de analyse zijn onderdelen die losgehaald kunnen worden zoals een afdekplaat of wartel verwijderd. De afdekschroeven zitten zeer vast aan de schroefdraad en zijn niet verwijderd.

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 Twentekanalen in 1 keer kunnen worden gescand. De ankerstangen worden recht op 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 6.



Figuur 6 3D 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 6 (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. Met behulp van de software tool FreeCad is het 3D object gemaakt.

3.2 Behandelingen op 3D object

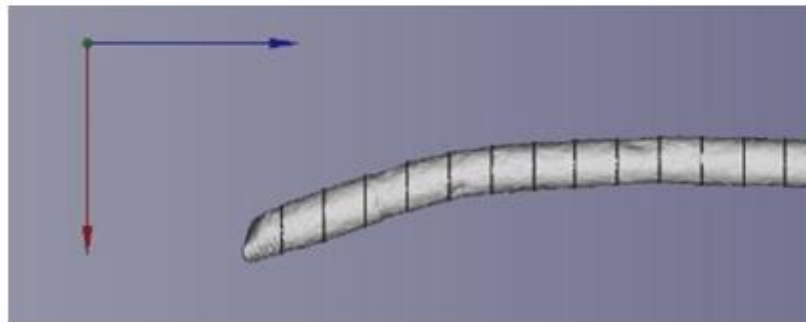
Na het verkrijgen van een digitaal model van de ingescande ankerstang zijn enkele handelingen nodig om te komen tot getalwaarden voor oppervlak of straal (halve diameter) van de ankerstang.

Die handelingen 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 7 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.



51 cross sections for determining the centerline



detail of a part of the cross sections

Figuur 7 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. Elk 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 B.

3.3 Bepaling dikteafname ankerstang

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

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

Figuur 2 uit NEN6766 laat zien dat bij een ronde ankerstang de dikteafname gelijk is aan de afname van de diameter van de ankerstang. In Figuur 8 is een afdruk van de figuur uit de NEN norm gegeven.



Figuur 8 Definitie dikteafname ankerstang volgens NEN6766.

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 spoed. Op basis van de 3D scan resultaten wordt een spoed verwacht van 4 mm. 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 rekening houdend met de spoed.
 d_{gemeten} gemeten diameter ankerstang.

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 een kans dat er meer dikteafname op het schroefdraad is opgetreden dan kan worden afgeleid.

3.4 Invloed van mechanische beschadigingen in ankerstangen op resultaten

Sommige ankerstangen zijn sterk 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 niet 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.

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*gemiddelde straal – 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 dikte afname 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

Elke stang is de eerste 1 à 1,5 m uit een leganker. Er kan geen trend afgeleid worden over het gehele anker.

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

Er is geen informatie over de positie van de ankerstangen ten opzichte van elkaar. De ankerstangen zijn bovendien slechts 1 à 1,5 m lang. Er kan daarom niet per locatie een beeld van de ruimtelijke variatie worden gemaakt.

3.6 Relatie met norm NEN6766

Om de gemeten dikteafnames te duiden is het goed de relatie met norm NEN6766 aan te geven. Sinds 2021 is NEN6766:2021, Corrosie stalen elementen in de ondergrond – Eisen voor ontwerp en toepassing, in werking. Deze norm beschrijft de o.a. met welke corrosie dient te worden rekening gehouden bij ontwerp. Om een vergelijking te kunnen maken met de gemeten dikteafname van de ankerstangen worden een aantal uitgangspunten vastgesteld, die voor ankerstangen voldoet aan artikel (3a) in H5.2, nl. dat de ankerstang is omringd door grond (zie Tabel 4). In de norm worden 2 grondtypen onderscheiden. Met dit onderscheid en de resultaten in H2.2 wordt geconstateerd dat grondtype I onwaarschijnlijk is. Daarbij wordt opgemerkt dat als het anker boven kanaalpeil wordt aangesloten op de damwand de kans evident groter is dat er sprake is van grondtype II.

Tabel 4 Uitgangspunten in relatie met NEN6766.

Stalen constructieonderdeel is omringd door grond
Betreft schone grond, grond waarin geen verontreinigende stoffen voorkomen die leiden tot een verhoogde corrosie
Grondtype I (Schone grond die zich permanent beneden de laagste grondwaterspiegel bevindt en waarbij bovendien geen regelmatige verversing van het grondwater optreedt door stroming)
Grondtype II (Alle overige gevallen van schone grond)
Groep 4 (Geen herverdeling van spanningen b is mogelijk; element grenst aan twee of meer zijden aan niet-afgesloten grond)

In NEN6766 is aangegeven dat voor onbeschermd staal bij ontwerp rekening dient te worden gehouden met de in Tabel 5 genoemde rekenwaarden⁶ van de staaldikte afname. Voor T=35 en 40 jaar, de gemiddelde leeftijd van de onderzochte ankers bij de Twentekanalen, is de waarde geïnterpoleerd.

Tabel 5 Rekenwaarde van de staaldikteafname conform NEN6766.

Groep	Grondtype	Rekenwaarde van de staaldikte afname [mm]						
		T=5 jaar	T=10 jaar	T=25 jaar	T=35 jaar*	T= 40 jaar*	T=50 jaar	T=100jaar
4	I	0,5	0,8	1,5	2,1	2,4	3,0	6,0
4	II	1,0	1,8	3,5	4,5	5,0	6,0	11,0

* Lineair geïnterpoleerd

Met betrekking tot putcorrosie of EIC stelt NEN6766 in H5.3 (2) dat:

Van staalsoorten met een nominale vloeigrens kleiner of gelijk aan $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$, mag op voorhand worden aangenomen dat deze niet gevoelig zijn voor deze vorm van corrosie. Het voldoen aan deze nominale vloeigrens kan worden aangetoond door middel van een testrapport of certificaat van het gebruikte staal.

Bij de onderzochte ankerstangen is sprake van FE360, dus het verantwoord ervan uit te gaan dat alleen algemene afroesting wordt verwacht.

⁶ Dit zijn rekenwaarden welke naar verwachting significant groter zouden moeten zijn dan de gemiddelde dikteafname.

4 Metingen locatie Anna

De locatie en archiefgegevens zijn weergegeven in Bijlage A.1.
De resultaten van de metingen zijn weergegeven in Bijlage B.1.

4.1 Foto's van de ankers



Figuur 9 Ankerstangen locatie Anna.

4.2 Analyse van de resultaten

De resultaten van de analyse zijn hieronder aangegeven. Er zijn op deze locatie geen bijzondere beschadigingen gezien. Alle meetdata is meegenomen. Over het algemeen zijn de stangen geanalyseerd van de damwandzijde (links) tot van de damwand af. Van de stangen Anna-02, Anna-05, Anna-07 en Anna-08 is niet zeker waar de damwandzijde zich bevindt.

Tabel 6 Kenmerkende gegevens ankerstangen locatie Anna.

ID	Initiële diameter [mm]	Leeftijd [jaar] *	Staalkwaliteit	Corrosie bescherming	Ligging grondsoort	Ligging grondwater	Aantal stangen
Anna-01 t/m Anna-12	36	40	FE360	Geen bescherming	zand	Boven grondwater	12

* in 2022

4.2.1 Dikteafname ankerstang

De gemiddelde dikteafname van de ankerstang (deel zonder schroefdraad) op deze locatie is 0,8 mm en de maximale is 2,27 mm, zie Tabel 7. Ankerstang Anna-04 is een stang die zichtbaar meer dikteafname laat zien, +70% ten opzichte van het gemiddelde, de reden hiervoor is onbekend.

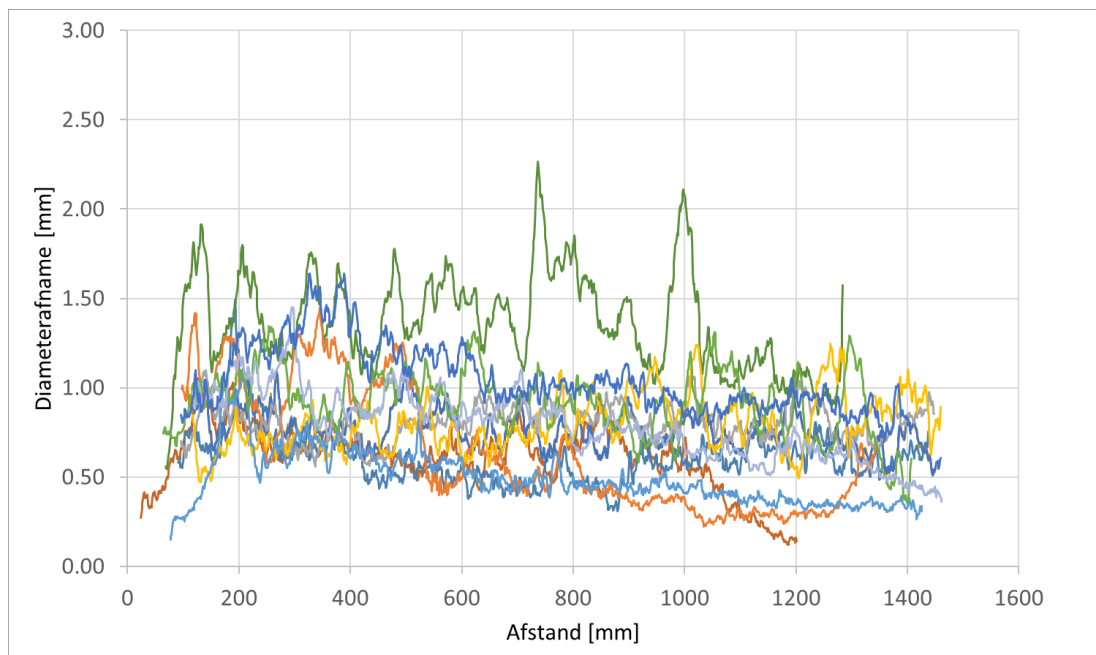
In Tabel 7 zijn de resultaten van de dikteafname van alle Anna locaties weergegeven.

Tabel 7 Dikteafname ankerstangen locatie Anna per stang.

ID	Lengte stang [mm]	Gemiddelde straal gemeten [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname (diameterafname) [mm]				Afstand max dikteafname [mm]
				Gem	St dev	Min	Max	
Anna-01	1222	17.69	35.38	0.61	0.183	0.10	1.05	126
Anna-02	1443	17.62	35.24	0.78	0.279	0.31	1.52	955
Anna-03	1437	17.69	35.39	0.60	0.149	0.31	1.49	193
Anna-04	1284	17.31	34.63	1.37	0.272	0.55	2.27	737
Anna-05	1522	17.61	35.23	0.76	0.104	0.51	1.09	267
Anna-06	1541	17.68	35.36	0.64	0.339	0.22	1.45	345
Anna-07	1502	17.59	35.18	0.81	0.101	0.56	1.10	141
Anna-08	1500	17.60	35.20	0.80	0.151	0.47	1.25	1262
Anna-09	1477	17.75	35.50	0.50	0.154	0.15	1.11	208
Anna-10	1462	17.54	35.08	0.92	0.179	0.35	1.34	253
Anna-11	1509	17.60	35.20	0.79	0.194	0.36	1.45	294
Anna-12	1406	17.475	34.95	1.05	0.187	0.70	1.64	389
Gemiddelde van 12 stangen			35.20	0.80	0.191			

Tabel 7 laat zien dat de locatie waar de maximale dikteafname is geconstateerd niet op een vaste plek van de ankerstang wordt geconstateerd.

In Figuur 10 zijn de resultaten van de dikteafname van alle Anna-locaties weergegeven.



Figuur 10 Dikte afname per stang locatie Anna (horizontaal afstand langs stang in mm, verticaal dikteafname in mm).

4.2.2 Dikteafname schroefdraad

Bij de schroefdraad delen van de ankerstangen, daar waar geen moer op het schroefdraad zit, treedt ook een afname op ten opzichte van de initiële diameter, $d_{2;initieel}$ van de schroefdraad. De maximale dikteafname per schroefdraad gedeelte van een ankerstang ten opzichte van de initiële diameter, $d_{2;initieel}$ is gegeven in Tabel 8 en bedraagt aan de damwandzijde 2,07 mm en aan de achterzijde 2,08 mm.

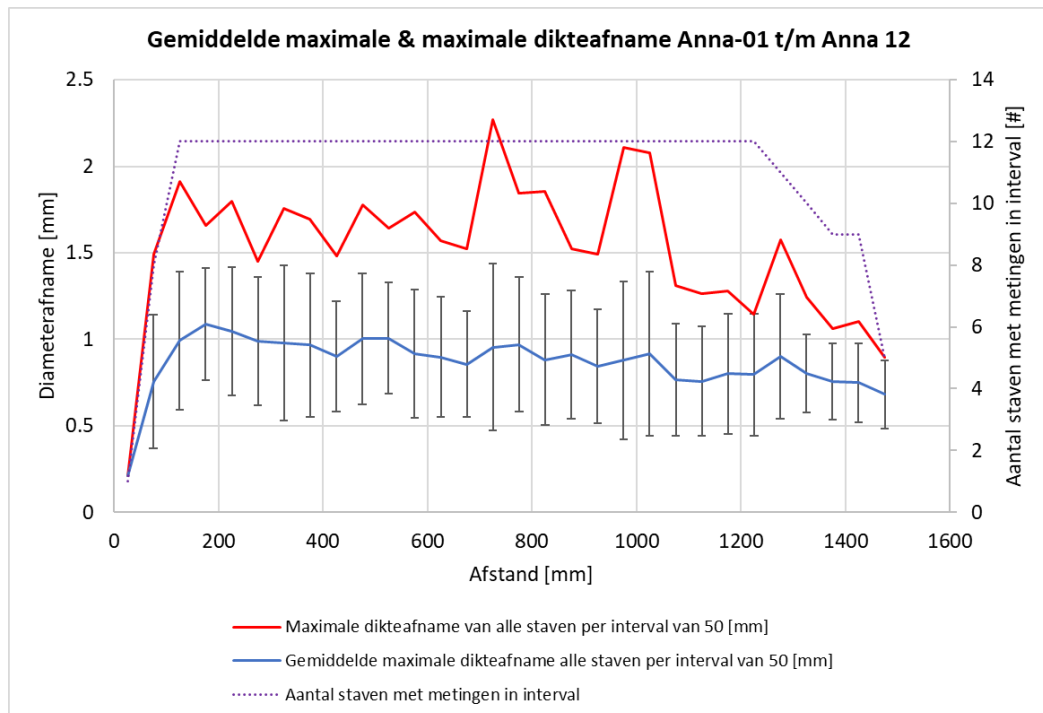
Tabel 8 Dikteafname op schroefdraad Anna.

Maatgevende waarde	Damwandzijde [mm]	Achterzijde [mm]
Anna-01	0.33	*
Anna-02	*	1.37
Anna-03	0.72	-
Anna-04	0.92	-
Anna-05	1.08	1.02
Anna-06	2.07	-
Anna-07	1.24	1.29
Anna-08	0.87	2.08
Anna-09	-0.25	1.38
Anna-10	0.58	1.37
Anna-11	0.82	0.86
Anna-12	1.52	-
Maximale dikteafname	2.07	2.08
Gemiddelde dikteafname	0.77	1.06

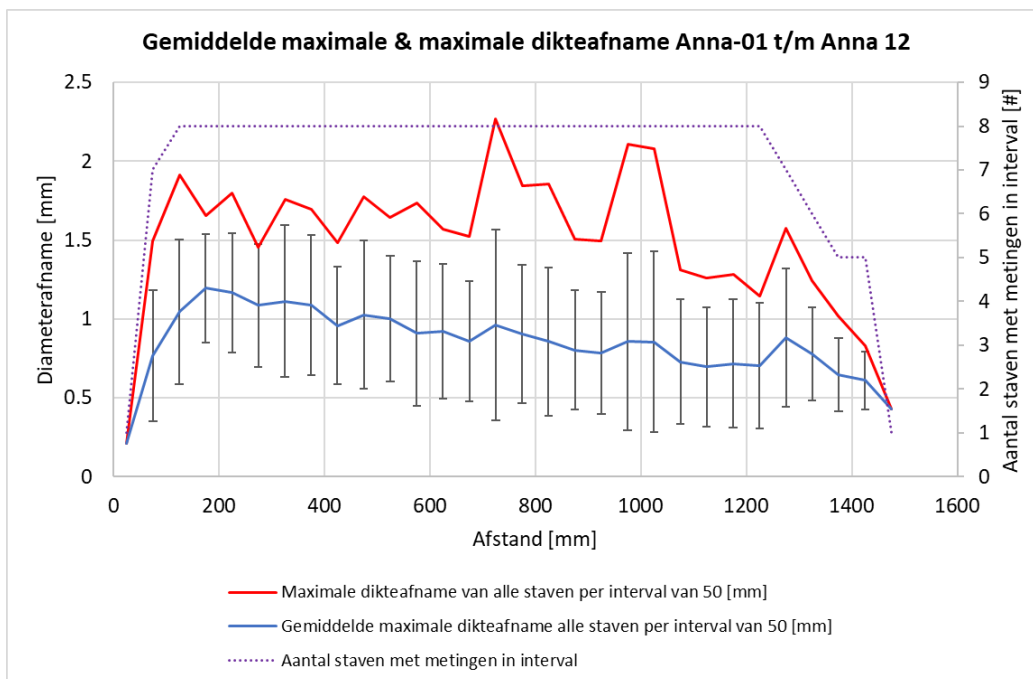
* door beschadiging niet maximale afname

4.2.3 Trend locatie

Door de data te filteren en uitsluitend de maximale dikteafnames per 50 mm ankerstang lengte te beschouwen kunnen de standaarddeviatie van deze maxima en extreme waarde van de ankerstangen per 50 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 11. Over het algemeen zijn de stangen geanalyseerd van de damwandzijde (links) tot van de damwand af. Van de stangen Anna-02, Anna-05, Anna-07 en Anna-08 is onduidelijk waar de damwandzijde zich bevindt. Wanneer de resultaten van deze 4 ankerstangen worden weggelaten geeft dit de resultaten in Figuur 12.



Figuur 11 Trend in gemiddelde maximale dikteafname voor locatie Anna.



Figuur 12 Trend in gemiddelde maximale dikteafname voor locatie Anna waarvan zeker is dat zij van de damwand zijn opgemeten.

Opgemerkt wordt dat wanneer wordt gefilterd per 100 mm dezelfde trend zichtbaar blijft. Gezien de lengte van de ankerstang blijven dan circa 10 meetpunten over. De filtering op 50 mm levert daarom een duidelijk en nauwkeuriger resultaat van de trend. Deze waarde is ook bij de overige locaties worden toegepast.

Er is van de gemiddelde van de maxima per stang een sterk toenemende trend over de eerste 15 cm waarneembaar en een afnemende trend over de overige lengte als functie van de afstand tot de damwand. Wanneer de ankerstangen waarvan niet zeker is of ze vanaf damwand zijn ingemeten worden weggelaten (Figuur 9) dan is de afnemende trend van de gemiddelde van de maxima per stang nog duidelijker. Te zien is dat in de maximale waarde van de gemiddelde maximale dikteafname per stang bij Locatie Anna wordt gevonden in het interval 150-200 mm van kop ankerstang. Bij een grotere afstand neemt de dikteafname langzaam af van circa 1,2 mm tot circa 0,7 mm (bij circa 1,2 m waar bij alle ankerstangen nog een waarneming is).

Er is van de maxima van alle stangen een sterk toenemende trend over de eerste 15 cm waarneembaar waarna de maxima ongeveer gelijk blijven tot een afstand van 750 mm. Te zien is dat in de 3 hoogste maximale waarden van de maximale dikteafname bij Locatie Anna wordt gevonden in het interval 750-1050 mm van kop ankerstang hierna laten de maxima een aflopende trend te zien.

Op het schroefdraad deel aan voorzijde en achterzijde van de ankerstang worden maximale afnames van circa 2,0 mm aangetroffen wat duidelijk hoger is dan die op de ankerstang.

5 Metingen locatie CTW

De locatie en archiefgegevens zijn weergegeven in Bijlage A.2.
De resultaten van de metingen zijn weergegeven in Bijlage B.2.

5.1 Foto's van de ankers

Er zijn geen overzichtsfoto's beschikbaar.

5.2 Analyse van de resultaten

De geleverde tekening geeft aan dat sprake is van een ankerstang met diameter 36 mm (zie tabel H2.3). Op basis van de metingen in Bijlage B.2 is duidelijk dat sprake is van een grotere diameter. In andere beschikbare tekeningen is sprake van een diameter van 52 mm. Deze is nu in de analyse toegepast.

Tabel 9 Kenmerkende gegevens ankerstangen locatie CTW.

ID	Initiele diameter [mm]	Leeftijd [jaar] *	Staalkwaliteit	Corrosie bescherming	Ligging grondsoort	Ligging grondwater	Aantal stangen
CTW-01 t/m CTW-03	52	38	Fe360	Zinklaag zichtbaar	Zand	Boven grondwater- rond grondwater	2

* in 2022

** aannemelijk bij aanname dat volgens beschikbare tekeningen diameters 36 mm of 52 mm zijn toegepast.

5.2.1 Dikteafname ankerstang

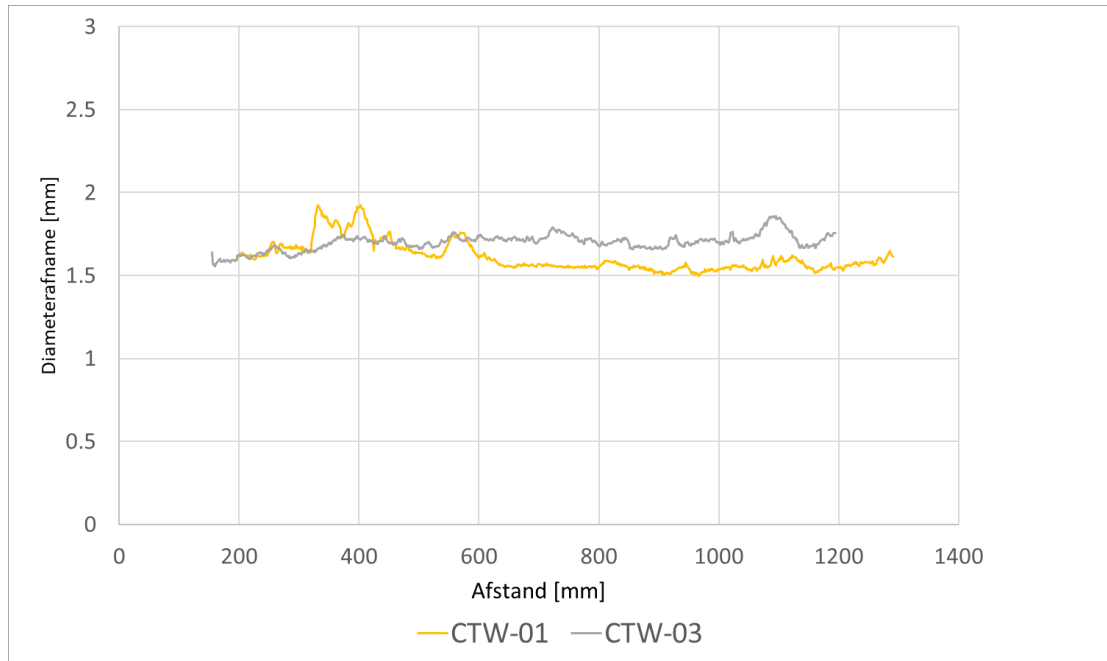
De gemiddelde dikteafname van de ankerstang (deel zonder schroefdraad) op deze locatie is 1,66 mm en de maximale is 1,92 mm, zie Tabel 10.

Tabel 10 Dikteafname ankerstangen locatie CTW per stang.

ID	Lengte stang [mm]	Gemiddelde straal gemeten [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname (diameterafname) [mm]				Afstand max dikteafname [mm]
				Gem	St dev	Min	Max	
CTW-01	1299	25.194	50.39	1.61	0.090	1.50	1.92	331
CTW-03	1199	25.150	50.30	1.70	0.049	1.56	1.86	1094
Gemiddelde van 2 stangen			50.35	1.66	0.070			

De dikteafname op deze locatie is iets hoger dan bij locatie Anna. Verder is de standaarddeviatie en dus ook het verschil tussen de gemiddelde dikteafname en de maximale en minimale dikteafname veel geringer is dan de overige locaties. De stangen zijn geanalyseerd van de damwandzijde (links) tot van de damwand af. Verder valt op dat de locatie waar de maximale dikteafname is geconstateerd niet op een vaste plek van de ankerstang wordt geconstateerd.

In Figuur 13 zijn de resultaten van de dikteafname van alle CTW-locaties weergegeven.



Figuur 13 Dikteafname per stang locatie CTW (horizontaal afstand langs stang in mm, verticaal dikteafname in mm).

5.2.2 Dikteafname schroefdraad

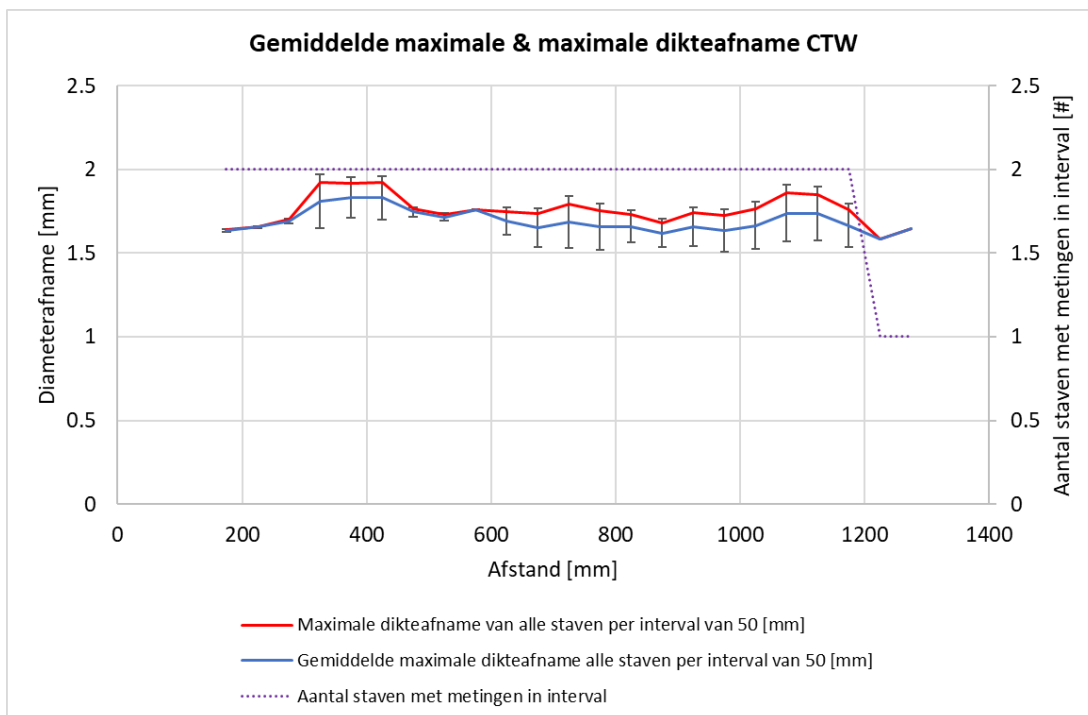
Bij de schroefdraad delen van de ankerstangen, daar waar geen moer op het schroefdraad zit, treedt ook een afname op ten opzichte van de initiële diameter, $d_{2;initieel}$ van de schroefdraad. De maximale dikteafname ten opzichte van de initiële diameter, $d_{2;initieel}$ per schroefdraad gedeelte van een ankerstang is gegeven in Tabel 11 en bedraagt 4,07 mm.

Tabel 11 Dikteafname op schroefdraad CTW.

Maatgevende waarde	Damwandzijde [mm]	Achterzijde [mm]
CTW-01	4.07	-
CTW-03	3.54	-
Maximale dikteafname	4.07	-
Gemiddelde dikteafname	3.81	-

5.2.3 Trend locatie

Door de data te filteren en uitsluitend de maximale dikteafnames per 50 mm ankerstang lengte kunnen de standaarddeviatie van deze maxima en extreme waarde van de ankerstangen per 50 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 14.



Figuur 14 Trend in gemiddelde maximale dikteafname per 50 mm voor locatie CTW.

Er lijkt geen significante trend als functie van de afstand tot de damwand waarneembaar van zowel de maximale als de gemiddelde van de maximale dikteafname per stang. Te zien is dat er geen waarnemingen zijn over de eerste 150 mm waarover bij locatie Anna juist de toename van de dikteafname het grootste was. De hoogste waarden bij locatie CTW wordt gevonden in het interval 300-400 mm van kop ankerstang. Bij een grotere afstand neemt de dikteafname globaal gezien (heel) langzaam af.

Op het schroefdraad deel aan de voorzijde van de ankerstang worden maximale afnames van circa 4,0 mm aangetroffen wat duidelijk hoger is dan die op de ankerstang.

6 Metingen locatie I-xx

De locatie en archiefgegevens zijn weergegeven in Bijlage A.3.
De resultaten van de metingen zijn weergegeven in Bijlage B.3.

6.1 Foto's van de ankers



Figuur 15 Ankerstangen locatie I-xx.

6.2 Analyse van de resultaten

Tabel 12 Kenmerkende gegevens ankerstangen locatie I-xx.

ID	Initiële diameter [mm]	Leeftijd [jaar] *	Staal-kwaliteit	Corrosie-bescherming	Ligging grond-soort	Ligging grond-water	Aantal stangen
I-01 t/m I-05	36,6 **	35	FE360	zinklaag	zand	boven grondwater	5

* in 2022

** op basis van meetresultaten is 36 mm zoals op tekening aannemelijk, echter de meetresultaten laten zien dat de initiële diameter groter moet zijn, initiële diameter aangenomen op maximale diameter zoals is waargenomen bij deze stangen (locatie I-04 maatgevend).

Uit Tabel 12 blijkt dat de initiële diameter die verwacht werd als 36 mm is verhoogd, omdat bij de verwachte initiële diameter negatieve dikteafname werd berekend. De initiële diameter is daarom verhoogd tot de maximale waargenomen diameter bij één van de 5 stangen van deze locatie, nl. 36,6 mm.

6.2.1 Dikteafname ankerstang

De gemiddelde dikteafname van de ankerstang (deel zonder schroefdraad) op deze locatie is 0,35 mm en de maximale is 1,25 mm, zie Tabel 13.

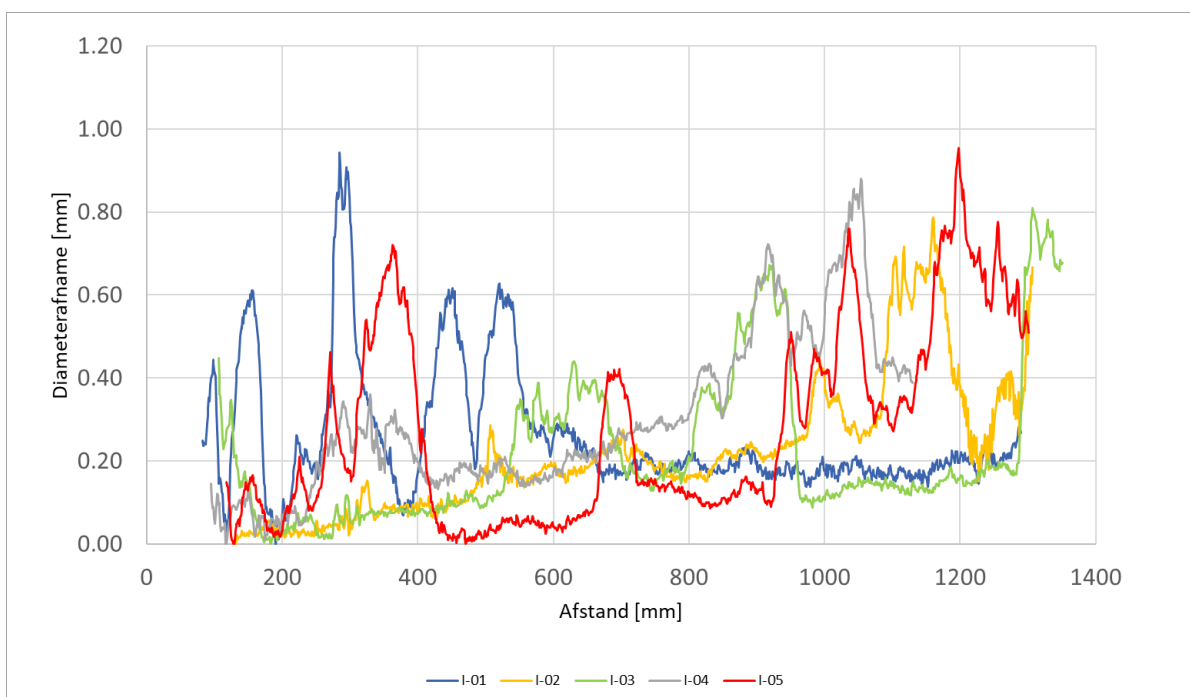
Tabel 13 Dikteafname ankerstangen locatie I-xx per stang.

ID	Lengte stang [mm]	Gemiddelde straal gemeten [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname (diameterafname) [mm]				Afstand max dikteafname [mm]
				Gem	St dev	Min	Max	
I-01	1303	18.142	36.28	0.32	0.155	0.06	1.00	285
I-02	1313	18.164	36.33	0.27	0.162	0.05	0.84	1160
I-03	1351	18.161	36.32	0.28	0.180	0.06	0.87	1307
I-04	1130	18.152	36.30	0.30	0.186	0.00	0.88	1054
I-05	1304	18.013	36.03	0.57	0.231	0.30	1.25	1198
Gemiddelde van 5 stangen			36.25	0.35	0.18			

De resultaten zijn gebaseerd op een gecorrigeerde initiële diameter op basis van de metingen. In werkelijkheid kan deze waarde nog iets groter zijn. Te zien is dat de nu afgeleide dikteafnames zeer gering zijn.

Tevens valt op dat de locatie waar de maximale dikteafname is geconstateerd niet op een vaste plek van de ankerstang wordt geconstateerd.

In Figuur 16 zijn de resultaten van de dikteafname van alle I-x locaties weergegeven. Alle stangen zijn geanalyseerd van de damwandzijde, de afstand 0 mm op de horizontale as in Figuur 16 is de locatie van de damwand.



Figuur 16 Dikteafname per stang locatie I-xx (horizontaal afstand langs stang in mm, verticaal dikteafname in mm).

6.2.2 Dikteafname schroefdraad

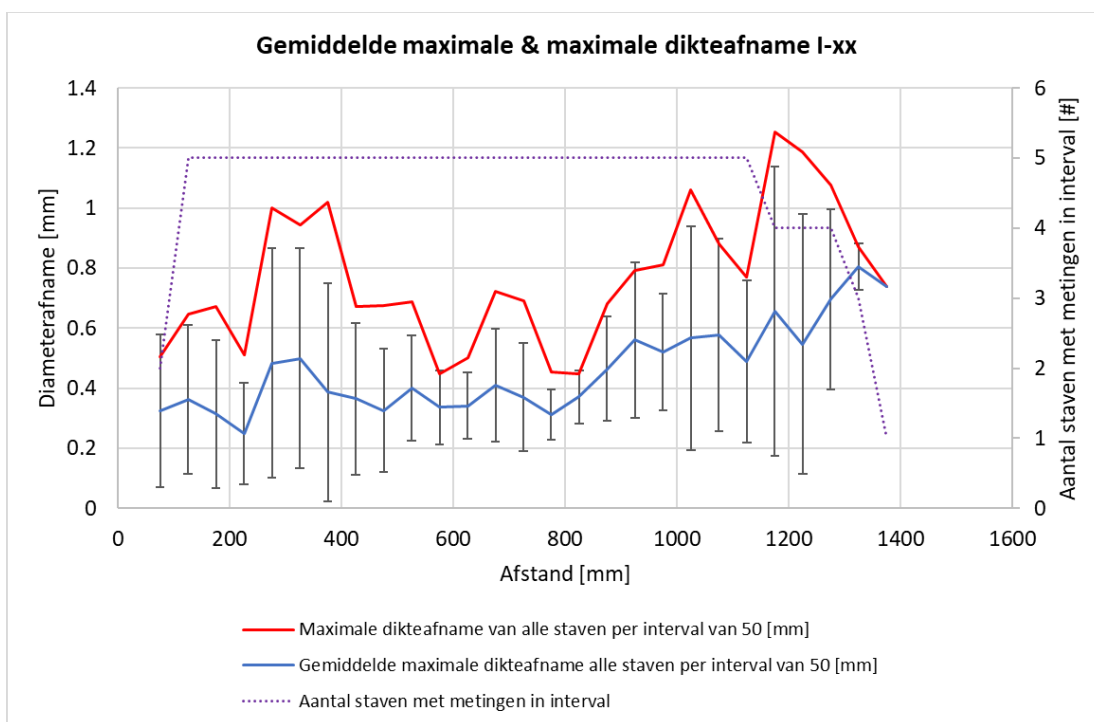
Bij de schroefdraad delen van de ankerstangen, daar waar geen moer op het schroefdraad zit, treedt ook een afname op ten opzichte van de initiële diameter, $d_{z,initieel}$ van de schroefdraad. De maximale dikteafname per schroefdraad gedeelte van een ankerstang is gegeven in Tabel 14 en bedraagt 3,1 mm.

Tabel 14 Dikteafname op schroefdraad I-xx.

Maatgevende waarde	Damwandzijde [mm]	Achterzijde [mm]
I-01	0.83	-
I-02	2.17	-
I-03	3.1	-
I-04	1.97	-
I-05	1.96	-
Maximale dikteafname	3.10	-
Gemiddelde dikteafname	2.01	-

6.2.3 Trend locatie

Door de data te filteren en uitsluitend de maximale dikteafnames per 50 mm ankerstang lengte kunnen de standaarddeviatie van deze maxima en extreme waarde van de ankerstangen per 50 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 17.



Figuur 17 Trend in gemiddelde maximale dikteafname voor locatie I-xx.

Er lijkt een toenemende trend waarneembaar als functie van de afstand tot de damwand.

Dit is een afwijkende trend van andere locaties zoals Anna.

Op het schroefdraad deel aan de voorzijde van de ankerstang worden maximale afnames van circa 3,1 mm aangetroffen wat duidelijk hoger is dan die op de ankerstang.

7 Metingen locatie II-xx

De locatie en archiefgegevens zijn weergegeven in Bijlage A.4.
De resultaten van de metingen zijn weergegeven in Bijlage B.4.

7.1 Foto's van de ankers



Figuur 18 Ankerstangen locatie II-xx.

Opgemerkt wordt dat alleen de lange ankerstangen zijn geanalyseerd.

7.2 Analyse van de resultaten

Tabel 15 Kenmerkende gegevens ankerstangen locatie II-xx.

ID	Initiele diameter [mm]	Leeftijd [jaar] *	Staalkwaliteit	Corrosie bescherming	Ligging grondsoort	Ligging grondwater	Aantal stangen
II-01 II-10	32	36	Fe360	Geen zinklaag, aanwijzingen voor organische coating	zand	Boven grondwater- rond grondwater	2

* in 2022.

** op basis van visuele waarneming en hand meting, zie H2.2.2.

7.2.1 Dikteafname ankerstang

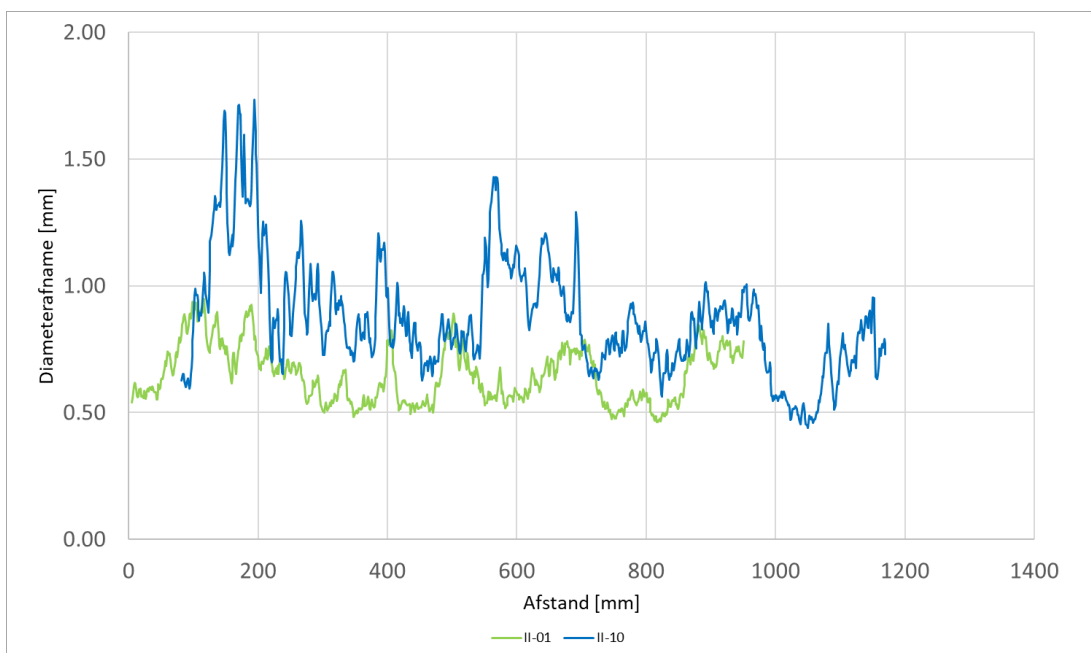
De gemiddelde dikteafname van de ankerstang (deel zonder schroefdraad) op deze locatie is 0,77 mm en de maximale is 1,73 mm, zie Tabel 16.

Tabel 16 Dikteafname ankerstangen locatie II-xx per stang.

ID	Lengte stang [mm]	Gemiddelde straal gemeten [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname (diameterafname) [mm]				Afstand max dikteafname [mm]
				Gem	St dev	Min	Max	
II-01	95	15.675	31.35	0.65	0.111	0.46	0.95	116
II-10	1170	15.562	33.12	0.88	0.230	0.44	1.73	194
Gemiddelde van 2 stangen				0,77	0,170			

Het is bij stang II-01 onzeker welke zijde de damwandzijde (links) betreft.

In Figuur 19 zijn de resultaten van de dikteafname van alle II-x locaties weergegeven.



Figuur 19 Dikte afname per stang locatie II-xx (horizontaal afstand langs stang in mm, verticaal dikteafname in mm).

7.2.2 Dikteafname schroefdraad

Bij de schroefdraad delen van de ankerstangen, daar waar geen moer op het schroefdraad zit, treedt ook een afname op ten opzichte van de initiële diameter, $d_{2;initieel}$ van de schroefdraad. De maximale dikteafname per schroefdraad gedeelte van een ankerstang is gegeven in Tabel 17 en bedraagt 0,96 mm (1 stang).

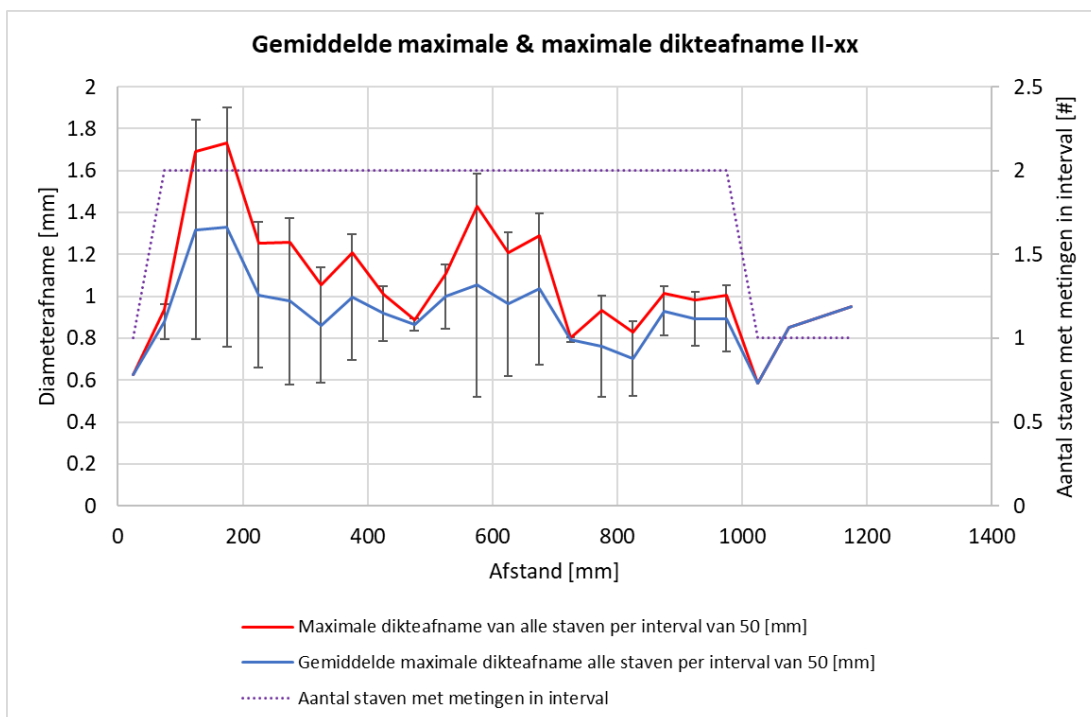
Tabel 17 Dikteafname op schroefdraad II-xx.

Maatgevende waarde	Damwandzijde [mm]	Achterzijde [mm]
I-01 *	-	-
I-02	0.96	-
Maximale dikteafname	0.96	-
Gemiddelde dikteafname	0.96	-

* Geen schroefdraad aanwezig

7.2.3 Trend locatie

Door de data te filteren en uitsluitend de maximale dikteafnames per 50 mm ankerstang lengte kunnen de standaarddeviatie van deze maxima en extreme waarde van de ankerstangen per 50 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 20.



Figuur 20 Trend in gemiddelde maximale dikteafname voor locatie II-xx.

Er is van de maxima en het gemiddelde van de maxima per stang een sterk toenemende trend over de eerste 15 cm waarneembaar en een afnemende trend over de overige lengte als functie van de afstand tot de damwand.

Van stang II-01 is onbekend of $X = 0$ de damwandzijde is. Echter het is met name stang II-10 die de trend bepaald. Weglaten van II-01 verandert niets aan de trend van de maxima die wordt bepaald door de andere stang en het gemiddelde van de maxima zal hoger komen te liggen want die komt dan overeen met de huidige maxima.

Op het schroefdraad deel aan de voorzijde van de ankerstang II-10 wordt een maximale afname van circa 1,0 mm aangetroffen wat lager is dan die op de ankerstang maar hoger dan bij de aansluiting met de ankerstang.

8 Metingen locatie Loofr

De locatie en archiefgegevens zijn weergegeven in Bijlage A.5.
De resultaten van de metingen zijn weergegeven in Bijlage B.5.

8.1 Foto's van de ankers



Figuur 21 Ankerstangen locatie Loofr.

8.2 Analyse van de resultaten

Tabel 18 Kenmerkende gegevens ankerstangen locatie Loofr.

ID	Initiele diameter [mm]	Leeftijd [jaar] *	Staalkwaliteit	Corrosie bescherming	Ligging grondsoort	Ligging grondwater	Aantal stangen
Loofr-01 Loofr-10	32**	36	FE360	Geen zinklaag, aanwijzingen voor organische coating	zand	Boven grondwater	2

* in 2022.

** op basis van visuele waarneming en hand meting, zie H2.2.2.

8.2.1 Dikteafname ankerstang

De gemiddelde dikteafname van de ankerstang (deel zonder schroefdraad) op deze locatie is 1,70 mm en de maximale is 5,57 mm, zie Tabel 19.

Tabel 19 Dikteafname ankerstangen locatie Loofr per stang.

ID	Lengte stang [mm]	Gemiddelde straal gemeten [mm]	Gemiddelde diameter gemeten [mm]	Dikteafname (diameterafname) [mm]				Afstand max dikteafname [mm]
				Gem	St dev	Min	Max	
Loofr-01	1367	15.09	30.18	1.84	0.834	0.92	5.57	602
Loofr-02	1573	15.22	30.44	1.56	0.553	0.56	4.15	951
Gemiddelde van 2 stangen				1,70	0,693			

De tabel geeft aan dat de maximale dikteafname niet op een vaste locatie langs de ankerstang optreedt.

Uit Figuur 22 blijkt dat bij deze ankerstangen op een aantal delen van de ankerstang sterk grotere afname van de diameter wordt gemeten, zie Bijlage C.5. Omdat er geen sprake is van plastische vervorming of het resultaat van mechanische beschadiging wordt de oorzaak toegeschreven aan corrosie.

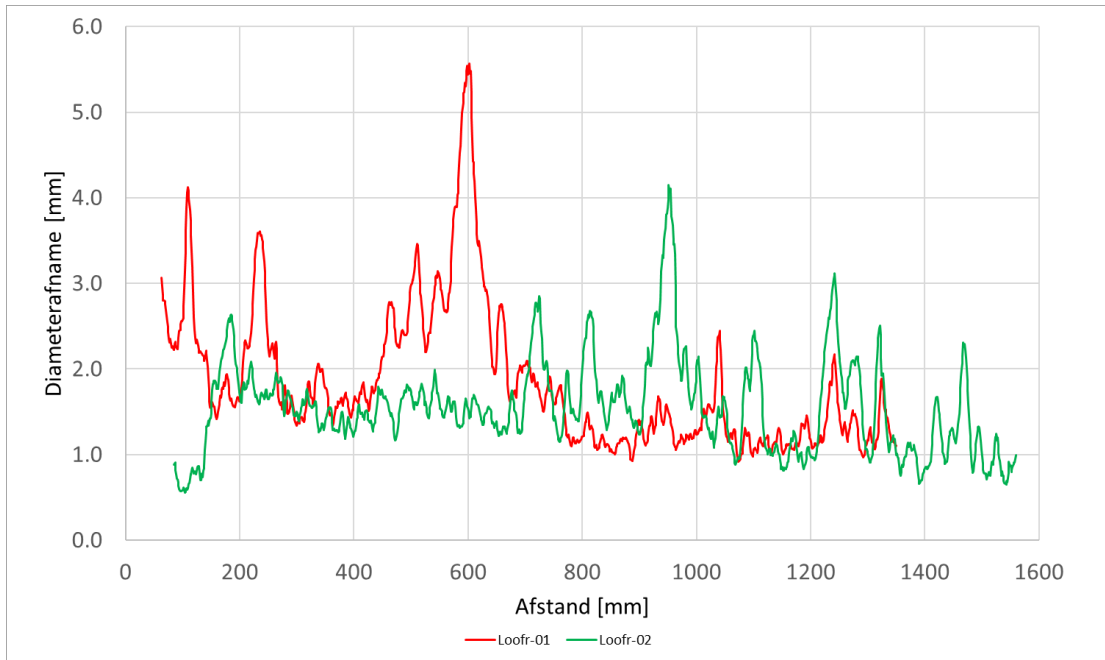
Het is bij stang Loofr-01 onzeker welke zijde de damwandzijde (links) betreft.

De waargenomen dikteafname is bij deze 2 stangen afwijkend van de overige stangen. Visueel is het volgende geconstateerd (Bijlage C.5):

- Duidelijke plekken waar het anker flink gecorrodeerd is met 'gaten' tot wel 1 cm diep.
- Aanwijzingen voor een (organische) coating; echter grotendeels afgebladderd.
- Veel algemene corrosie (rood).

Het is onduidelijk waar dit door wordt veroorzaakt.

In Figuur 22 zijn de resultaten van de dikteafname van alle Loofr-locaties weergegeven.



Figuur 22 Dikte afname per stang locatie Loofr (horizontaal afstand langs stang in mm, verticaal dikteafname in mm).

Uit Figuur 22 blijkt duidelijk een verhoogde dikteafname op een paar delen van de ankerstang (zoals tussen $x=500$ en 700 mm bij de rode lijn en tussen $x=900$ en 1000 mm bij de groene lijn).

8.2.2 Dikteafname schroefdraad

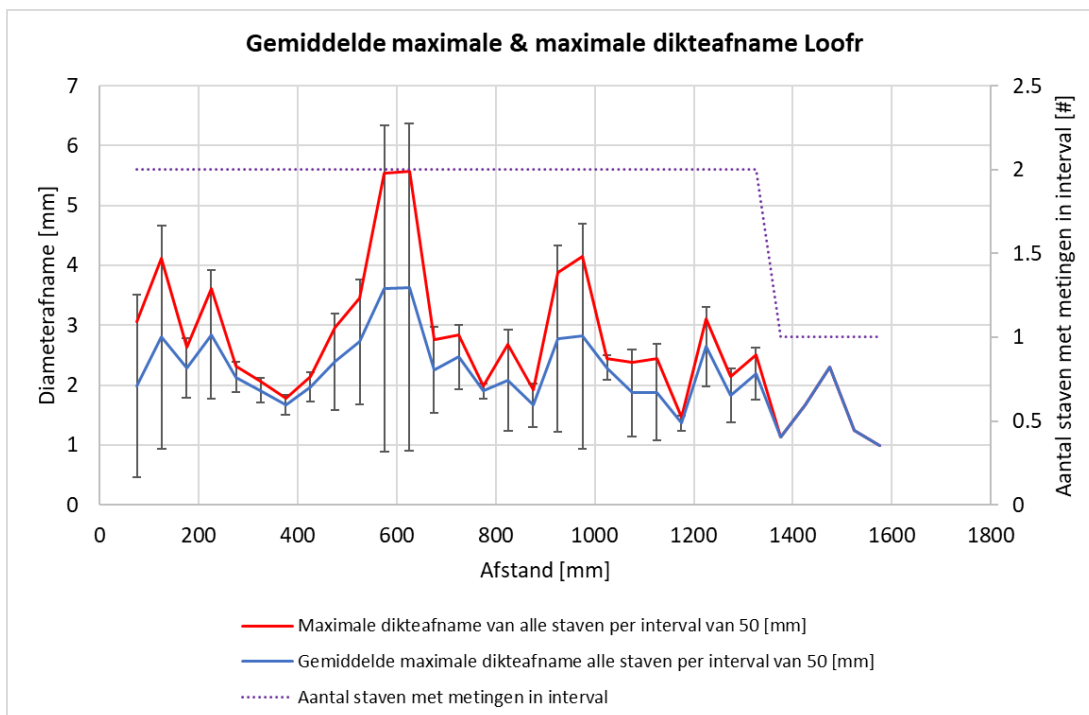
Bij de schroefdraad delen van de ankerstangen, daar waar geen moer op het schroefdraad zit, treedt ook een afname op ten opzichte van de initiële diameter, $d_{z;initieel}$ van de schroefdraad. De maximale dikteafname per schroefdraad gedeelte van een ankerstang is gegeven in Tabel 20 en bedraagt 2,11 mm.

Tabel 20 Dikteafname op schroefdraad Loofr.

Maatgevende waarde	Damwandzijde [mm]	Achterzijde [mm]
Loofr-01	-0.15	-
Loofr-02	2.11	-
Maximale dikteafname	2.11	-
Gemiddelde dikteafname	0.98	-

8.2.3 Trend locatie

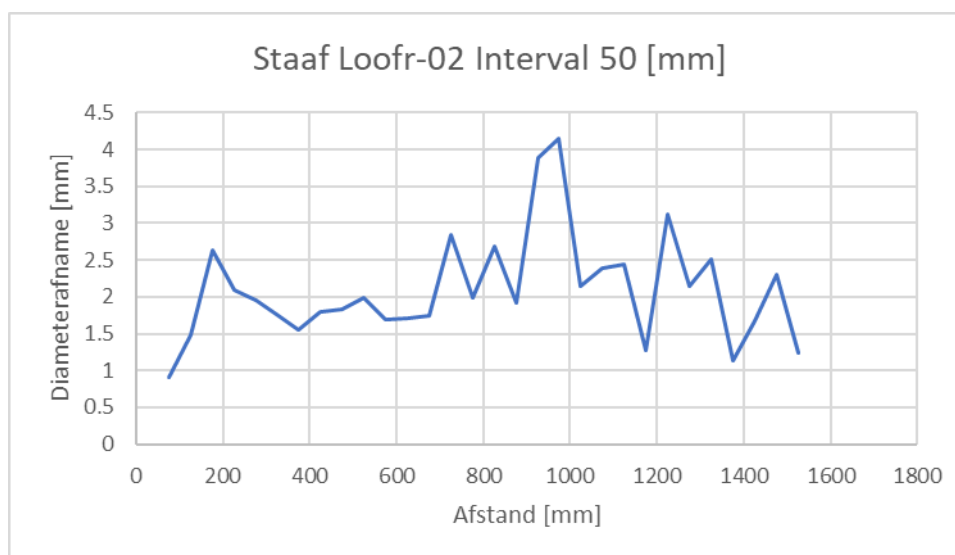
Door de data te filteren en uitsluitend de maximale dikteafnames per 50 mm ankerstang lengte kunnen de standaarddeviatie van deze maxima en extreme waarde van de ankerstangen per 50 mm worden bepaald. Deze standaarddeviatie en extremen samen met de gemiddelde dikteafname zijn grafisch als functie van de afstand langs de stang weergegeven in Figuur 23.



Figuur 23 Trend in gemiddelde maximale dikteafname voor locatie Loofr.

Er lijkt geen trend waarneembaar als functie van de afstand tot de damwand. Echter rond $X = 600$ mm is een duidelijke zone met grotere diameterafname tot gemiddeld 3,5 maar maximaal 5,5 mm. Vervolgens is de trend dat de diameterafname geleidelijk afneemt richting einde van de ankerstang tot circa 2 mm.

Van stang Loofr-01 is onbekend of $X = 0$ de damwandzijde is. Weglaten van deze stang geeft ook een beeld zonder waarneembare trend, zie Figuur 24.



Figuur 24 Trend in gemiddelde maximale dikteafname voor ankerstang locatie Loofr-02.

Op het schroefdraad deel aan de voorzijde van de ankerstangen wordt een maximale afname van circa 2,1 mm aangetroffen wat lager is dan die op de ankerstang maar hoger dan bij de aansluiting met ankerstang.

9 Conclusies resultaat dikteafname metingen Twentekanalen

9.1 Dikteafname

In Tabel 21 zijn de belangrijkste resultaten van de ankerstangen per locatie samengevat. De geanalyseerde ankerstangen hebben een lengte die varieert tussen iets minder dan 1 m tot circa 1,5 m. In totaal zijn 23 stangen geanalyseerd. Het betrof in alle gevallen het eerste deel van de legankers, de overige delen van de ankers zijn niet veiliggesteld. De totale lengte van de onderzochte ankerstangen samen was 32,1 m.

Tabel 21 Dikteafname ankerstangen 5 locaties Twentekanalen.

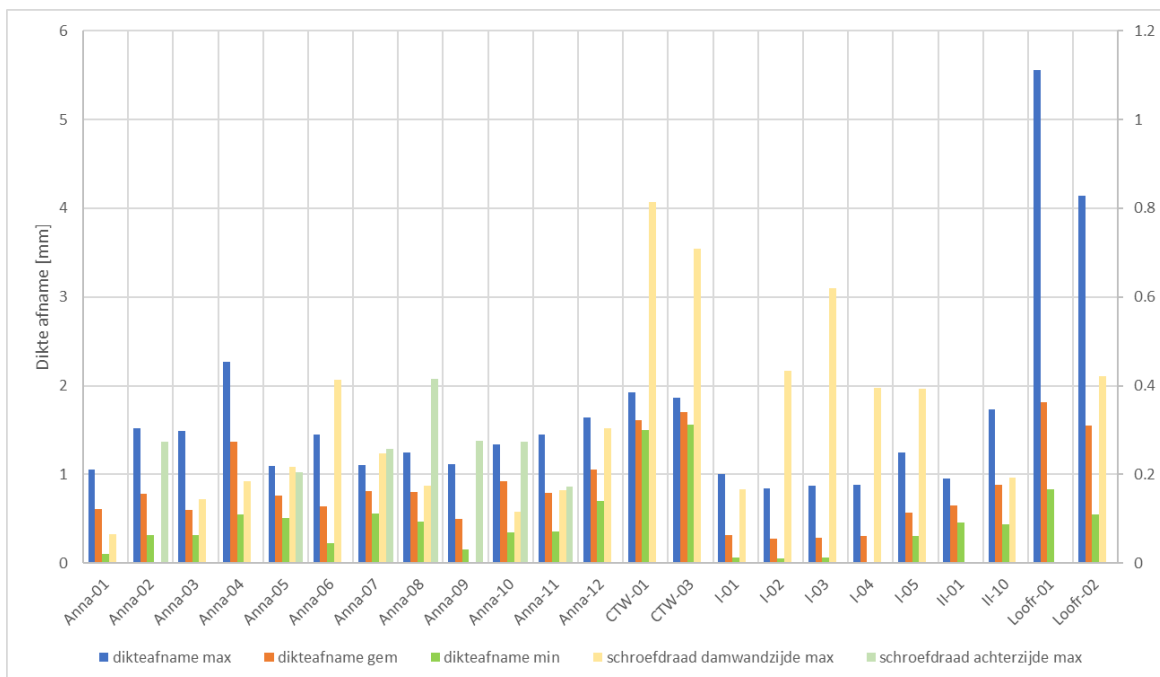
Locatie	Corrosie bescherming	Leefd-tijd [jaar]	Aantal stangen [#]	Gemiddelde stang-lengte [mm]	Dikteafname [mm]			Gemiddelde v/d standaarddeviaties v/d dikteafname per stang [mm]
					Max	Gem	Min	
Anna	Nee	40	12	40	2.27	0.80	0.10	0.191
CTW	Zink	38	2	38	1.92	1.66	1.50	0.070
I	Zink	35	5	35	1.25	0.35	0.00	0.180
II	Aanwijzingen van organische coating	36	2	36	1.73	0.77	0.4	0.171
Loofr		36	2	36	5.57	1.70	0.56	0.693

In Tabel 22 zijn de maximale dikte afnames van ankerstang en schroefdraad deel per locatie weergegeven.

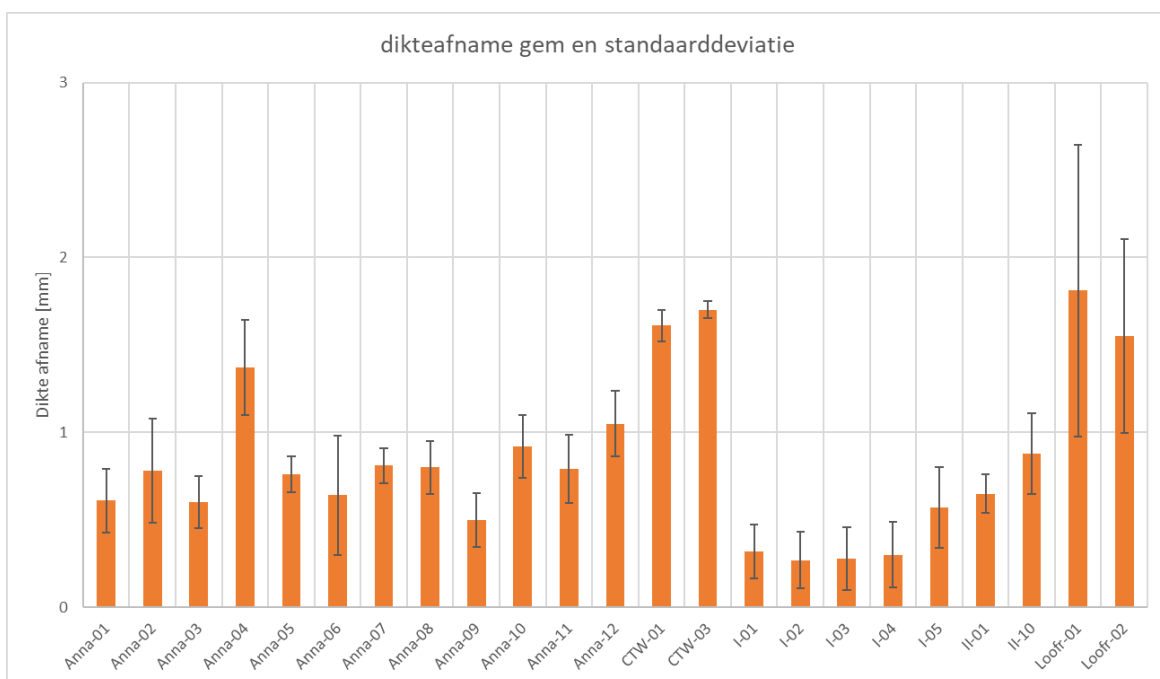
Tabel 22 Maximale dikteafname ankerstangen en schroefdraad voor 5 locaties Twentekanalen.

Locatie	Maximale dikteafname [mm]			Opmerking
	Ankerstang	Schroefdraad damwandzijde	Schroefdraad achterzijde	
Anna	2.27	2.07	2.08	
CTW	1.92	4.07	-	Geen schroefdraad achterzijde
I	1.25	3.10	-	Geen schroefdraad achterzijde
II	1.73	2.26	-	Damwandzijde 1 stang; geen schroefdraad achterzijde
Loofr	5.57	2.11	-	Geen schroefdraad achterzijde

In onderstaande Figuur 25 en Figuur 26 zijn de resultaten per locatie/ankerstang betreffende de maximale dikteafname, de gemiddelde dikteafname en de minimale dikteafname van de ankerstang en maximale dikteafname van het schroefdraad respectievelijk de gemiddelde dikteafname en standaarddeviatie van de ankerstangen grafisch weergegeven.



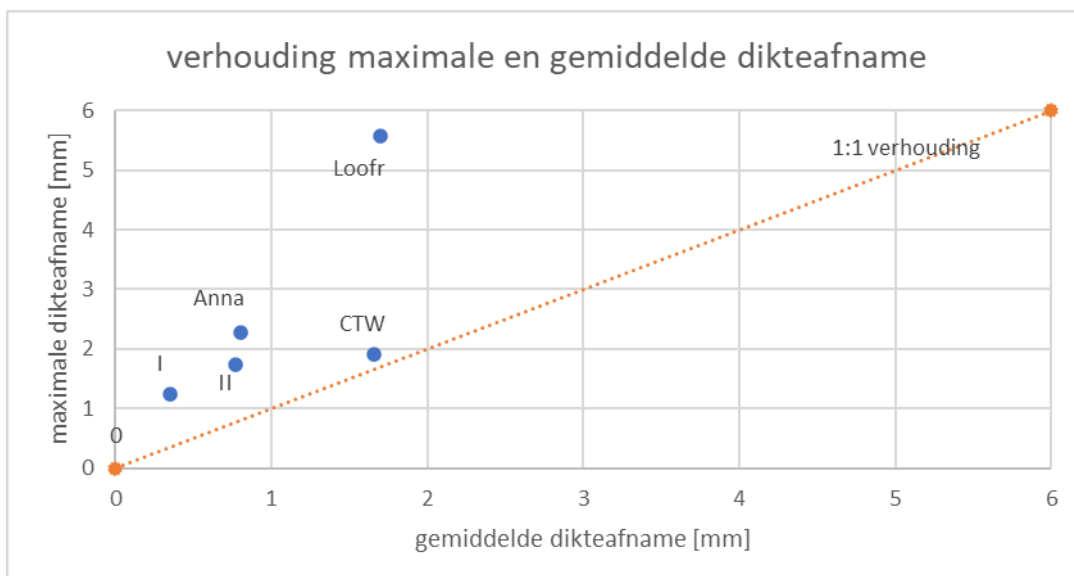
Figuur 25 Dikteafname ankerstang en schroefdraad overzicht Twentekanalen.



Figuur 26 Gemiddelde en standaard deviatie van de dikteafname per ankerstang (deel zonder schroefdraad).

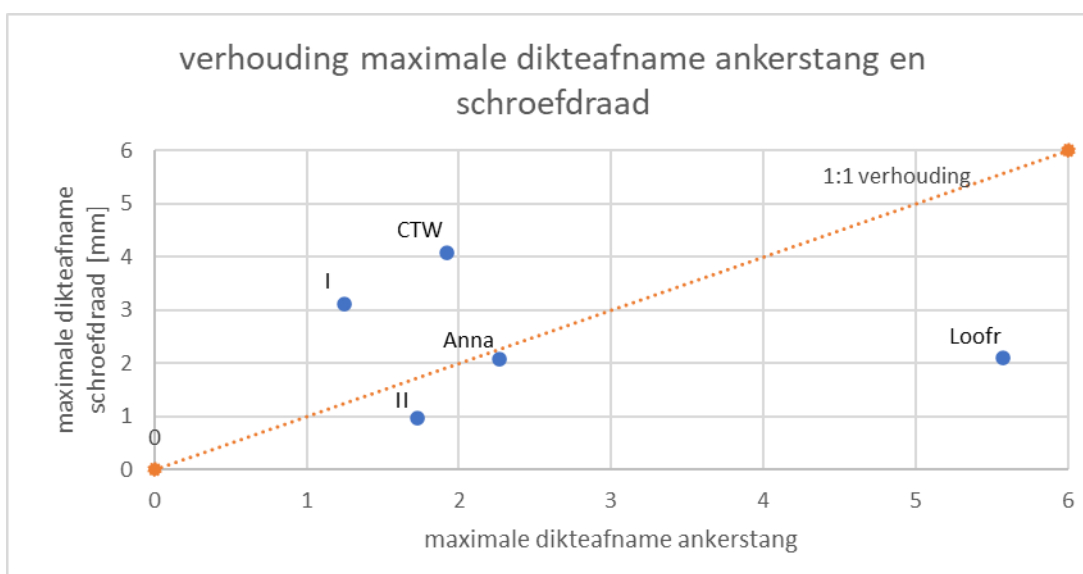
De gemiddelde dikteafname van de ankerstang (deel zonder schroefdraad), hier veroorzaakt door corrosie, varieert van 0,35 mm tot 1,70 mm van de 35 tot 40 jaar oude ankerstangen. De maximale dikteafname van de ankerstang (deel zonder schroefdraad) varieert van 0,97 mm tot 4,86 mm. De maximale dikteafname op het schroefdraad aan de damwandzijde varieert van 0 tot 4,07 mm, aan de achterzijde van de stang van 0 tot 2,08 mm.

In Figuur 27 is per locatie de gemiddelde en de maximale dikteafname tegen elkaar uitgezet. Hieruit blijkt dat bij locaties I en Loofr de ratio dikteafname maximaal/gemiddeld circa 3,5 bedraagt, bij II, Anna circa 2,5 en bij CTW circa 1,1.



Figuur 27 Verhouding maximale en gemiddelde dikteafname van de ankerstang (deel zonder schroefdraad).

In Figuur 28 is per locatie de maximale dikteafname van het schroefdraad en de ankerstang per locatie tegen elkaar uitgezet. Te zien is dat er naar verhouding bij locaties I en CTW er meer dikteafname op het schroefdraad optreedt (factor ruim 2,1), bij Anna is de verhouding 0,9, terwijl bij locatie II en Loofr de factor ongeveer 0,5 is.

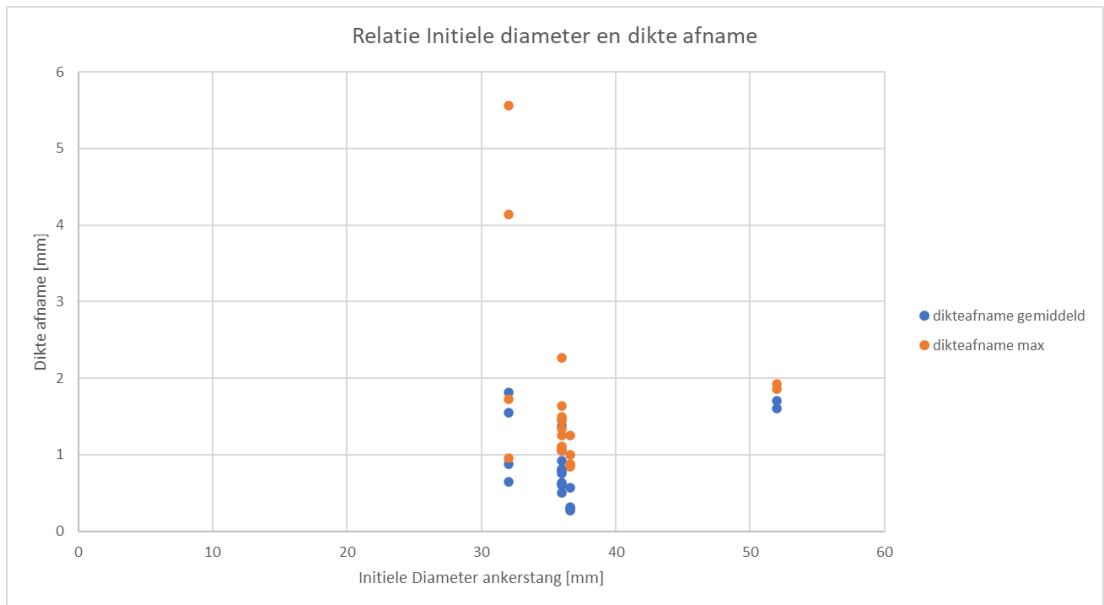


Figuur 28 Verhouding maximale dikteafname langs ankerstang en schroefdraad.

De dikteafname blijkt sterk te variëren zowel per stang, tussen de stangen onderling op een locatie en tussen de locaties. Bovendien is er geen vaste relatie tussen maximale dikteafname op de ankerstang en maximale dikteafname op het schroefdraad. De ratio tussen de gemiddelde standaarddeviatie en de gemiddelde dikteafname per locatie is gemiddeld 0,3 en maximaal 0,51 (locatie I-xx), met als kleinste waarde 0,04 (locatie CTW).

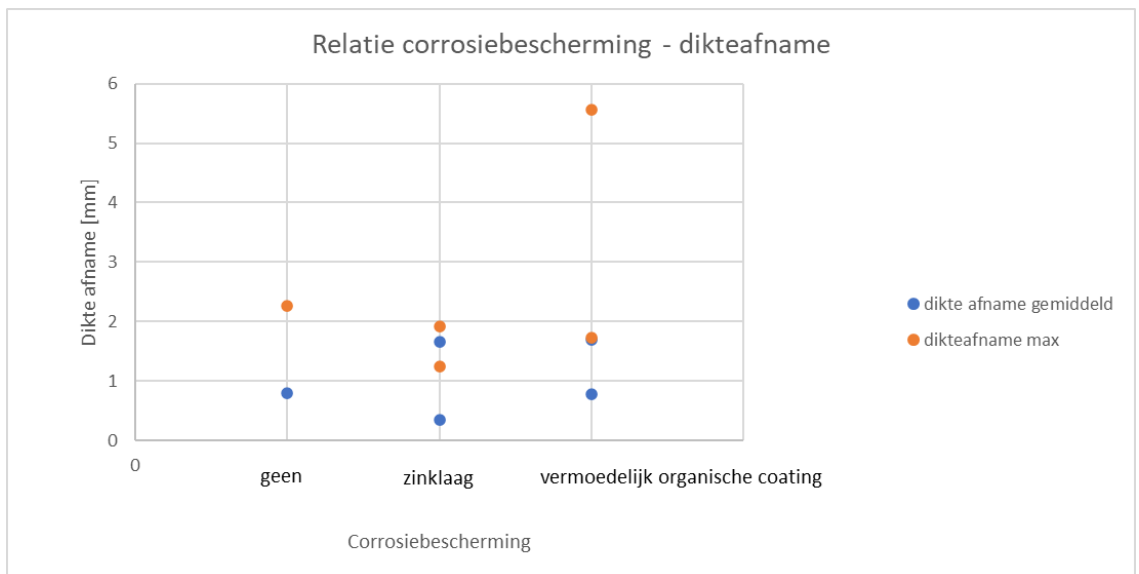
9.2 Relatie dikteafname met anker eigenschappen

In Figuur 29 is de relatie tussen de initiële diameter en de dikteafname op de ankerstang weergegeven. Hieruit blijkt geen trend.



Figuur 29 Relatie tussen initiële diameter en dikteafname ankerstang.

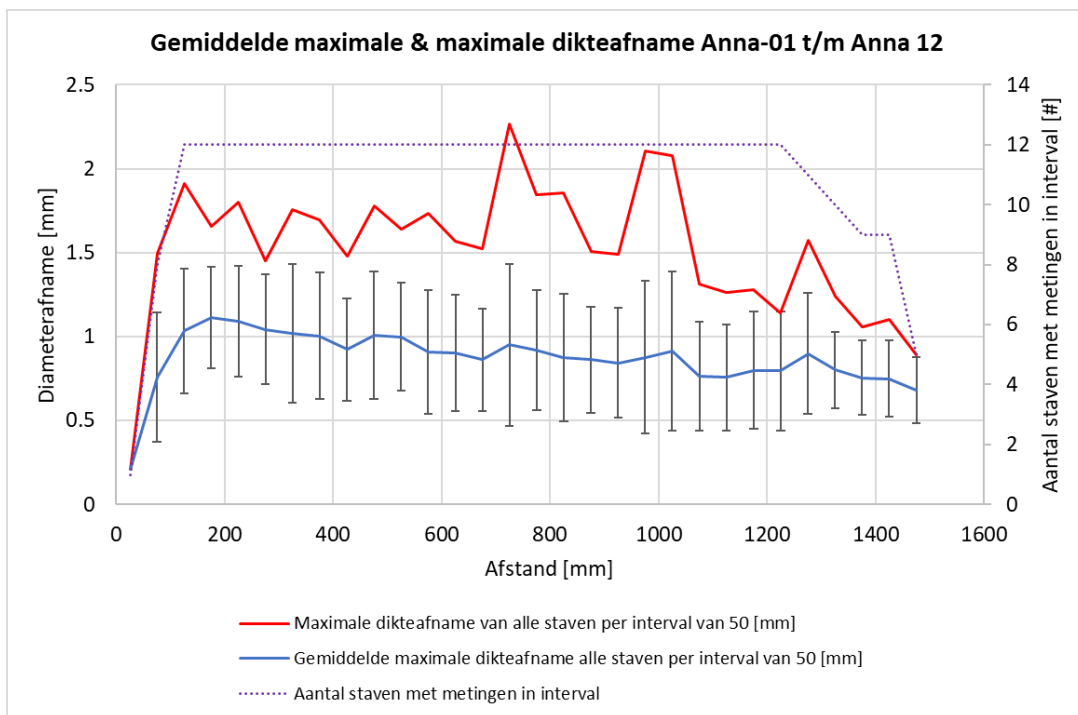
In Figuur 30 is de relatie tussen een bekende corrosiebescherming en dikteafname gegeven. Hieruit blijkt dat wanneer een zinklaag bescherming aanwezig is de maximale dikteafname en gemiddelde dikteafname dicht bij elkaar liggen. De verschillen tussen bescherming met een zinklaag en zonder bescherming lijken niet veel af te wijken, dit geldt ook voor de gemiddelde dikteafname bij categorie 'vermoedelijk organische coating' (mogelijk bescherming met teerlaag). Bij de categorie 'vermoedelijk organische coating' zijn enkele hoge uitschieters te zien in de opgetreden maximale dikteafname.



Figuur 30 Relatie tussen corrosiebescherming en dikteafname ankerstang per locatie.

9.3 Trends langs ankerstang

Bij de locaties Anna en II is een duidelijke trend aanwezig in hoe de dikteafname langs een ankerstang optreedt, waarbij de gemiddelde maximale dikteafname vanaf de damwand sterkt toeneemt tot een maximale gemiddelde dikteafname op circa 150-200 achter de kop van de ankerstang die vervolgens langzaam afneemt (0,3 tot 0,5 mm over 1 m lengte). De maximale dikteafnames bij locatie Anna laten de sterke toename over de eerste 150-200 mm tot de maximale waarden bij locatie Anna maar bij locatie II-xx ligt het maximum op een grotere afstand vanaf de kop van de staaf.

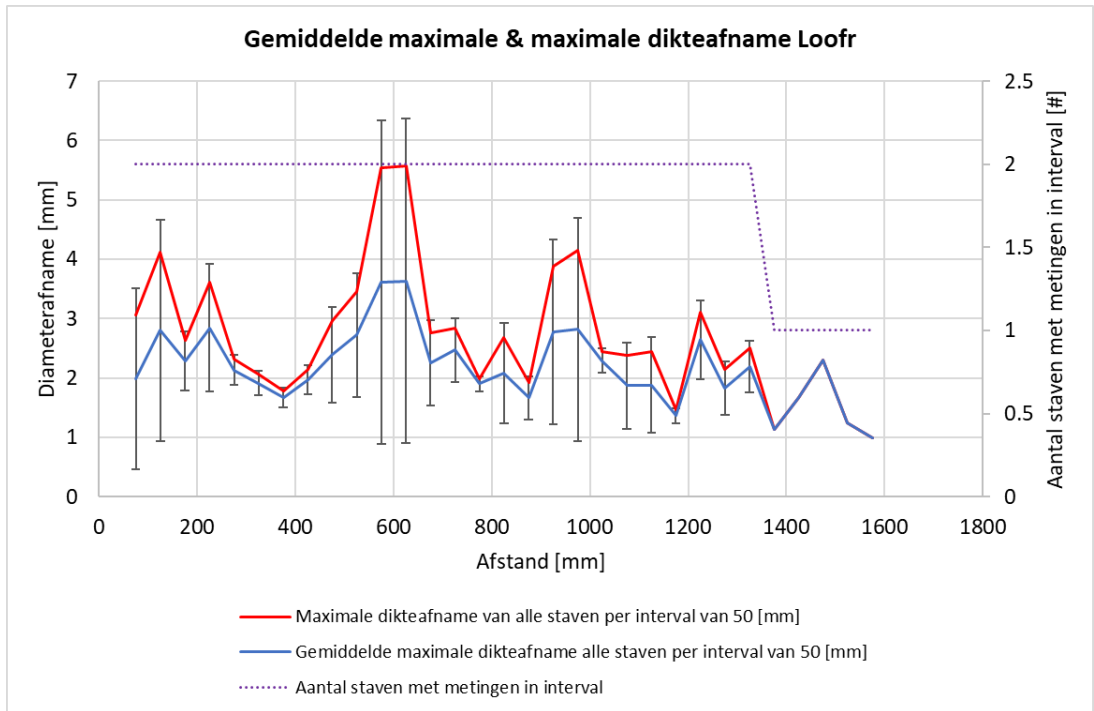


Figuur 31 Trend dikteafname locatie Anna.

Bij locatie CTW is de trend veel minder nadrukkelijk aanwezig en kan een verloop van ongeveer 0,1 mm over 1 m worden geconstateerd. Hier is een zinklaag bescherming aanwezig.

Bij locatie I is geen trend zichtbaar of neemt de dikteafname zelfs met 0,3 mm toe na 1 m lengte. In dit gebied was de dikteafname het laagst, vermoedelijk door de zinklaag bescherming.

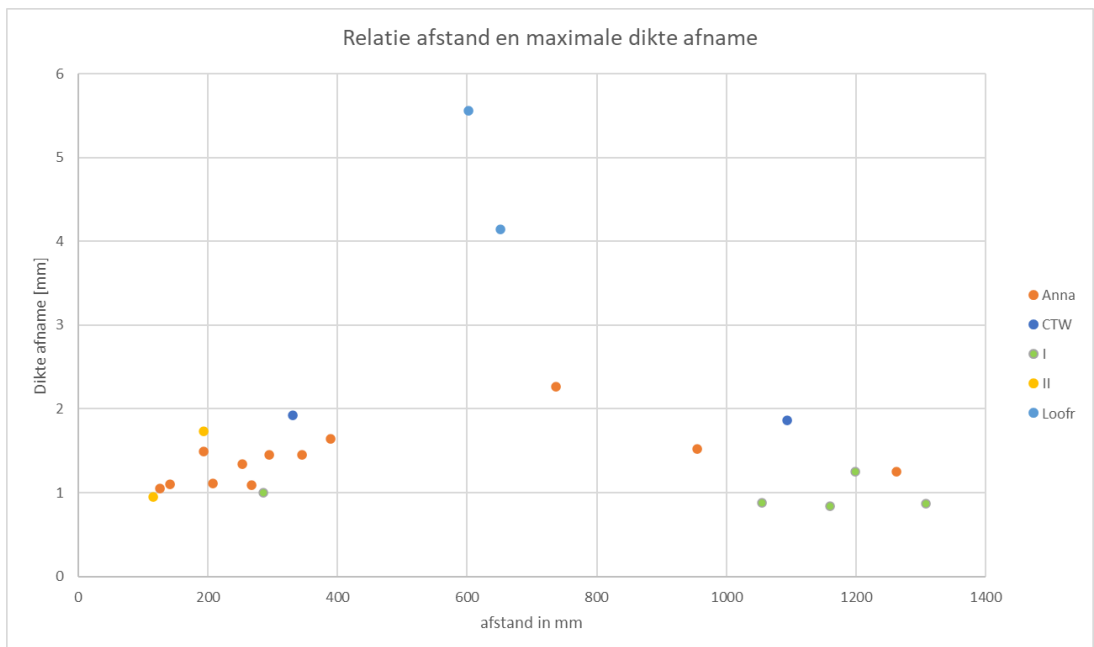
Bij locatie Loofr wordt ook een trend gezien met een maximum na 150-200 mm achter de ankerstang kop. De trend van een afname van 0,8 mm over circa 1 m wordt wel sterk beïnvloed door delen van de ankerstang waar de dikteafname sterk groter is, zoals weergegeven in Figuur 32.



Figuur 32 Trend dikteafname locatie Loofr.

Op het schroefdraad deel aan de voorzijde van de ankerstang worden maximale dikteafnames aangetroffen die doorgaans hoger zijn bij de start van de ankerstang en soms ook hoger dan de maximale dikteafname op de ankerstang in zijn geheel.

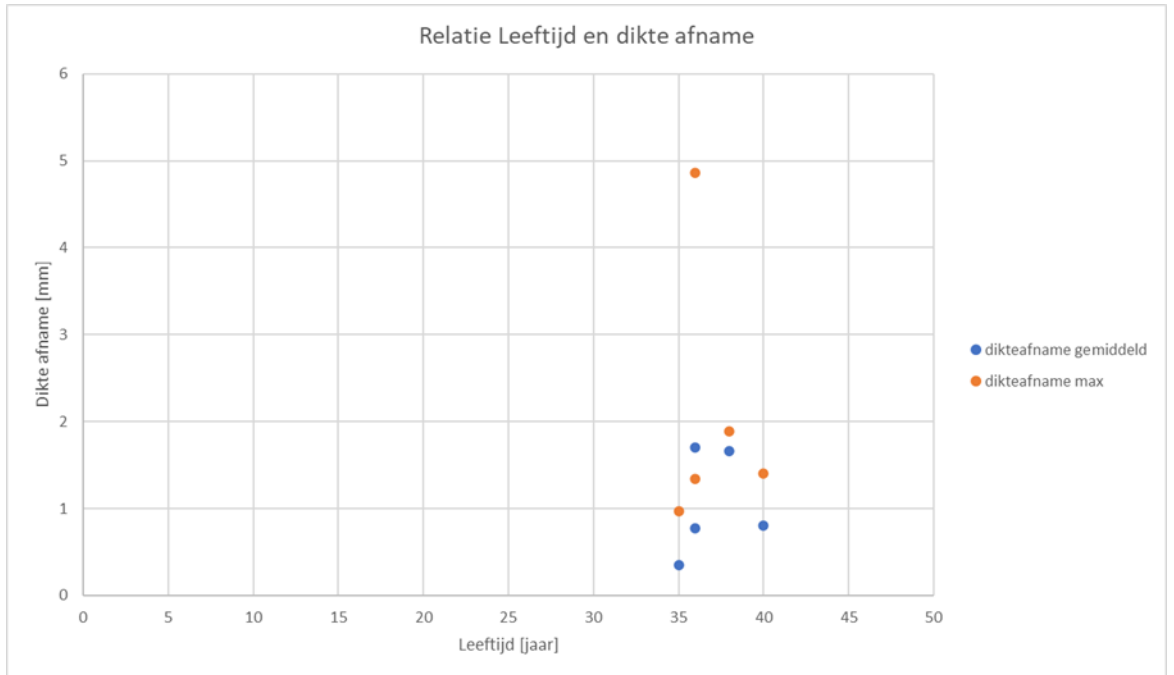
In Figuur 33 is uitgezet waar de maximale dikteafname op een staaf wordt aangetroffen uitgesplitst naar locaties.



Figuur 33 Relatie maximale dikteafname ankerstang en afstand langs stang waar deze optreedt.

9.4 Relatie leeftijd en corrosie

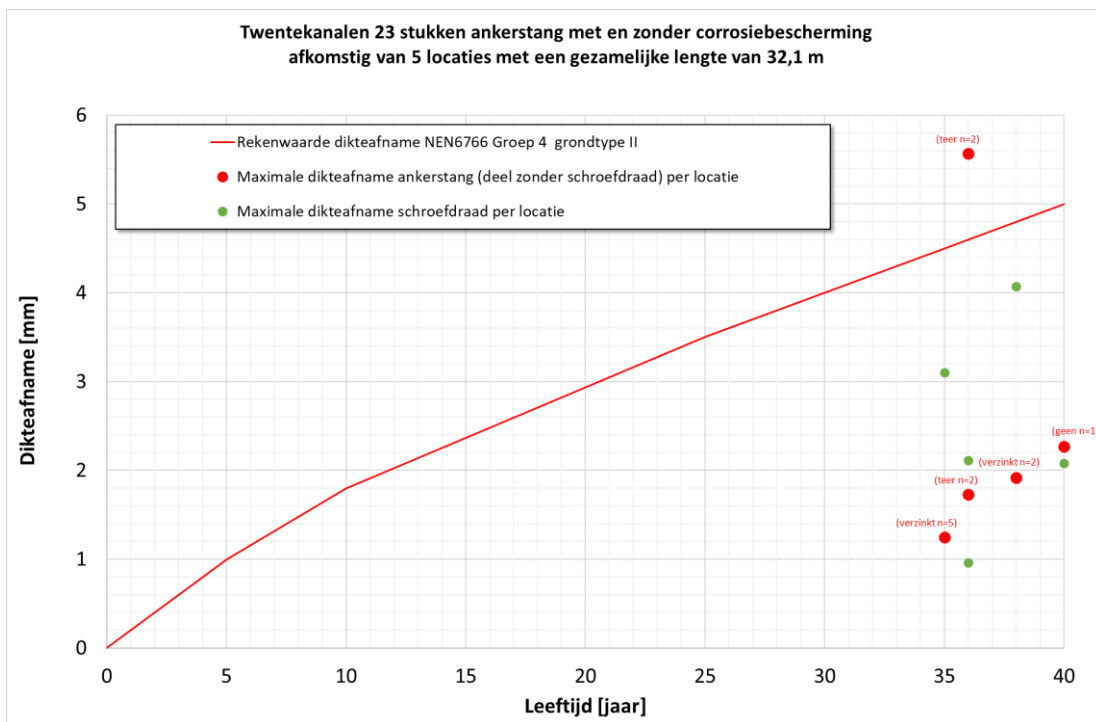
In Figuur 35 is de leeftijd van de ankerstangen per locatie uitgezet tegen de waargenomen gemiddelde en maximale dikteafnames op die locaties. De leeftijden zitten relatief dicht bij elkaar. Er is daarom geen trend af te leiden.



Figuur 34 Relatie leeftijd ankers en dikteafname per locatie.

In Figuur 35 is vervolgens de leeftijd van de ankerstangen per locatie uitgezet tegen de waargenomen maximale dikteafnames van ankerstang en schroefdraad op die locaties. Tevens is de volgens NEN6744 (groep 4, grondtype II) rekenwaarde van de dikteafname lijn weergegeven ter referentie.

Bij de ankerstang punten is tevens aangegeven hoe veel ankers aanwezig waren voor dit gemiddelde (n) en welk type corrosiebescherming wordt verwacht (verzinkt, teer, geen).



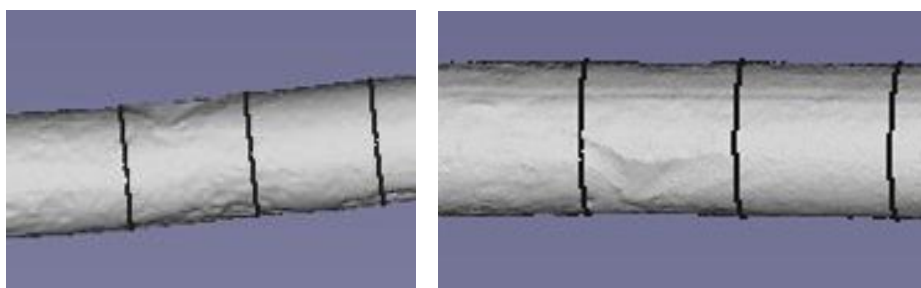
Figuur 35 Relatie leeftijd ankers en maximale dikteafname ankerstang en schroefdraad per locatie.

9.5 Beeld maximale corrosie

In Bijlage A zijn waarnemingen van de ankerstangen gegeven, in Bijlage C zijn de 3D scan resultaten gegeven. Hieronder volgen enkele typische scan beelden geconstateerd bij de diverse locaties Anna, I en Loofr:

Anna-2

Kenmerken: Maximale dikteafname 1,54 mm op afstand 955 bij een gemiddelde van 0,8 mm over de stang; geen corrosiebescherming.

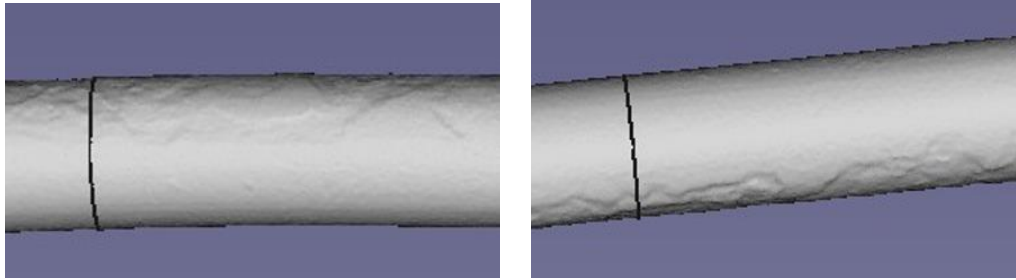


Figuur 36 Typisch beeld corrosie Anna-2 (vooraanzicht en zijaanzicht).

Uit Figuur 36 volgt een algemene roestvorming met lokaal grotere dikteafnames.

I-05

Kenmerken: Maximale dikteafname 1,25 mm op afstand 1198 bij een gemiddelde van 0,57 mm; zinklaag.

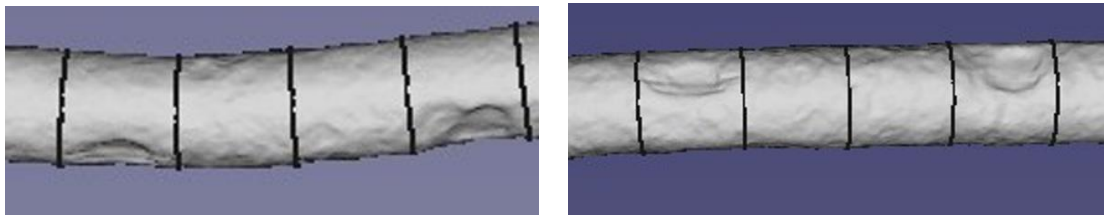


Figuur 37 Typisch beeld corrosie I-05 (vooraanzicht en zijaanzicht).

Uit Figuur 37 blijkt een geringe dikteafname met weinig variatie in dikteafname.

Loofr2

Kenmerken: Maximale dikteafname 5,57 mm op afstand 602 bij een gemiddelde van 1,84 mm; aanwijzingen voor organische coating (teerlaag).



Figuur 38 Typisch beeld corrosie Loofr-2 (vooraanzicht en zijaanzicht).

Uit Figuur 38 blijkt een grote variatie in dikteafname op een relatief grote dikteafname.

Bijlagen

A Ankerstang locaties en gegevens

Op basis van de algemene informatie die is aangeleverd lijkt er in het algemeen sprake van een constructieve oplossing met ankers die vastgemaakt zijn aan een achter de damwand lopende gording. Het anker (leganker) heeft aan de achterzijde een ankerplaat. Het damwandprofiel, damwandlengte, ankerstanglengte kan variëren. Het kanaalpeil kan variëren afhankelijk van het kanaalpand. Het aansluitpunt van het anker ligt op circa 0,3 m boven kanaalpeil. Het leganker ligt praktisch horizontaal of onder een geringe helling van maximaal enkele cm's over de ankerlengte'. De leeftijd van de damwanden varieert van 39 (1984) tot 43 (1979) jaar uitgaande van 2022.

A.1 Anna

A.1.1 Locatiebeschrijving

De ankerstangen komen uit de damwandconstructie in de zuidwestoever naast St. Annabrug Delden. De herkomst van de ankerstangen is globaal aangegeven in Figuur hieronder. Er zijn geen gegevens bekend waar de stangen precies vandaan komen.

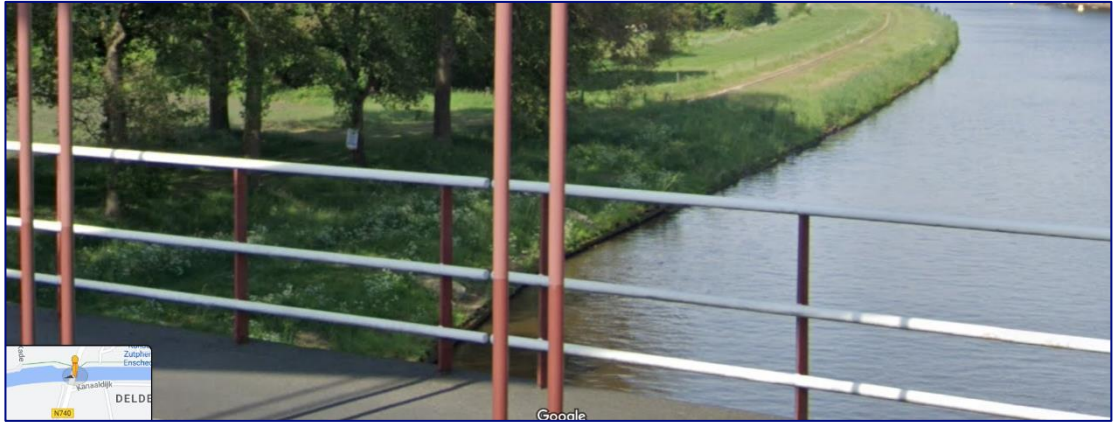
A.1.2 Situatie

De locatie van de oeverconstructie is gegeven in Figuur 39.



Figuur 39 Locatie Anna [bron Google Maps].

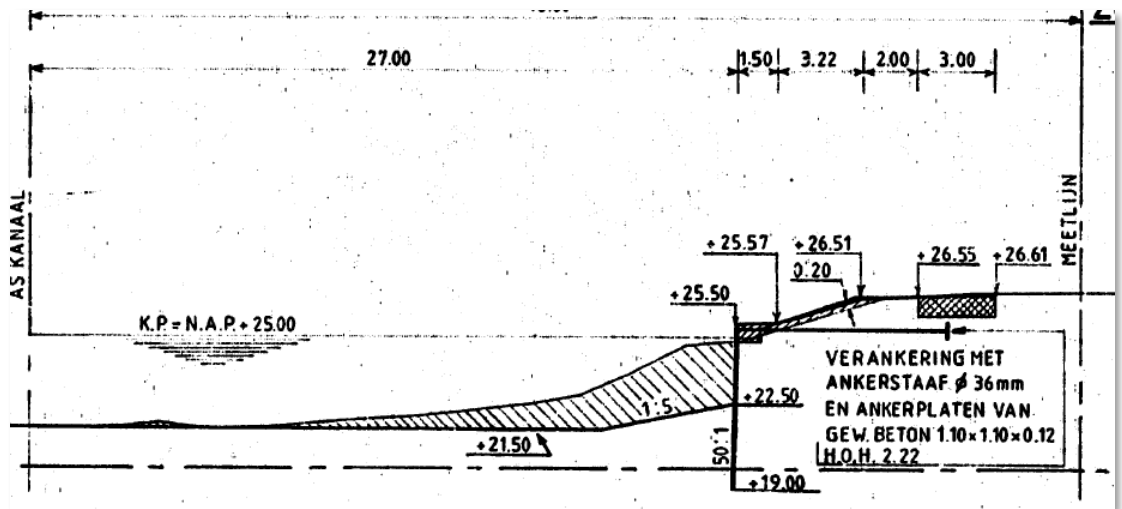
Een beeld van de oeverconstructie is gegeven in Figuur 40.



Figuur 40 Aanzicht zuidwestoever St Anna Brug.

A.1.3 Tekeningen en gegevens

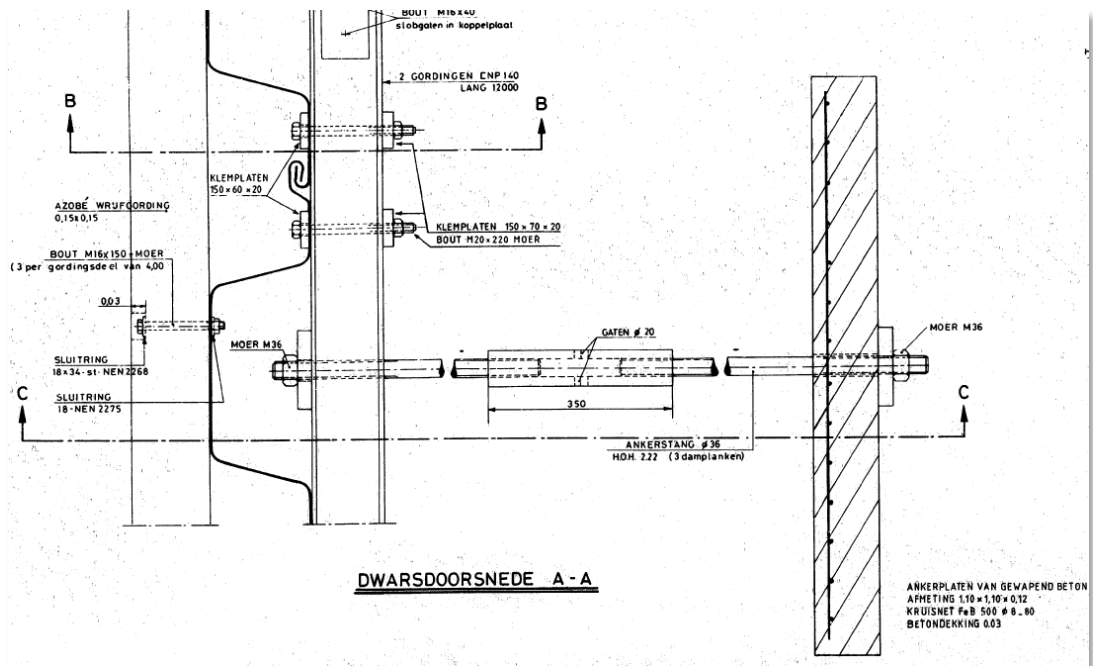
Tekening [1] geeft een overzicht van het te maken werk, zoals weergegeven in Figuur 41.



Figuur 41 Te maken werk locatie Anna.

Tekening geeft een kanaalpeil van NAP+25 m en een aangrijpingspunt van het anker op NAP+25.30 m, 0,3 cm boven kanaalpeil. Op basis van het kanaalpeil wordt verondersteld dat de tekening betrekking heeft op het kanaalpand oostelijk van de schutsluis Hengelo (circa 7 km oostelijk van Delden) en niet nabij de St Annabrug bij Delden. Kanaalpeil bij Brug Delden ligt op circa NAP + 16 m [bron: waterinfo.rws.nl]. Mogelijk is de ankerconstructie hetzelfde. Betere tekeningen zijn door RWS niet gevonden.

Tekening [2] geeft informatie over de constructie van de damwand en ankers, zie Figuur 42.



Figuur 42 Bovenaanzicht damwandconstructie en ankerstang.

Achter de damwand langs zit een stalen gording die vastzit aan de damwand. Het anker zit in de kas van de damwand vast met een moer op schroefdraad. Anker diameter is 36 mm, straal 18 mm. De aansluiting van het anker ligt circa 0,3 m boven kanaalpeil.

Aan de achterzijde van het anker is een betonnen ankerplaat aanwezig. De 1^e ankerstang vanaf de damwand heeft een lengte van circa 2 m, waarna een wartel aanwezig is. Damwandtype volgens tekening De Wendel 5400, dik 4 mm, lang 6500. De ankerstangen liggen nagenoeg horizontaal, met een volgens tekening zeer klein verhang van 2 cm over de ankerlengte.

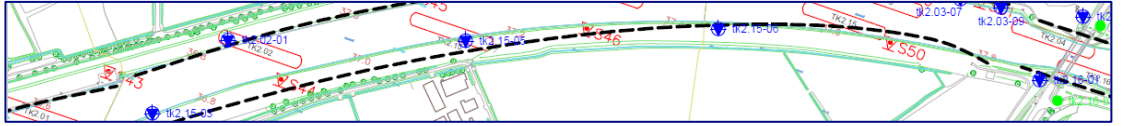
Bij een datum op de tekening van 1982 wordt een leeftijd van de ankerstangen van 40 jaar verondersteld.

A.1.4 Grondopbouw

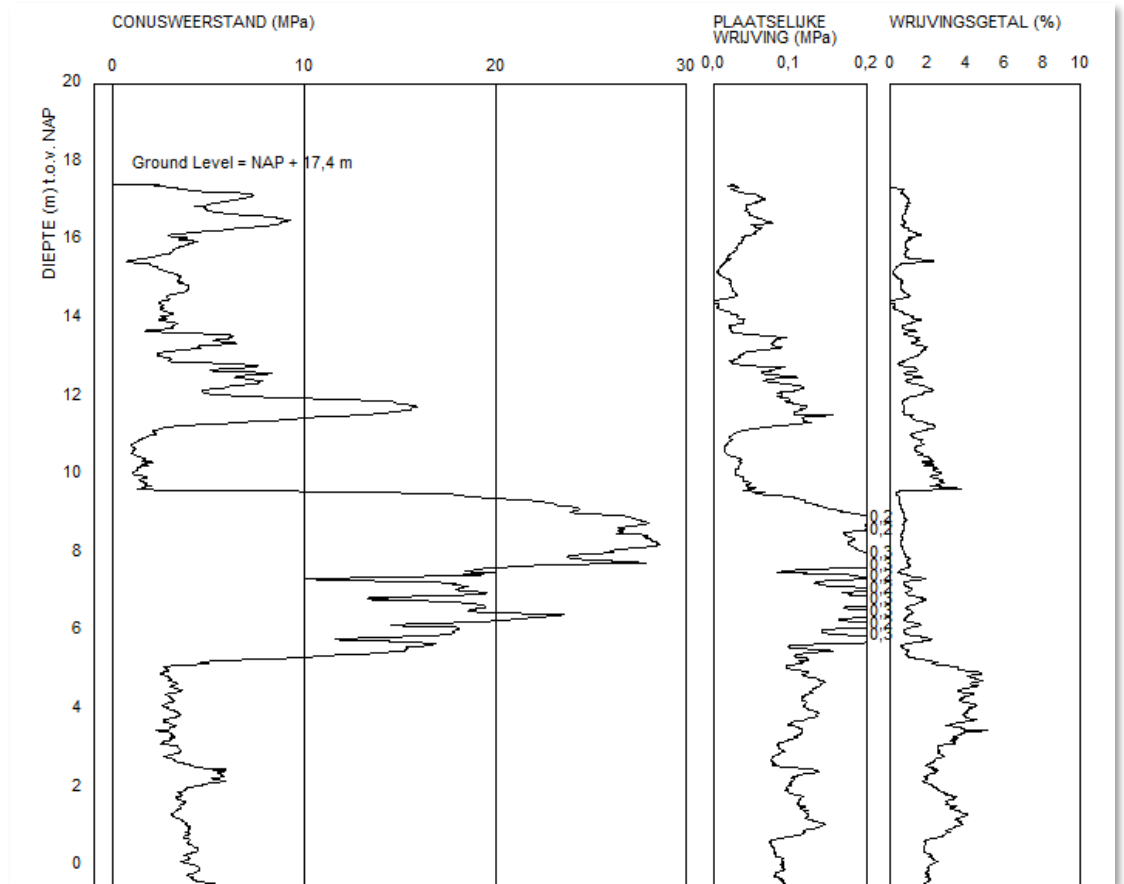
Op basis van het geohydrologisch ondergrondmodel RegisII (geologisch model Geotop is op deze locatie nog niet beschikbaar, zie BROLOket.nls) wordt verwacht dat er rond de ligging van damwand en ankers zand van de formatie van Boxtel aanwezig is bovenop een kleiige laag van de formatie van Breda. In de kades van het kanaal kan eventueel ook nog antropogene grond aanwezig zijn naast de in de kade gebruikte grond uit het ontgraven van het kanaal.

De vanuit Rijkswaterstaat beschikbaar gestelde boringen en sonderingen laten zien dat het anker in het zand ligt.

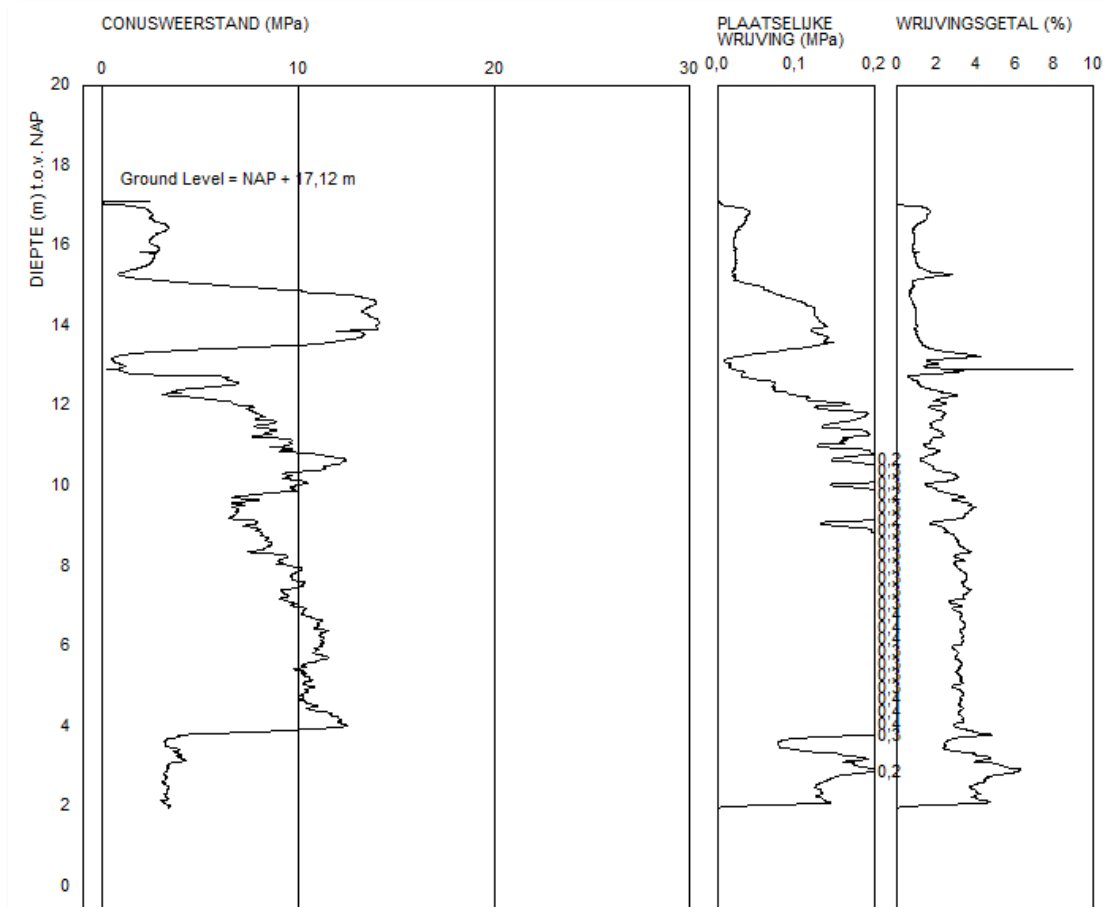
In Figuur 43 zijn de onderzoekspunten weergegeven. In Figuur 44 en Figuur 45 zijn een afdruk van sonderingen 16S01 (links van de Brug Delden) en een afdruk van sondering 15S05 (links van de brug in het traject op zuidelijke oever) gegeven.



Figuur 43 Grondonderzoek punten Locatie Anna.



Figuur 44 Resultaat Sondring 16S01.



Figuur 45 Resultaat Sondering 15S05.

Beide sonderingen bevestigen dat er voornamelijk zand wordt aangetroffen.

Bij boring B-DH03 wordt vooral zand, zwak humeus, zwak siltig aangetroffen, met alleen binnen de eerste 0,5 m soms een kleiige laag. De grondwaterstand bij deze boringen werd aangetroffen op circa NAP +14 m. Er zijn geen grondwatermonitoringgegevens beschikbaar in en rondom het vak Anna. Het kanaalpeil is gelegen op NAP + 16 m.

A.1.5 Visuele waarneming

De ankerstangen op locatie Anna betreft een serie van 12 ankers van zo'n 1,5 m. De meeste zijn verbogen en een aantal hebben nog een ankerplaat aan het uiteinde.

De ankers zijn volledig gecorrodeerd, waarbij de roestvorming oppervlakkig is. Het corrosieproduct is met name als schillevorming aanwezig met hier en daar wat lokale verdikkingen van het corrosieproduct ('pokken'), zie Figuur 46 en Figuur 47. Er zijn veel (rode) corrosieproducten wat duidt op 'normale' roestvorming, maar ook witte korsten, wat overeen kan komen met carbonaat die in de chemische analyses gevonden is. De vorming hiervan heeft zeer waarschijnlijk te maken met (grond)water processen. De 'korsten' kunnen het corrosieproces afremmen. Visueel waren er op de ankerstangen geen tekenen die duiden op een (functionerende) bescherming.



Figuur 46 Corrosie product ankers locatie Anna.



Figuur 47 Corrosie product detail locatie Anna.

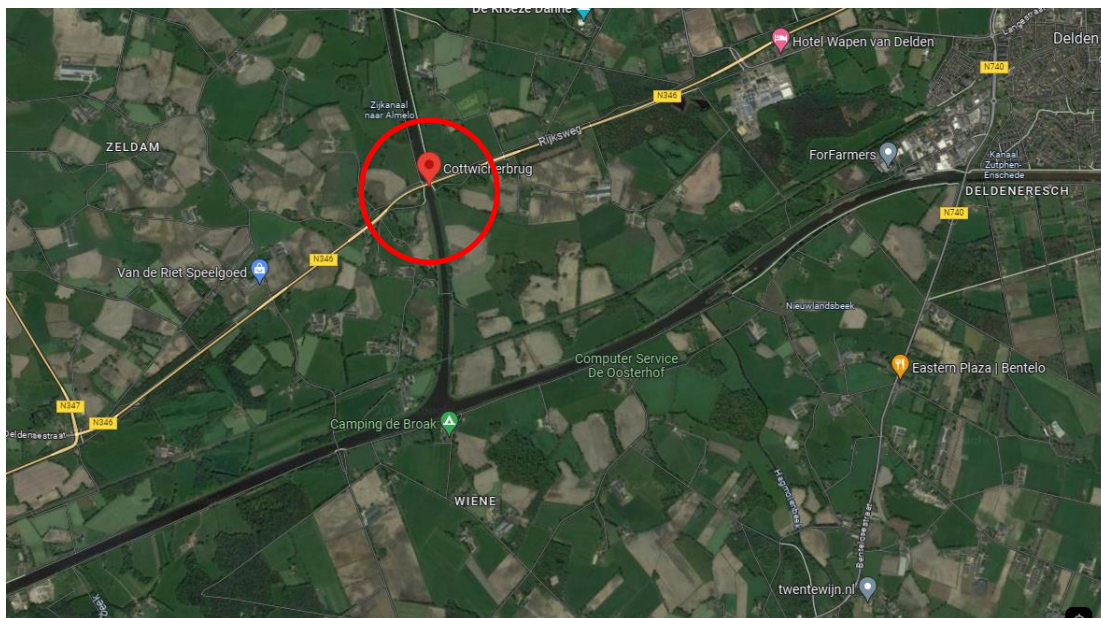
A.2 CTW

A.2.1 Locatiebeschrijving

De ankerstangen komen uit de damwandconstructie uit de Noordwestoever bij de Cottwicherbruggen N348 (rond 1986). De herkomst van de ankerstangen is globaal aangegeven. Er zijn geen gegevens bekend waar de stangen precies vandaan komen.

A.2.2 Situatie

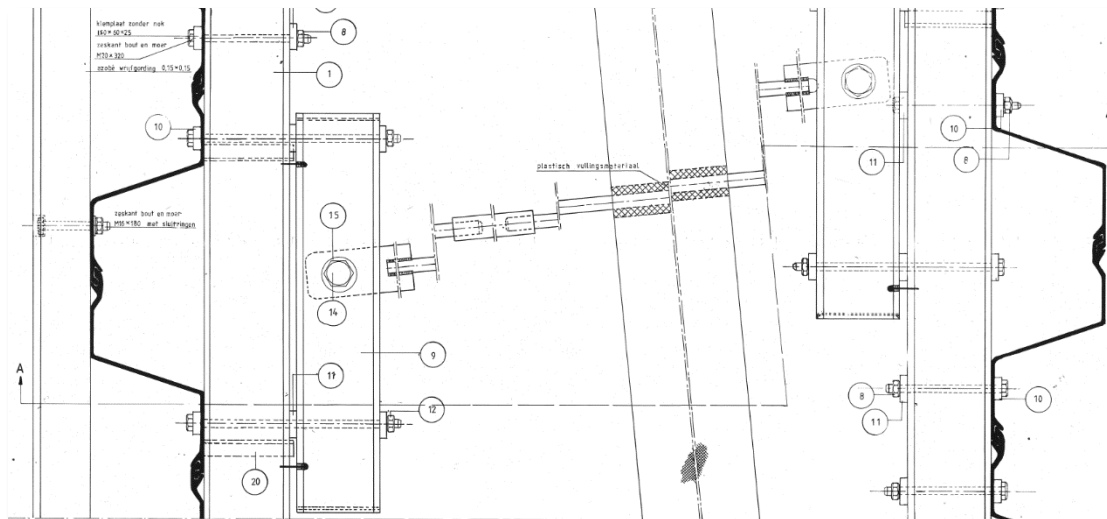
De locatie van de oeverconstructie is gegeven in Figuur 48.



Figuur 48 Situatie locatie CTW [bron Google Maps].

A.2.3 Tekeningen en gegevens

Tekening [3] geeft een overzicht van het te maken werk, zoals weergegeven in Figuur 49. De tekening laat zien dat het anker nagenoeg horizontaal ligt. Aan de achterzijde is het anker gekoppeld met een ankerwand. Aan de uiteinden van het anker is een platte plaat met oog opgelast die vastgebouwd wordt aan een gording. De ankerstang heeft een diameter van 36 mm, straal 18 mm. De hoogteligging ten opzichte van het kanaalpeil is niet aangegeven.



Figuur 49 Boveanzaanzicht anker locatie CTW.

Tekening [4] geeft extra details van de verankering. De tekening laat de ankerstang zien met opgelaste platte plaat met oog. De staalkwaliteit is beschreven als Fe360. De damwand is van type Belval BZ7/BZ17, lang 7500.

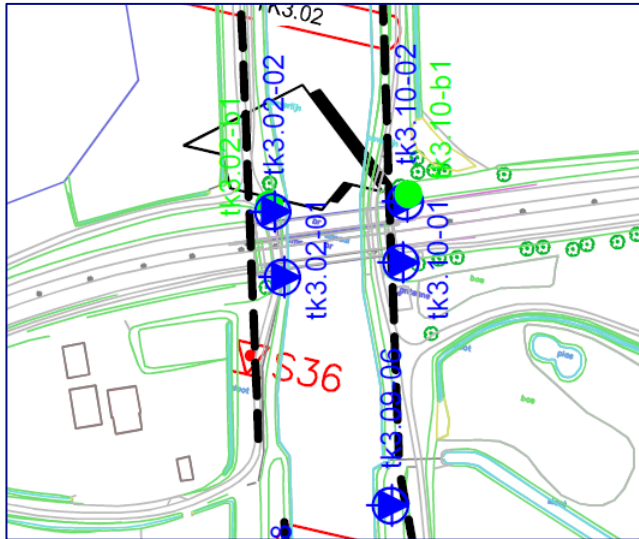
Bij een datum op de tekening van 1985 wordt een leeftijd van de ankerstangen van 38 jaar verondersteld.

A.2.4 Grondopbouw

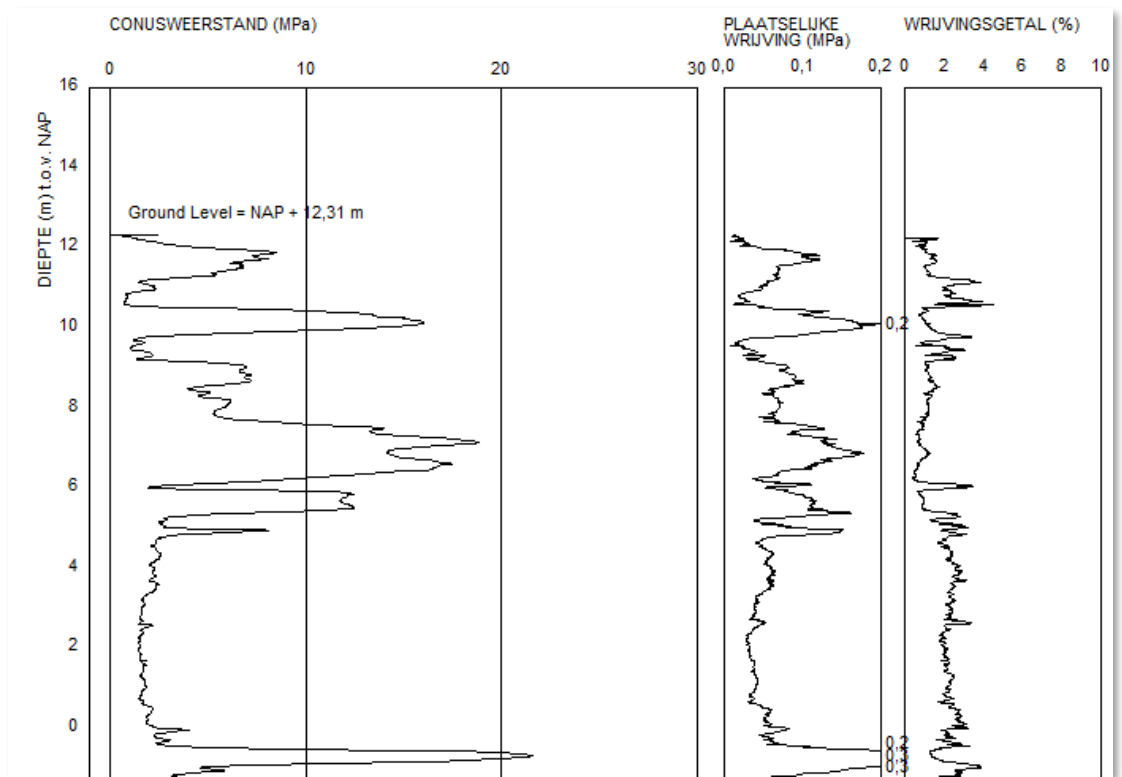
Op basis van het via BROLOket beschikbare geohydrologische ondergrondmodel RegisII (geologische ondergrondmodel Geotop is op deze locatie nog niet beschikbaar) wordt verwacht dat ter plaatse van de damwand en verankering er zand van de formatie van Bostel en/of formatie van Breda aanwezig is met mogelijk enige klei insluitingen. In de kades van het kanaal kan eventueel ook nog antropogene grond aanwezig zijn naast de in de kade gebruikte grond uit het ontgraven van het kanaal.

De vanuit Rijkswaterstaat beschikbaar gestelde boringen en sonderingen laten zien dat het anker in het zand ligt.

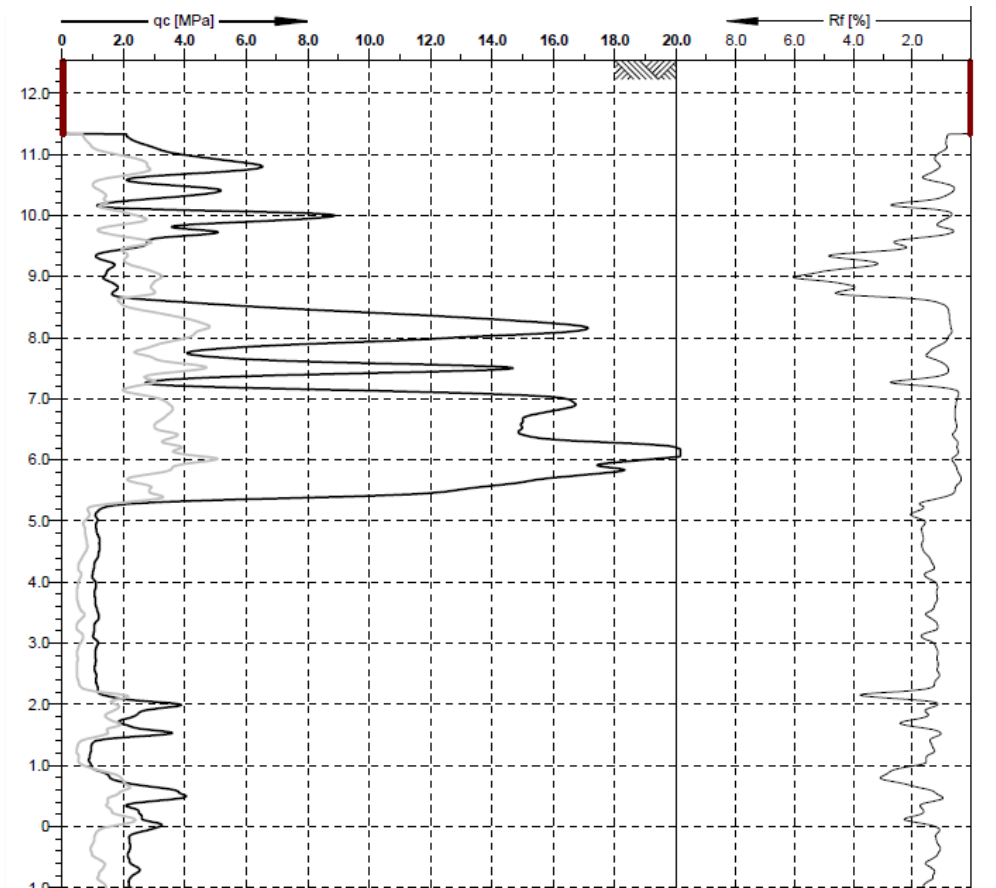
In Figuur 50 zijn de onderzoekspunten weergegeven. In Figuur 51 en Figuur 52 zijn een afdruk van sonderingen S02-1 en S36 (links van de Brug) gegeven.



Figuur 50 Grondonderzoek punten Locatie CTW.



Figuur 51 Resultaat sondering S02-1.



Figuur 52 Resultaat sondering S36.

Beide sonderingen bevestigen dat er voornamelijk zand wordt aangetroffen. De boringen beschrijven de toplaag als zand, humeus, matig siltig. De grondwaterstand bij deze boringen is aangetroffen op circa MV – 2,3 a – 2,6 m. Dat komt overeen met geschat NAP + 9,7 a +10,2 m. Er zijn geen grondwatermonitoringgegevens beschikbaar rondom de Cottwicherbrug. Het kanaalpeil is gelegen op NAP + 10 m.

A.2.5 Visuele waarneming

De ankerstangen op locatie CTW betreft een serie van 3 ankers waaraan nog koppelbussen zitten. De ankers zelf zijn 52 mm in doorsnede en zijn thermisch verzinkt. De corrosie is zeer oppervlakkig, zie Figuur 53 en Figuur 54. Er is een licht beige, witte korstvorming die eraf is te pulken. Er is nauwelijks zichtbare corrosie. De grijzige laag is goed zichtbaar. Op sommige plekken zijn er dikke grijze korsten.



Figuur 53 Corrosie product ankers locatie CTW.



Figuur 54 Detail corrosie product locatie CTW.

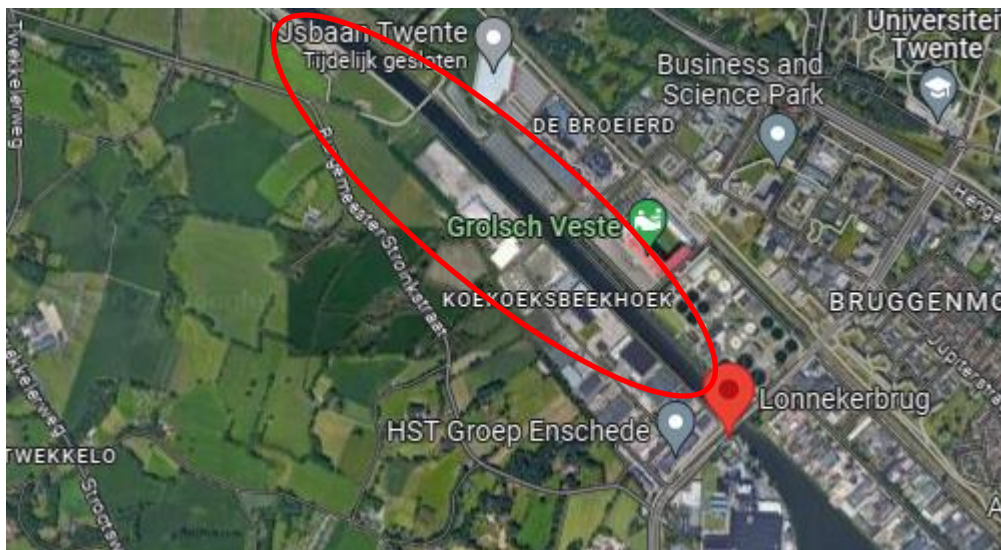
A.3 I – xx

A.3.1 Locatie beschrijving

De ankerstangen komen uit de damwandconstructie in noordwest oever ten westen van de Lonnekerbrug (1987-1988). De herkomst van de ankerstangen is globaal aangegeven. Er zijn geen gegevens bekend waar de stangen precies vandaan komen.

A.3.2 Situatie

De locatie van de oeverconstructie is gegeven in Figuur 55.



Figuur 55 Situatie locatie I [bron Google Maps].

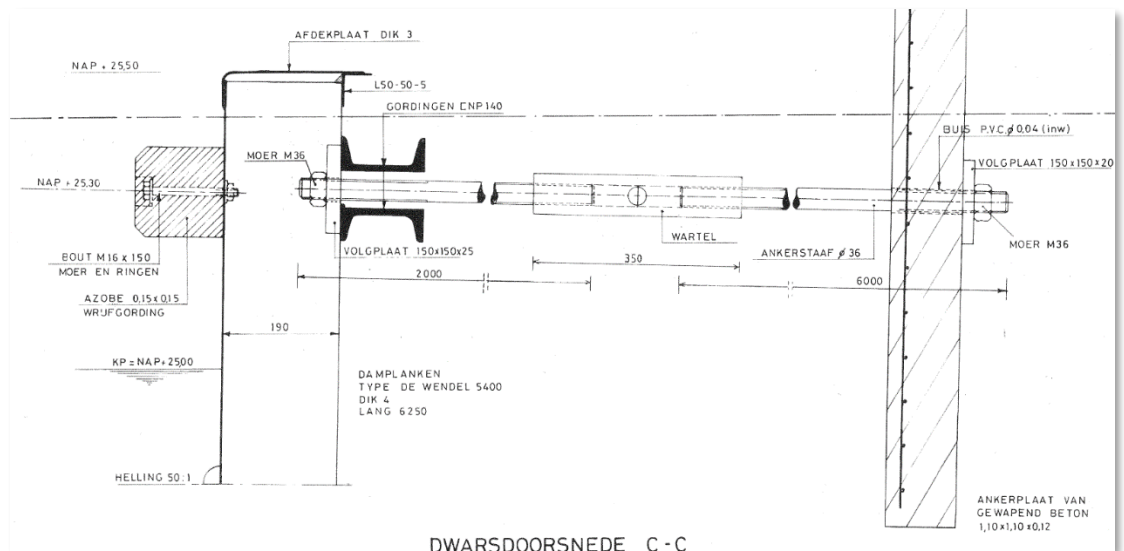
Een beeld van de oeverconstructie is gegeven in Figuur 56.



Figuur 56 Aanzicht noordwest oever aan de westzijde van de Lonnekerbrug.

A.3.3 Tekeningen en gegevens

Er zijn alleen algemene tekeningen gevonden, niet van de specifieke locatie. Tekening [5] geeft een overzicht van het te maken werk, zoals weergegeven in Figuur 57. De tekening laat een ankerstang zien met diameter 36mm met een aansluiting aan de gording achter de damwand op een niveau NAP +25.3 m (0,3 m boven kanaalpeil). Aan de achterzijde van het anker is een ankerplaat aangegeven. De damwand betreft type De Wendel 5400, dik 4, lang 6250. De ankerstangen liggen nagenoeg horizontaal, met een volgens tekening zeer klein verhang van 2 cm over de ankerlengte.



Figuur 57 Te maken werk locatie I.

De tekst op de tekening [6] geeft aan dat ankerstangen thermisch verzinkt zijn. De staalkwaliteit wordt niet benoemd.

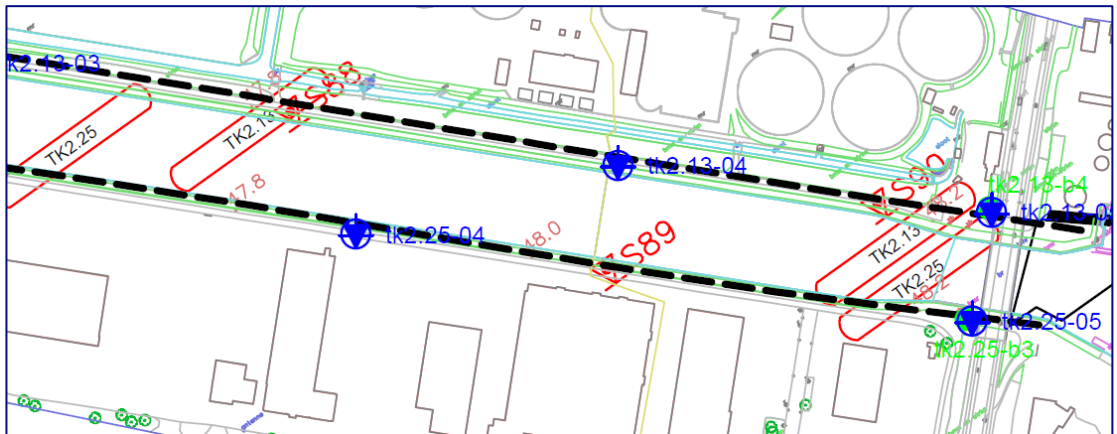
Bij een datum op de tekening van 1982 wordt een leeftijd van de ankerstangen van 40 jaar verondersteld. Op basis van de beschrijving over de brug (1987-1988) wordt een leeftijd van circa 35 jaar verwacht.

Opgemerkt wordt dat de tekeningen niet specifiek over de locatie van gebied I, bij de Lonnekerbrug gaat, maar om een algemene situatie oostelijk van de schutsluis Hengelo tot aan Hengelo.

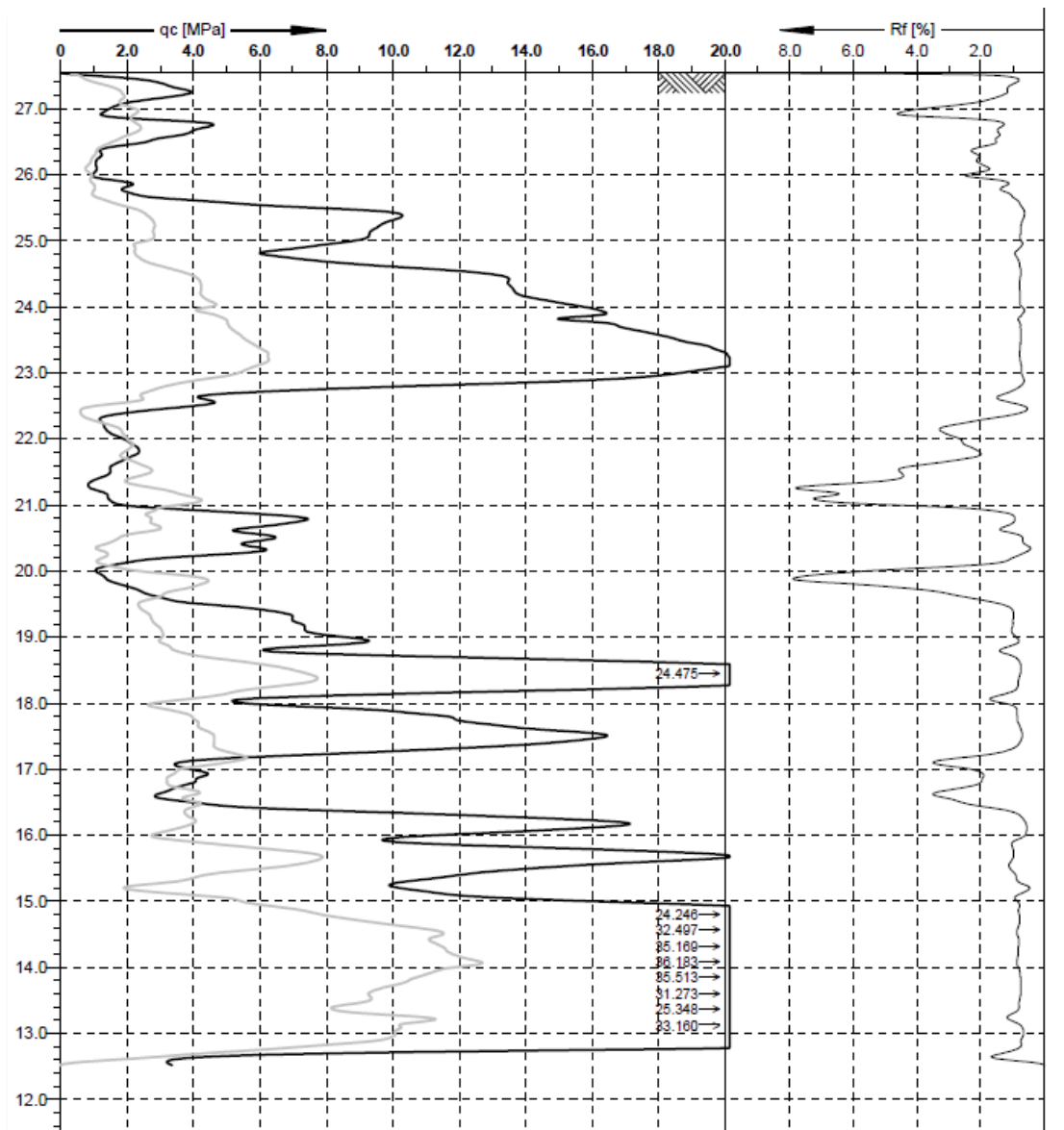
A.3.4 Grondopbouw

Op basis van het via BROLoket beschikbare geohydrologische ondergrondmodel RegisII (geologische ondergrondmodel Geotop is op deze locatie nog niet beschikbaar) wordt verwacht dat er zand van de formatie van Boxtel en/of formatie van Appelscha aanwezig is bovenop kleiige afzetting van formatie van Dongen. In de kaden van het kanaal kan eventueel ook nog antropogene grond aanwezig zijn naast de in de kade gebruikte grond uit het ontgraven van het kanaal.

In Figuur 58 zijn de onderzoekspunten weergegeven. In Figuur 59 is een afdruk van sondering S89 (in zuidwestoever naast brug) gegeven.



Figuur 58 Grondonderzoek punten Locatie I.



Figuur 59 Resultaat sondering S89.

De beschikbaar gestelde boringen en sonderingen laten zien dat het anker in het zand ligt. De boring B-01 beschrijft de toplaag als zand, sterk kleilig en zwak grindig en gaat over in zand matig siltig. De grondwaterstand bij deze boring is aangetroffen op circa MV – 2,7 m. Maaiveld niveau is onbekend. Bij boring B-DH22 werd de grondwaterstand aangetroffen op circa NAP Dat komt overeen met geschat NAP + 24,2 m. Er zijn geen grondwatermonitoringgegevens beschikbaar rondom de Lonnekerbrug. Het kanaalpeil is gelegen op NAP + 25 m.

A.3.5 Visuele waarneming

De ankerstangen op locatie I betreft een serie van 5 ankers met een diameter van zo'n 36 mm, een handmeting geeft aan dat ~37 mm mogelijk is. Groot deel van de stang is vrij egaal en weinig aangetast, met een grijzige laag. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de ankers thermisch verzinkt zijn waarbij er plekken zijn die onaangetast zijn maar ook plekken waarbij de corrosie duidelijk het metaal heeft aangevreten. De aanslag is wit, beige

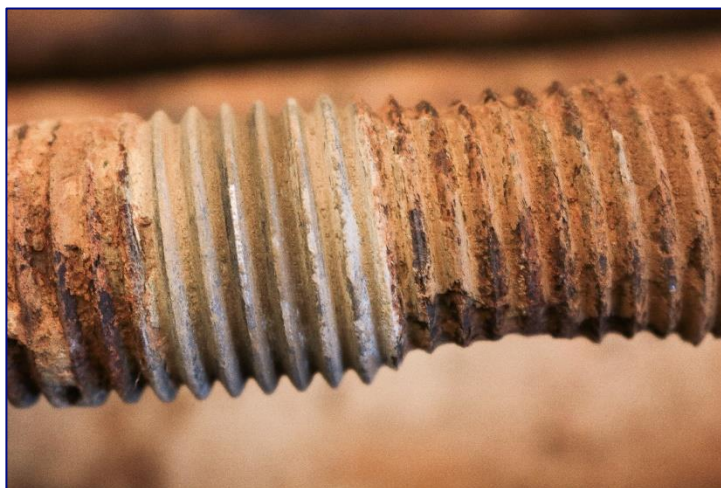
overeenkomstig met locatie CTW, maar dan dunner en met een dunnere korstvorming. In Figuur 60, Figuur 61 en Figuur 62 zijn foto's van de corrosie gegeven.



Figuur 60 Corrosie product ankers locatie I.



Figuur 61 Corrosie product detail stang locatie I.



Figuur 62 Corrosie product detail schroefdraad locatie I.

A.4 II – xx

A.4.1 Locatiebeschrijving

De ankerstangen komen uit de damwandconstructie in westoever van het zijkanaal, tussen de Rijssenseweg en de A1 (bouwjaar niet exact bekend maar door Rijkswaterstaat wordt verwacht in 1983-1984 of 1987-1988). De herkomst van de ankerstangen is globaal aangegeven. Er zijn geen gegevens bekend waar de stangen precies vandaan komen.

A.4.2 Situatie

De locatie van de oeverconstructie is gegeven in Figuur 63.



Figuur 63 Situatie locatie II [bron Google Maps].

Een beeld van de oeverconstructie is gegeven in Figuur 64.

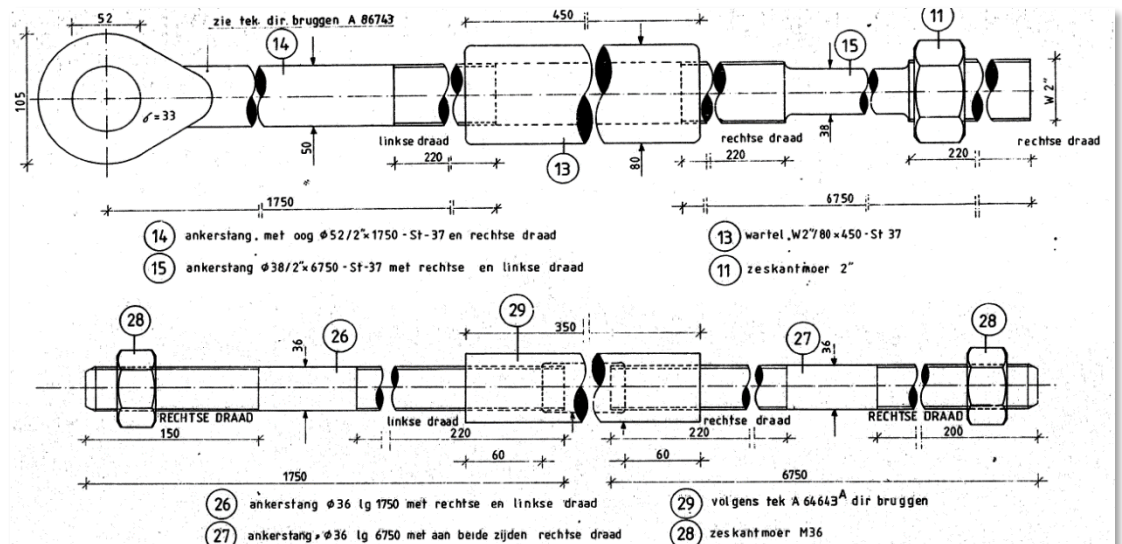


Figuur 64 Aanzicht westoever van het zijkanaal.

A.4.3 Tekeningen en gegevens

Tekening [7] en [8] geven een overzicht van de ankerstangen in het te maken werk, zoals weergegeven in Figuur 65. De tekening laat zien dat de ankerconstructie overeenkomt met de overige locaties. De diameter is 36 mm, straal 18 mm. Ook is er een ankerstang met aangelast oog met diameter 52 mm, straal 26 mm, aangegeven. Het is niet duidelijk waar deze varianten zijn toegepast. Mogelijk is 36 mm de standaard en is de andere stang nabij de Hoeselderbrug toegepast. Er wordt geen damwandprofiel genoemd. De ankers liggen nagenoeg horizontaal.

In de tekst op de tekening is aangegeven dat alle constructieonderdelen thermisch verzinkt zijn. De staalkwaliteit is Fe360.



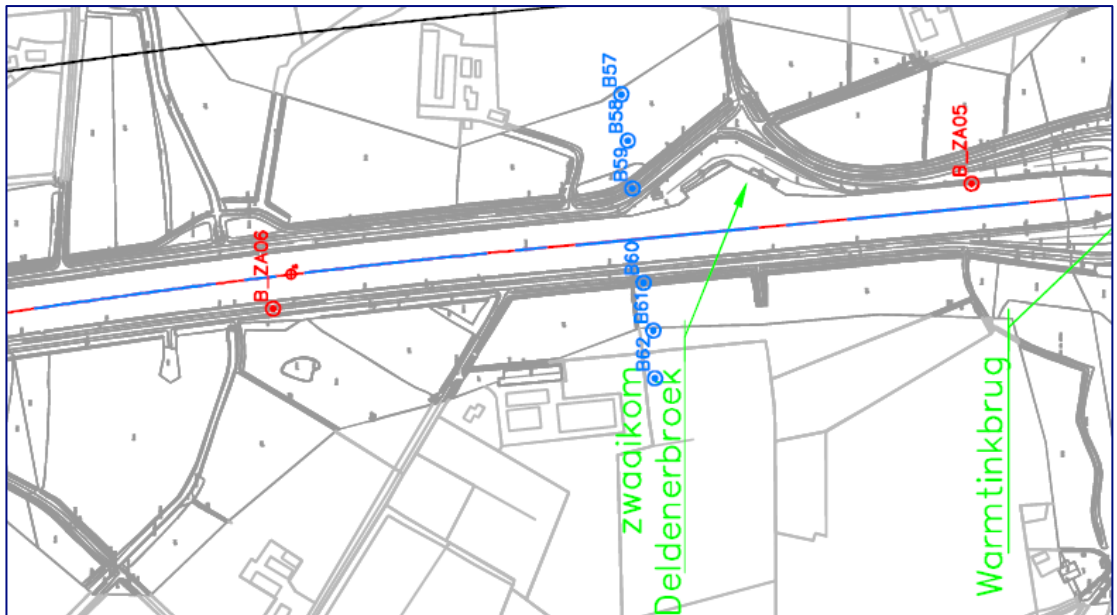
Figuur 65 Ankerstangen locatie II.

Bij een datum op de tekening van 1987 wordt een leeftijd van de ankerstangen van 36 jaar verondersteld.

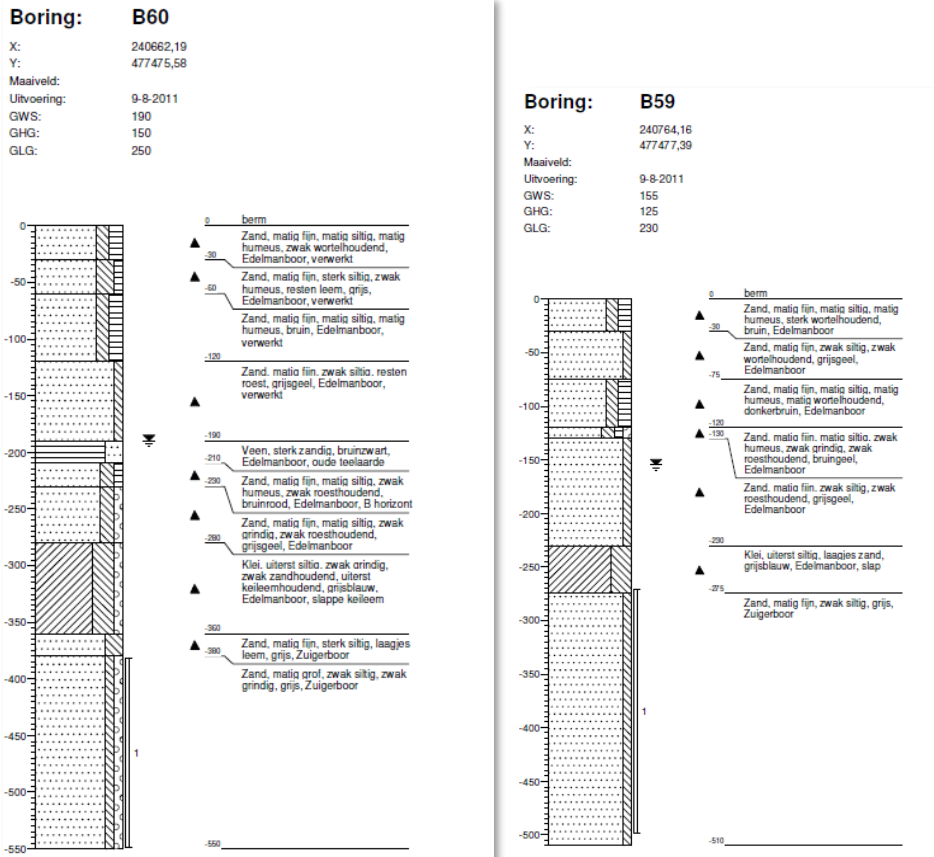
A.4.4 Grondopbouw

Op basis van het via BROLOket beschikbare geohydrologische ondergrondmodel RegisII (geologische ondergrondmodel Geotop is op deze locatie nog niet beschikbaar) wordt verwacht dat er zand van de formatie van Boxtel op zand van de formatie van Drente aanwezig is. In de kaden van het kanaal kan eventueel ook nog antropogene grond aanwezig zijn naast de in de kade gebruikte grond uit het ontgraven van het kanaal. De beschikbaar gestelde boringen laten zien dat het anker in het zand ligt.

In Figuur 66 zijn de onderzoekspunten weergegeven. In Figuur 67 is een afdruk van boringen B59 (oostoever) en B60 (westoever), net boven de verbreding in het kanaal, gegeven. Sonderingen zijn niet beschikbaar.



Figuur 66 Grondonderzoek punten Locatie II.



Figuur 67 Resultaat Boring B60 (westoever) en boring B59 (oostoever).

De boringen beschrijven de toplaag als zand, soms matig humeus, soms matig siltig. De grondwaterstand bij deze boringen is aangetroffen op circa MV – 1,9 a -1,55 m. Een maaiveldhoogte is niet beschikbaar. Het algemeen hoogtebestand nederland (www.AHN.nl) geeft in verband met aanwezige begroeiing geen nauwkeurige waarneming. Tussen de begroeiing wordt een maaiveldniveau van circa NAP + 11,4 a + 12,0 m verwacht. Het grondwater niveau wordt dan geschat op gemiddeld NAP + 10 m (variatie van NAP + 9,5 a +10,4 m).

Er zijn geen grondwatermonitoringgegevens beschikbaar rondom de projectlocatie. Het kanaalpeil is gelegen op NAP + 10 m.

A.4.5 Visuele waarneming

De ankerstangen van deze locatie (meest korte stukjes van zo'n 50 cm) zijn gecorrodeerd, maar het roest oppervlakkig zie Figuur 68 en Figuur 69. Er is wat schilfervorming en er lijkt een dun, zwart teerlaagje aanwezig te zijn. Alleen de twee lange ankerstangen zijn geanalyseerd. Bij II-10 lijkt het patroon meer op een organische coating (die grotendeels is afgebladderd) wat erop duidt dat mogelijk sprake is van een opgesmeerde teerlaag.



Figuur 68 Corrosie product ankers locatie II.



Figuur 69 Corrosie product detail anker locatie II.

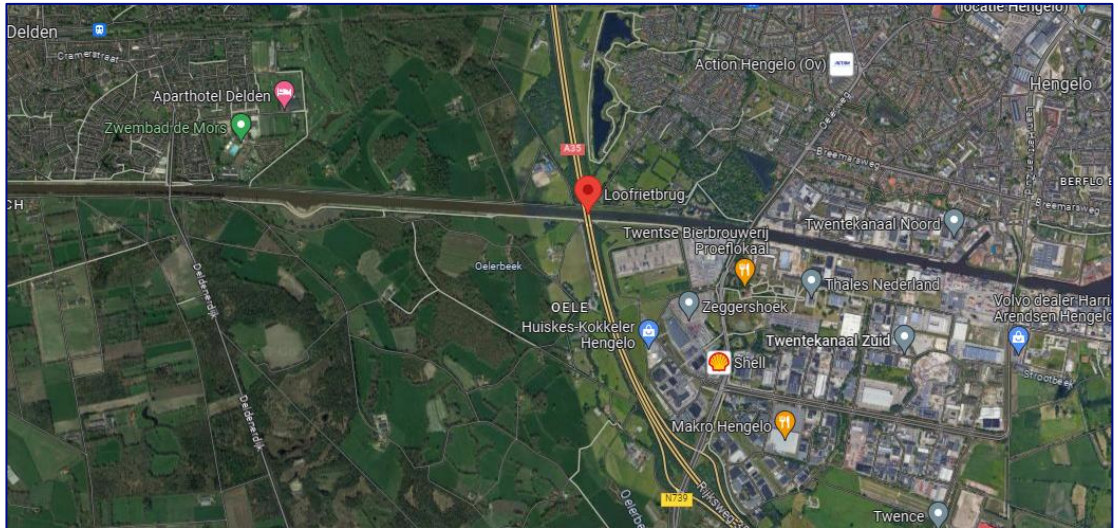
A.5 Loofr

A.5.1 Locatiebeschrijving

De ankerstangen komen uit de damwandconstructie naast de Loofrietbrug (A35 tussen Delden en Hengelo). De herkomst van de ankerstangen is globaal aangegeven. Er zijn geen gegevens bekend waar de stangen precies vandaan komen.

A.5.2 Situatie

De locatie van de oeverconstructie is gegeven in Figuur 70.



Figuur 70 Situatie locatie Loofrietbrug [bron Google Maps].

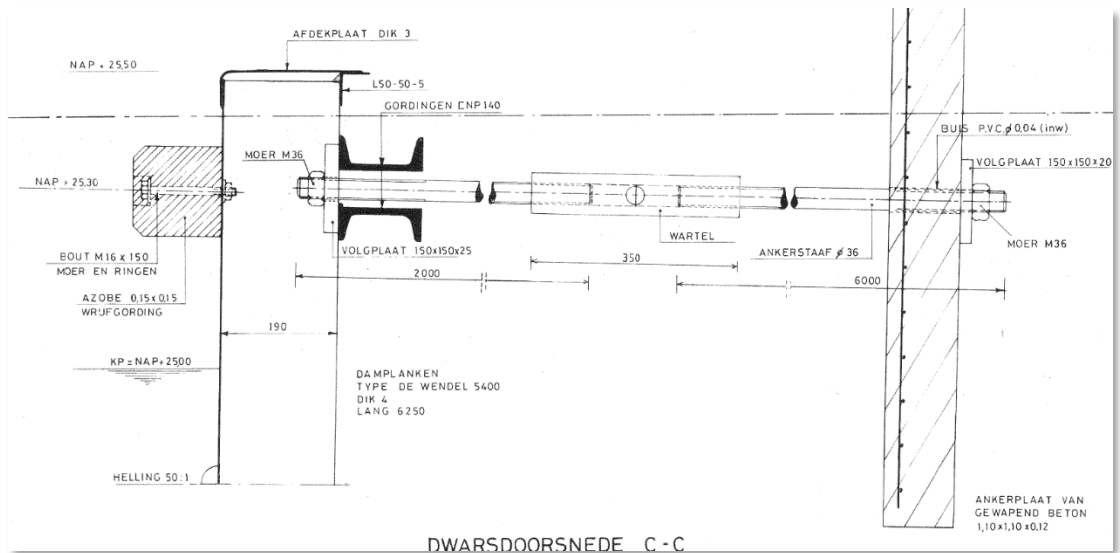
Een beeld van de oeverconstructie is gegeven in Figuur 71.



Figuur 71 Aanzicht damwandconstructie naast Loofrietbrug [bron Google Maps].

A.5.3 Tekeningen en gegevens

Tekening [5] en [6] geven een overzicht van de ankerstangen in het te maken werk, zoals weergegeven in Figuur 72. De tekening laat een ankerstang zien met diameter 36mm met een aansluiting aan de gording achter de damwand op een niveau NAP +25,3 m (0,3 m boven kanaalpeil), zie Figuur 72. Aan de achterzijde van het anker is een ankerplaat aangegeven. De ankerstangen liggen nagenoeg horizontaal, met een volgens tekening zeer klein verhang van 2 cm over de ankerlengte. De damwand betreft type De Wendel 5400, dik 4, lang 6250. Gezien de hoogte van het anker is de verwachting dat deze tekening niet voor deze locatie geldt, maar voor de situatie oostelijk van de schutsluis Hengelo (circa 3,5 km oostelijk van de Loofrietbrug).



Figuur 72 Ankerstangen locatie Loofr.

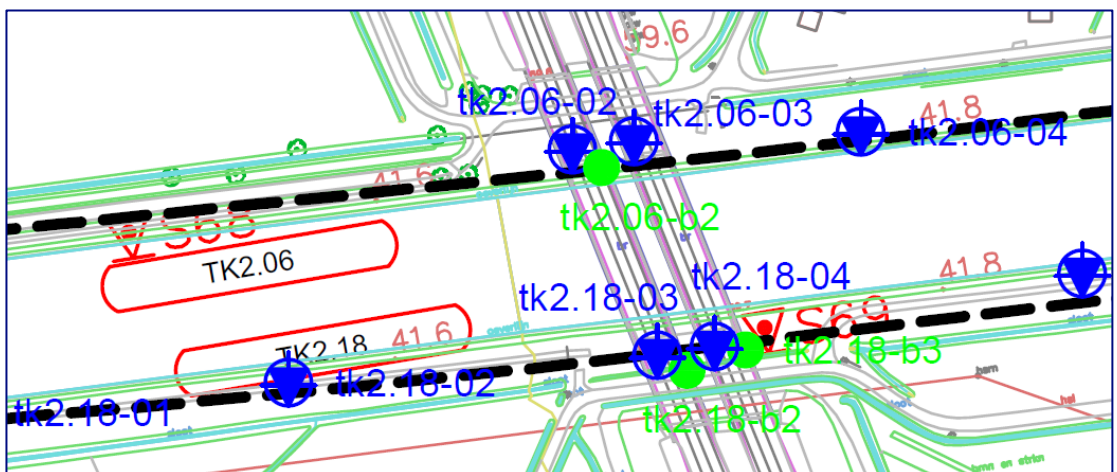
De staalkwaliteit wordt niet benoemd.

Bij een datum op de tekening van 1982 wordt een leeftijd van de ankerstangen van 40 jaar verondersteld.

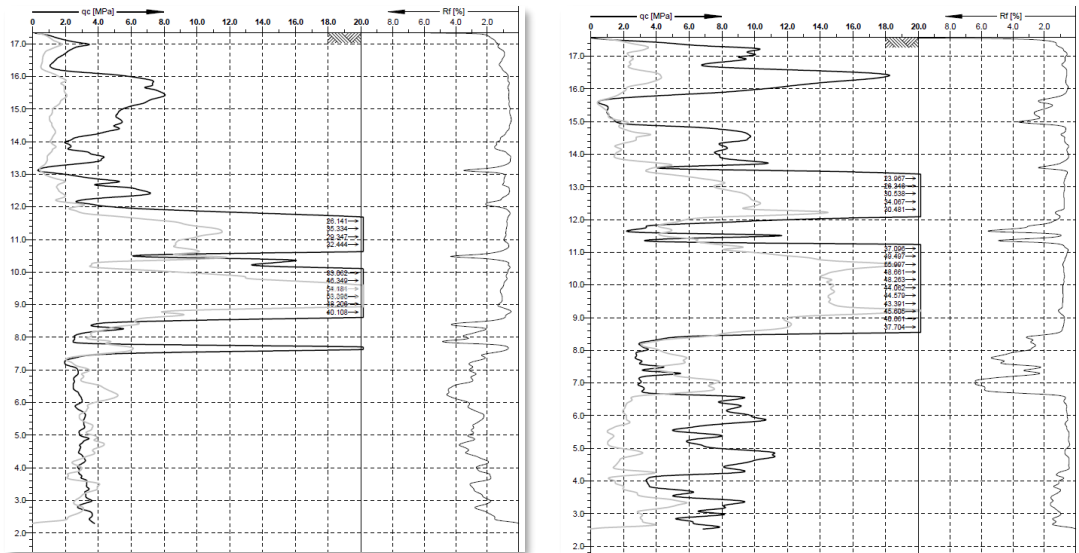
A.5.4 Grondopbouw

Op basis van het via BROLOket beschikbare geohydrologische ondergrondmodel RegisII (geologische ondergrondmodel Geotop is op deze locatie nog niet beschikbaar) wordt verwacht dat er zand van de formatie van Boxtel op formatie van Drente (zand, soms keileem) aanwezig is. In de kaden van het kanaal kan eventueel ook nog antropogene grond aanwezig zijn naast de in de kade gebruikte grond uit het ontgraven van het kanaal. De beschikbaar gestelde boringen en sonderingen laten zien dat het anker in het zand ligt.

In Figuur 73 zijn de onderzoekspunten weergegeven. In Figuur 74 is een afdruck van sonderingen S68 (westzijde brug) en S69 (oostzijde brug) weergegeven.



Figuur 73 Grondonderzoek punten Locatie Loofr.



Figuur 74 Resultaat Sondering S68 (westzijde brug) en sondering S69 (oostzijde brug).

De boring B-DH14 beschrijft de toplaag als zand, zwak humeus, zwak siltig. De grondwaterstand bij deze boringen is aangetroffen op circa MV – 3 m ofwel NAP +14,7 m .

Er zijn geen grondwatermonitoringgegevens beschikbaar rondom de Loofrietbrug. Het kanaalpeil is gelegen op NAP + 16 m.

A.5.5 Visuele waarneming

De ankers in deze serie zijn het meest gecorrodeerde van de in dit rapport gerapporteerde Twentekanal. Er zijn duidelijke plekken te zien waar het anker flink gecorrodeerd is met ‘gaten’ tot wel 1 cm diep, zie Figuur 75, Figuur 76 en Figuur 77. Het oppervlak van de stang is volledig verroest met plekken waarop er schilfers/plakken roest zitten wat er af te pulken is. Hier en daar zijn er zwarte plekken aanwezig. Op de foto's zijn resten te zien die lijken op een (organische) coating wat duidt op een corrosiebescherming met een opgesmeerde teerlaag. Die is echter grotendeels afgebladderd en er is dan ook veel algemene corrosie (rood).

Anker Loofr-2 is flink verbogen, zoals te zien in Figuur 75, tot circa 20 cm op de middellijn.



Figuur 75 Corrosie product ankers locatie Loofr – Lloofr-2 (boven) en Loofr-1 (onder) complete stang.



Figuur 76 Corrosie product detail anker Loofr-2.

Aan anker Loofr-1 zit aan een zijde nog een stuk ankerplaat. Het vertoont dezelfde corrosie als Loofr-2, maar is rechter gebleven. Er zitten een paar korsten op over een langer afstand.



Figuur 77 Corrosie product detail anker Loofr-1.

A.6 Geen markering

A.6.1 Locatiebeschrijving

Door Rijkswaterstaat is aangegeven dat deze ankerstangen behoren bij de damwandconstructie ten zuidwesten van de St. Annabrug Delden.

De beschrijving suggereert een locatie langs dezelfde oever als A.1 Anna, maar de verwachting is dat deze verder weg van de brug zijn gelegen. Opgemerkt wordt dat het merendeel van de staven “geen markering” niet door RWS aan Deltares zijn afgeleverd (vermoedelijk afgevoerd naar oudijzer).

A.6.2 Situatie

De locatie van de oeverconstructie is gegeven in Figuur 78.



Figuur 78 Globale aanduiding locatie 'geen markering' [bron Google Maps].

A.6.3 Tekening en gegevens anker

Er is van deze ankers geen detailinformatie beschikbaar, door Rijkswaterstaat is aangegeven dat dit vermoedelijk overeenkomt met A.1 Anna. Het zou dan gaan om ankerstangen met een diameter van 36 mm.

A.6.4 Grondopbouw

Er is van deze locatie geen detailinformatie beschikbaar.

A.6.5 Foto's

Foto's van de ankerstangen van diverse (onbekende) locaties die niet door RWS aan Deltares geleverd, zijn gegeven in zie Figuur 79.



Figuur 79 Lange ankerstangen 'geen markering', waarschijnlijk ongeconserveerd.

Er waren ook nog overige niet geleverde verankeringsonderdelen, mogelijk verzinkt, zoals te zien in Figuur 80.



Figuur 80 Overige onbekende verankeringsonderdelen, vermoedelijk zijn de ankerstangen verzinkt.

B Chemische analyse corrosieproducten ankerstangen Twentekanalen

B.1 Inleiding

Op de ankerstangen zit roest en ander 'aangekoekt' materiaal. Bij visuele inspectie van de ankerstangen viel op dat de corrosieproducten/restanten van coating sterk verschilden. Dit suggereert dat de ankerstangen van verschillende (sub-) locaties ook verschillende typen corrosiebescherming en verschillen in corrosieproces hebben gehad. Er is niet veel informatie bekend over corrosiebescherming vanuit de ontwerpdocumenten. Daarom kunnen de waargenomen verschillen aan het oppervlak van de ankerstangen hier mogelijk iets over zeggen. 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.

B.2 Visuele indruk van bemonsterde samples

Hieronder is een korte indruk gegeven van de visuele inspectie en geconstateerde verschillen. Meer informatie is te vinden op de foto's van de verschillende ankerstangen, zoals in Bijlage A.

Locatie	Visuele indruk
Anna	Vrij algemene corrosie (redelijk veel). Veel (rode) corrosieproducten, maar ook witte korsten, wat overeen kan komen met carbonaat die in de chemische analyses gevonden is. Geen tekenen van (functionerende) bescherming.
CTW	Nauwelijks zichtbare corrosie, grijze laag, verzinkt? Op sommige plekken wel dikke grijze korsten.
I	Groot deel van de stang is vrij egaal en weinig aangetast, met een grijzige laag. Stang lijkt verzinkt
II	Indruk verschilt per stang. II-7 lijkt verzinkt, maar bij II-10 lijkt het patroon meer op een organische coating (die grotendeels is afgebladderd).
LOOFR	Op de foto's zijn resten te zien die lijken op een (organische coating). Die is echter grotendeels afgebladderd en er is dan ook veel algemene corrosie (rood).

B.3 Analysemethode

Er zijn twee typen analyses uitgevoerd:

1. Elementanalyse

Een kleine hoeveelheid materiaal is gedroogd, gemalen en chemisch ontsloten met HNO₃/HF. Al het materiaal is daarbij opgelost. Vervolgens is de elementsamenstelling gemeten met ICP-OES.

2. 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 (CaCO₃).

B.4 Resultaten

Bij de hierna volgende resultaten van de elementanalyse en TGA-analyse is het belangrijk op te merken dat de geanalyseerde materialen verschillende herkomst kan hebben:

- Restanten coating of andersoortige corrosiebescherming:
Op een deel van de ankerstangen zijn aanwijzingen voor aanwezigheid van organische coating (teer), en van een deel van de ankerstangen bestaat het vermoeden dat deze verzinkt waren. Hiervan verwachten we dan elementen terug te vinden in de chemische analyse.
- Corrosieproducten:
Bij het corroderen van staal gaan componenten van het staal in oplossing, die vervolgens meestal weer neerslagen vormen in de vorm van corrosieproducten. Het meest voor de hand liggende voorbeeld is roest bestaande uit ijzeroxide, maar ook andere elementen van staal kunnen in deze corrosieproducten te vinden zijn, zoals nikkel en chroom.
- Chemische componenten uit de omliggende bodem en grondwater:
Bij de vorming van corrosieproducten slaan vaak ook componenten neer die uit de omliggende bodem of grondwater afkomstig zijn, zoals carbonaat of fosfor (P).

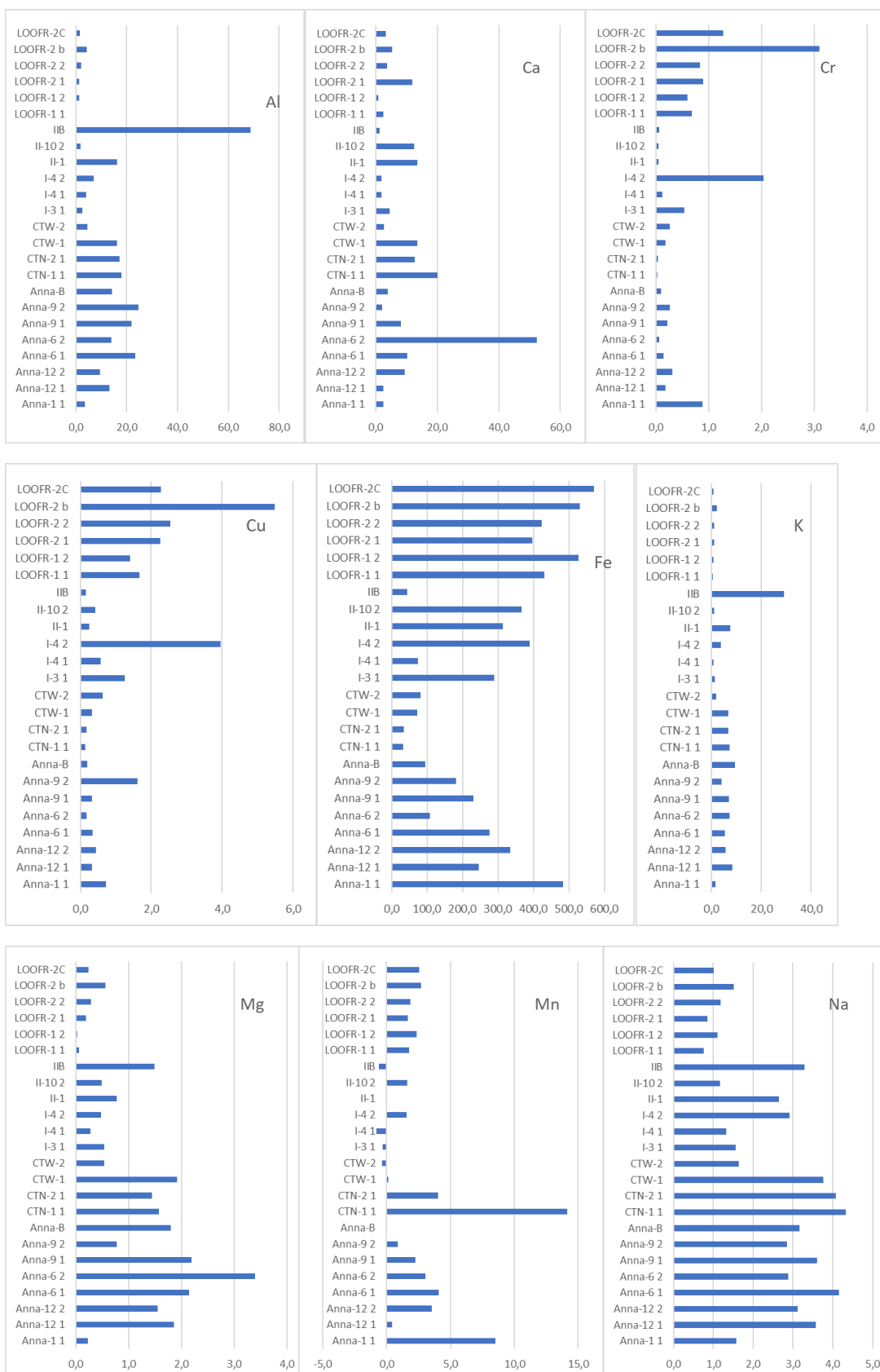
B.4.1 Elementanalyse

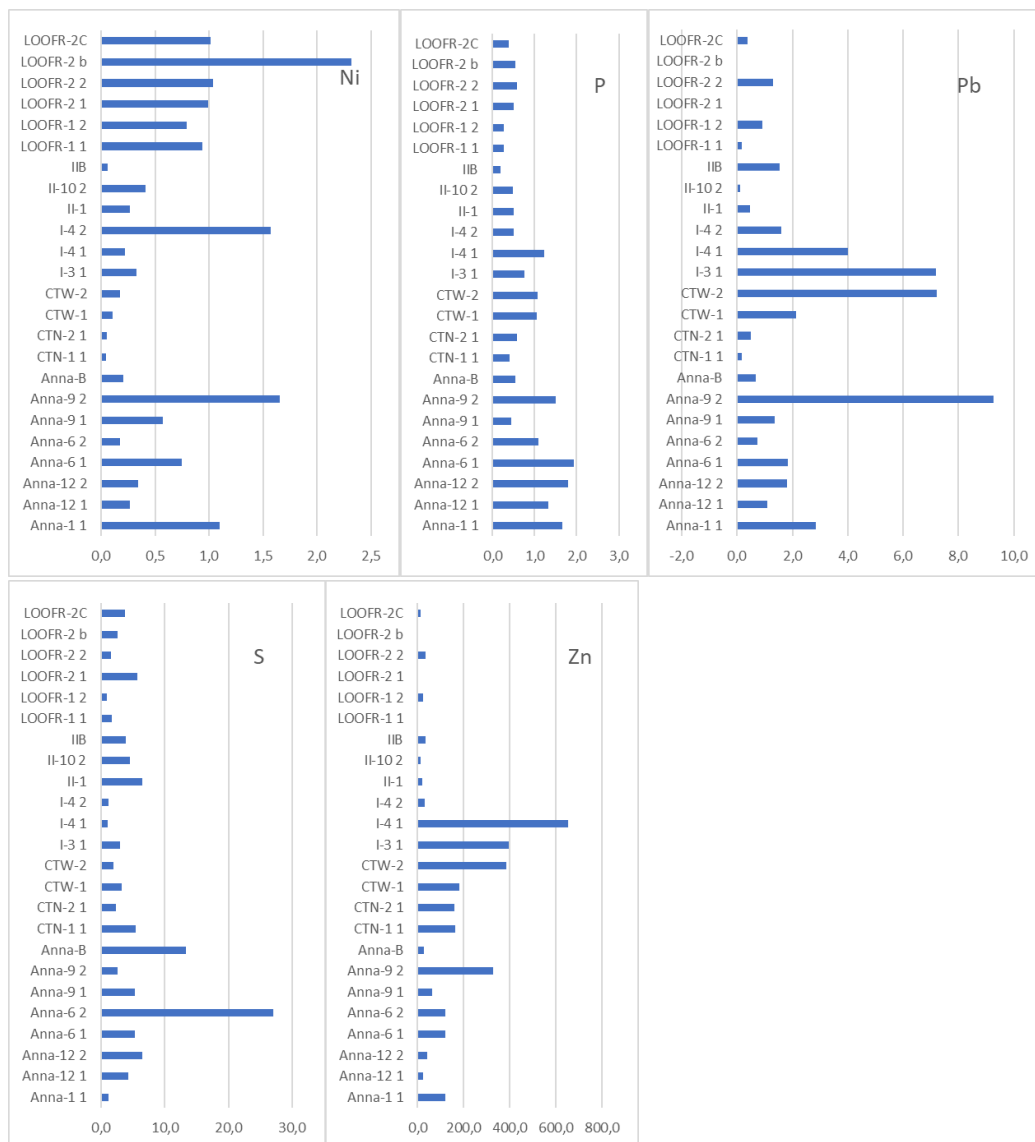
In Tabel 22 zijn de geanalyseerde elementen van het materiaal aan de oppervlakte van de ankerstangen weergegeven. Voor een aantal elementen zijn er duidelijke verschillen te zien tussen verschillende groepen ankerstangen.

Voor Fe, Cr, Ni en Cu worden hogere waarden gevonden voor LOOFR dan voor de overige monsters. Het is waarschijnlijk dat deze elementen afkomstig zijn uit het staal: dit is dus een indicatie van corrosie van het staal. Interessant is dat dit effect voor Cr en Ni duidelijker is dan voor Fe; dit is te verklaren doordat Fe ook afkomstig kan zijn uit de bodem, waardoor het onderscheid tussen Fe uit corrosie en uit de bodem moeilijk te maken is. Cr en Ni daarentegen komen in veel mindere mate voor in de bodem, waardoor het veel waarschijnlijker is dat deze elementen afkomstig zijn uit het staal.

Voor Zn is het patroon sterk verschillend ten opzichte van Fe, Cr, Ni en Cu. Zn lijkt vooral verhoogd voor te komen in materiaal van I en CTW. Het verhoogde voorkomen van Zn lijkt samen te hangen met het vermoeden dat deze stangen verzinkt waren. Het lage voorkomen van Fe, Cr, Ni en Cu lijkt er op te wijzen dat corrosie bij deze stangen minder groot was. Voor de overige elementen zijn de patronen minder duidelijk. Voor veel van deze elementen komt dit waarschijnlijk doordat deze ook in grote mate in de bodem voorkomen, waardoor de invloed van het staal kleiner is.

Tabel 23 Resultaten elementanalyse van oppervlakte materiaal aan verschillende ankerstangen.





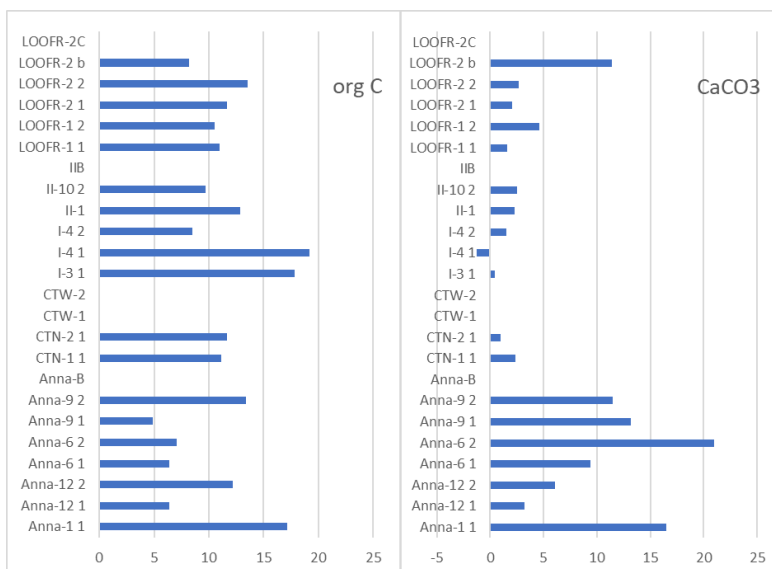
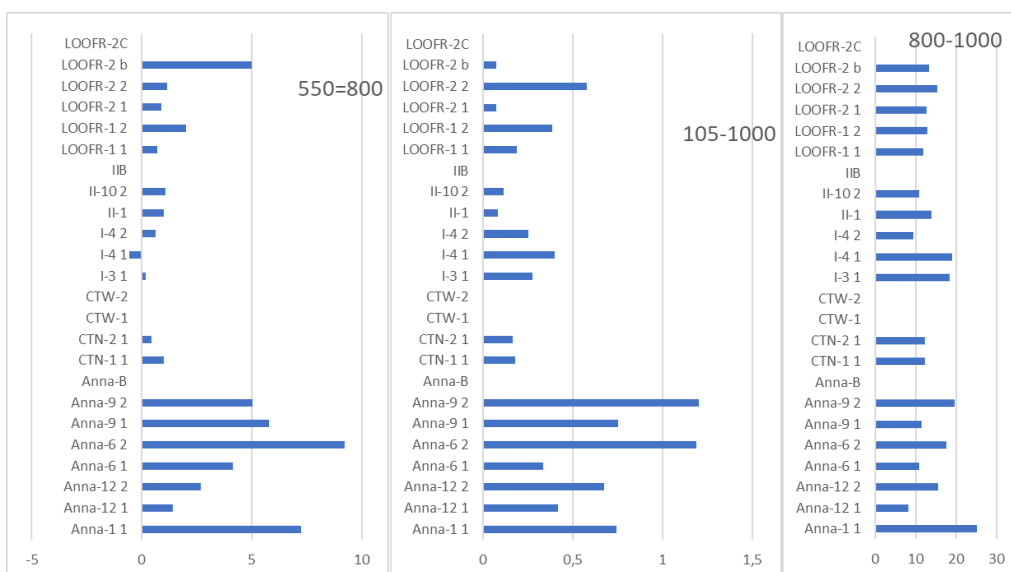
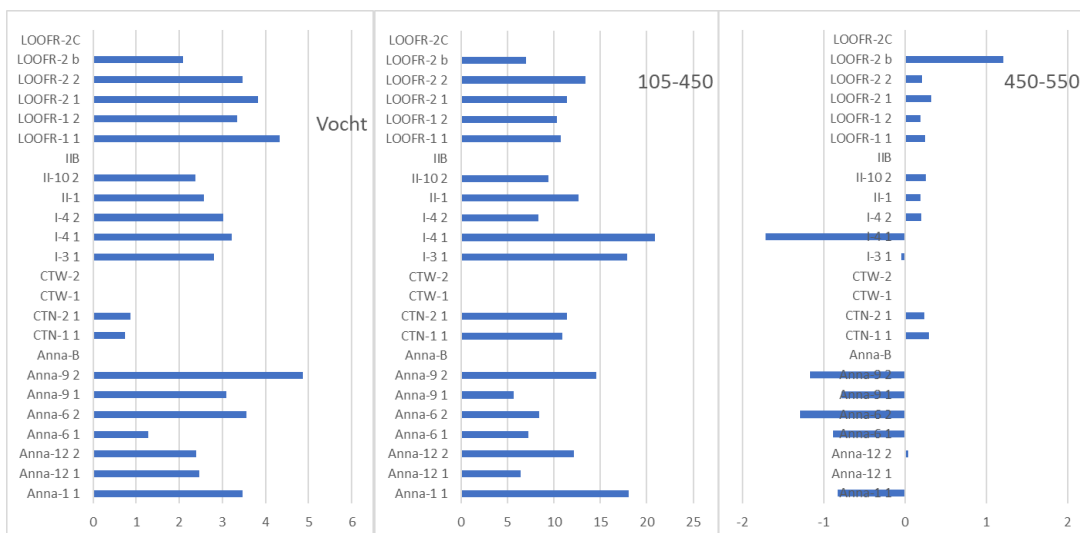
B.4.2 Chemische componenten (TGA)

Hieronder zijn de resultaten van de TGA-analyse weergegeven, zowel voor verschillende temperatuurtrajecten, als de afgeleide indicatie voor de specifieke componenten organische koolstof en calcium carbonaat.

Het belangrijkste element waarin de monsters afwijkend gedrag laten zijn het temperatuurtraject van 550-800 °C, wat overeenkomt met CaCO₃. Dit is hoger voor Anna, wat overeenkomt met de visuele indicatie van grijzige korsten.

De overige componenten laten minder onderscheid zien tussen de verschillende monsters.

Tabel 24 Resultaten TGA analyse chemische componenten van oppervlakte materiaal aan verschillende ankerstangen.



B.5 Samenvatting

De chemische analyses laten een aantal opvallende verschillen zien:

- Voor Fe, Cr, Ni en Cu worden hogere waarden gevonden voor LOOFR dan voor de overige monsters. Dit lijkt een indicatie van corrosie van het staal.
- Zn lijkt vooral verhoogd voor te komen in materiaal van I en CTW. Het verhoogde voorkomen van Zn lijkt samen te hangen met het vermoeden dat deze stangen verzinkt waren. Het lage voorkomen van Fe, Cr, Ni en Cu lijkt er op te wijzen dat corrosie bij deze stangen minder groot was.
- Voor Anna lijkt meer CaCO₃ voor te komen. Dit is in overeenstemming met de visuele indicatie van grijzige 'korsten'. De vorming hiervan heeft zeer waarschijnlijk te maken met (grond)water processen. De 'korsten' kunnen het corrosieproces afremmen.

De chemische waarnemingen lijkt overeen te komen met verschillen in mate van corrosie en het wel/niet verzinkt zijn van de ankerstangen. Het onderscheid tussen geen bescherming en de aanwezigheid van een teerlaag is minder duidelijk.

C Resultaten 3D scan analyse

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:

Parameter	Toelichting
Surface area full range	Berekende doorsnede van de cross section over de gehele ankerlengte
Surface area	Berekende doorsnede van de cross section over het voor de analyse geselecteerde deel van het anker (schroefdraad en/of beschadigd uiteinde verwijderd)
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 section berekend van het middelpunt tot omtrek
Stdev on radius from origin	Standaarddeviatie van de straal in de cross section
MinRadius / stdev	Verhouding tussen kleinste straal en de standard deviatie van de straal in een cross section

Hieronder volgt een nadere toelichting van de diverse parameters:

Doorsnede (cross section) en stralen

Elke doorsnede, loodrecht op de hartlijn van de ankerstang, wordt beschreven door een lijn van hoekpunten die het buitenoppervlak van het ingescande anker volgen. Deze hoekpunten liggen in een vlak dat kruist met de mesh (oppervlakte van het ingescande anker). De straal van een doorsnede wordt berekend vanaf het middelpunt van de doorsnede als de afstand tussen dit middelpunt tot een hoekpunt. De straal wordt berekend voor alle hoekpunten van een doorsnede. Berekend worden vervolgens de gemiddelde straal, maximum en minimum en de standaarddeviatie van de straal voor elke doorsnede. Alle waarden zijn in mm of mm² voor het oppervlak. Let op de uiteinden van de ankerstang worden buiten de analyse gehouden in verband daar aanwezig schroefdraad of beschadigingen.

Surface Area

Het surface area vertegenwoordigt het effectieve oppervlak van het anker ter plaatse van de beoordeelde doorsnede (loodrecht op de hartlijn van de ankerstang) in mm².

Gemiddelde straal.

De gemiddelde straal geeft de op dit moment resterende dikte van de ankerstang. De 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 dikte afname ten opzichte van de initiële oorspronkelijke diameter te bepalen.

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 meestal net iets (0,1-0,5 mm) 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.

Standaarddeviatie op de straal.

Bij een glad anker met nagenoeg ronde dwarsdoorsnede zijn de afstanden van middelpunt tot de hoekpunten nagenoeg gelijk met een lage spreiding tot gevolg. Wanneer het anker gecorrodeerd is, zijn er twee aspecten die een effect hebben op de spreiding. Ten eerste is het oppervlak van het anker ruwer door de corrosie. De minimale en maximale straal liggen dan zeer waarschijnlijk nog steeds dicht bij het gemiddelde; De corrosie heeft het anker op een homogene manier aangetast. Ten tweede kan er sprake zijn van lokale putcorrosie. Nu heeft de corrosie het anker op een specifieke locatie meer aangetast dan op een andere locatie. Hierdoor ontstaat een 'put' of deuk en is de minimale radius verder verwijderd van het gemiddelde.

MinRadius/stdev

MinRadius/stdev is een 'testwaarde'. Het idee is dat als een grote verspreiding wordt veroorzaakt door een ruw oppervlak, deze berekening een andere waarde zal geven dan wanneer deze wordt veroorzaakt door putcorrosie. De bruikbaarheid van deze waarde moet nog worden bepaald.

Tot slot zijn uit deze getallen, kengetallen per hele stanglengte bepaald.

Het gaat dan om de volgende waarden:

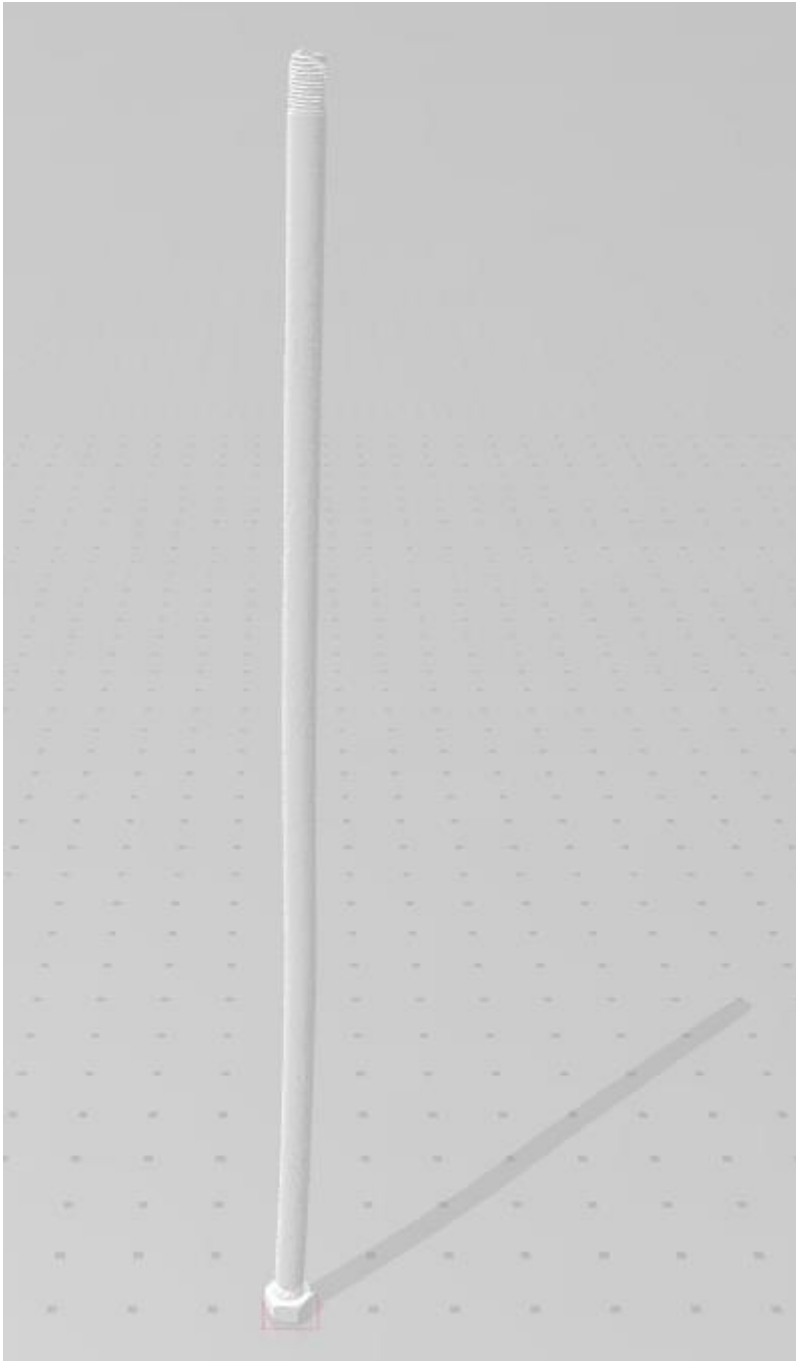
- Gemiddelde (average).
- Standaarddeviatie.
- Minimale waarde.
- Maximale waarde.

C.1 Anna

Er zijn er 12 stangen van Anna onderzocht. In C.1.1 t/m C.1.12 zijn de resultaten van de scan per stang weergegeven.

C.1.1 Anna-01

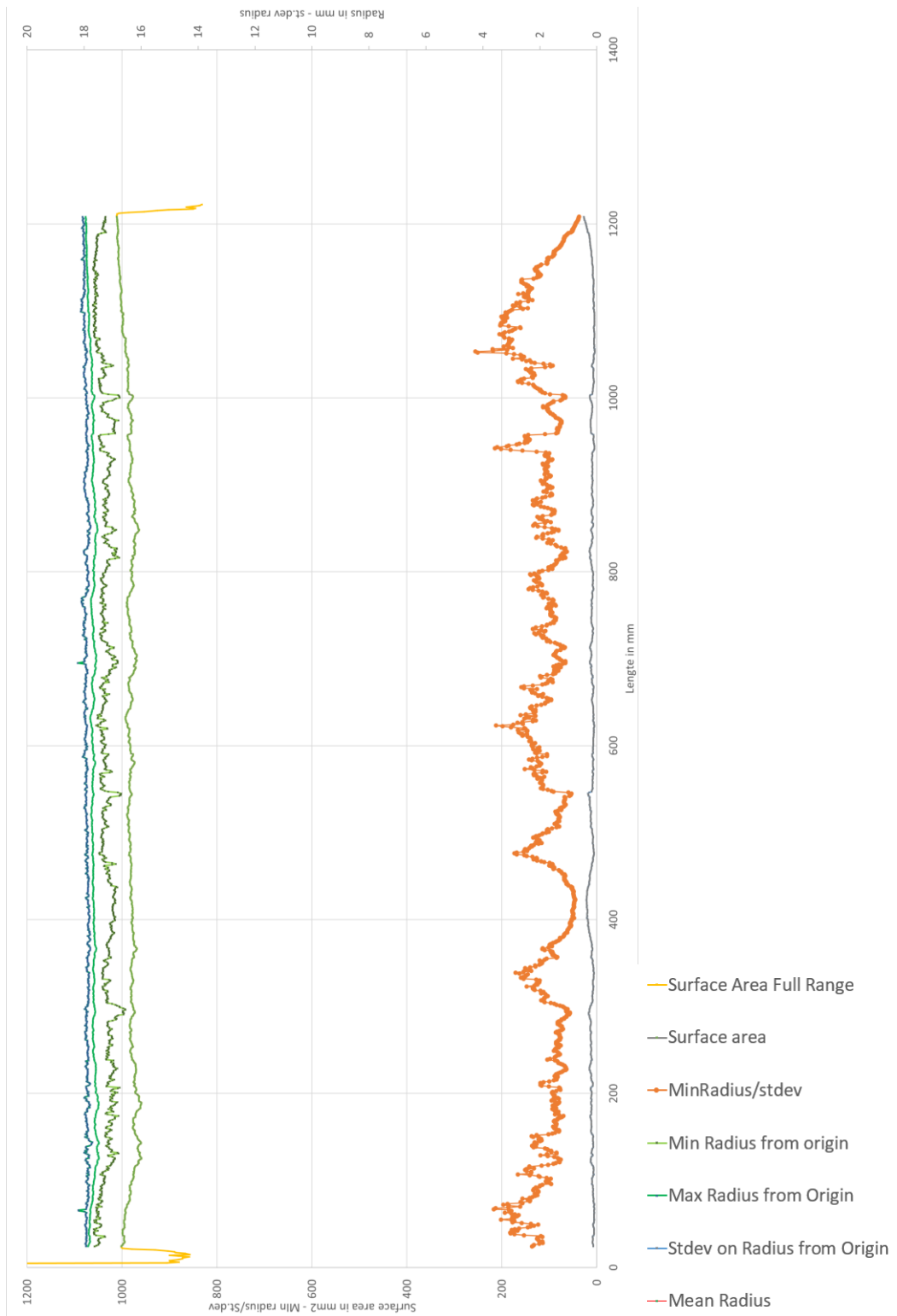
C.1.1.1. Object Anna-01



Figuur 81 Afbeelding 3D model ankerstang Anna-01.

Zijde met moer is damwand zijde (links in volgende figuur).

C.1.1.2. Resultaten 3D scan



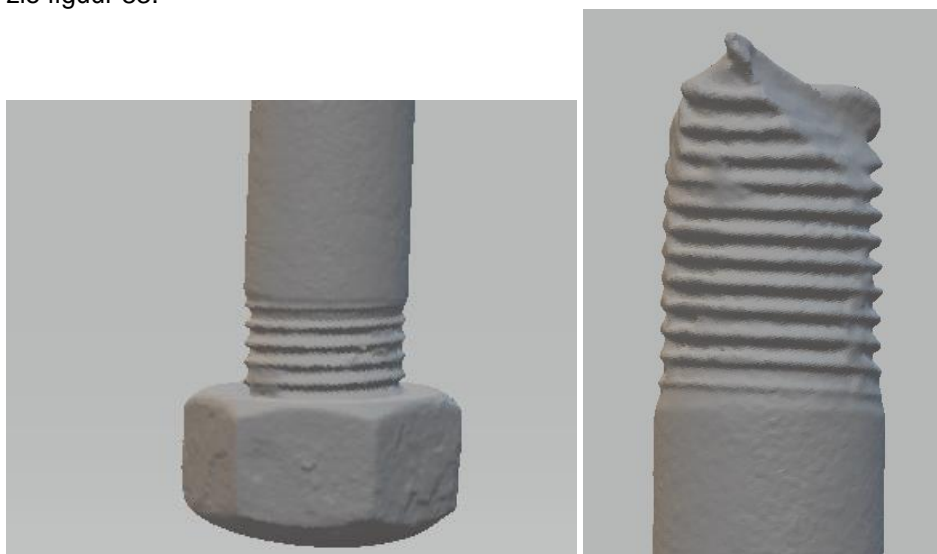
Figuur 82 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-01 (X=0 is damwandzijde).

Tabel 25 Stang kengetallen Anna-01.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	983.411	17.697	17.250	17.922	0.176	110.212
stdev	10.321	0.092	0.217	0.065	0.063	36.976
Min	959.279	17.473	16.550	17.710	0.069	37.584
Max	1011.380	17.951	17.699	18.235	0.459	256.296

C.1.1.3. Resultaten schroefdraad

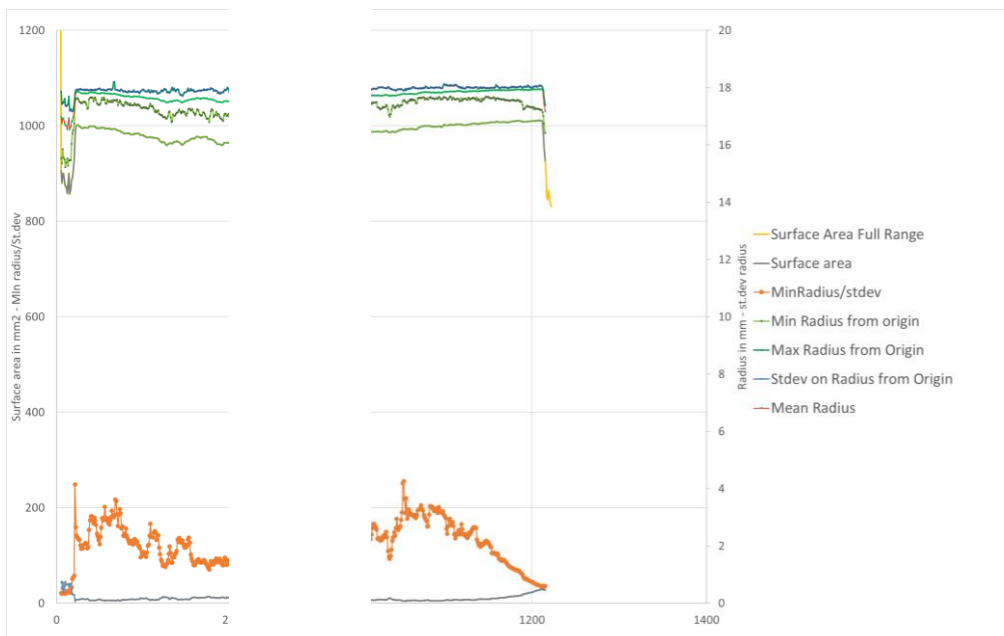
Bij ankerstang Anna-01 is aan de damwandzijde en de wartelzijde schroefdraad aanwezig, zie figuur 83.



Figuur 83 Schroefdraad aan uiteinden ankerstang.

Uit Figuur 83 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 84.



Figuur 84 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-01.

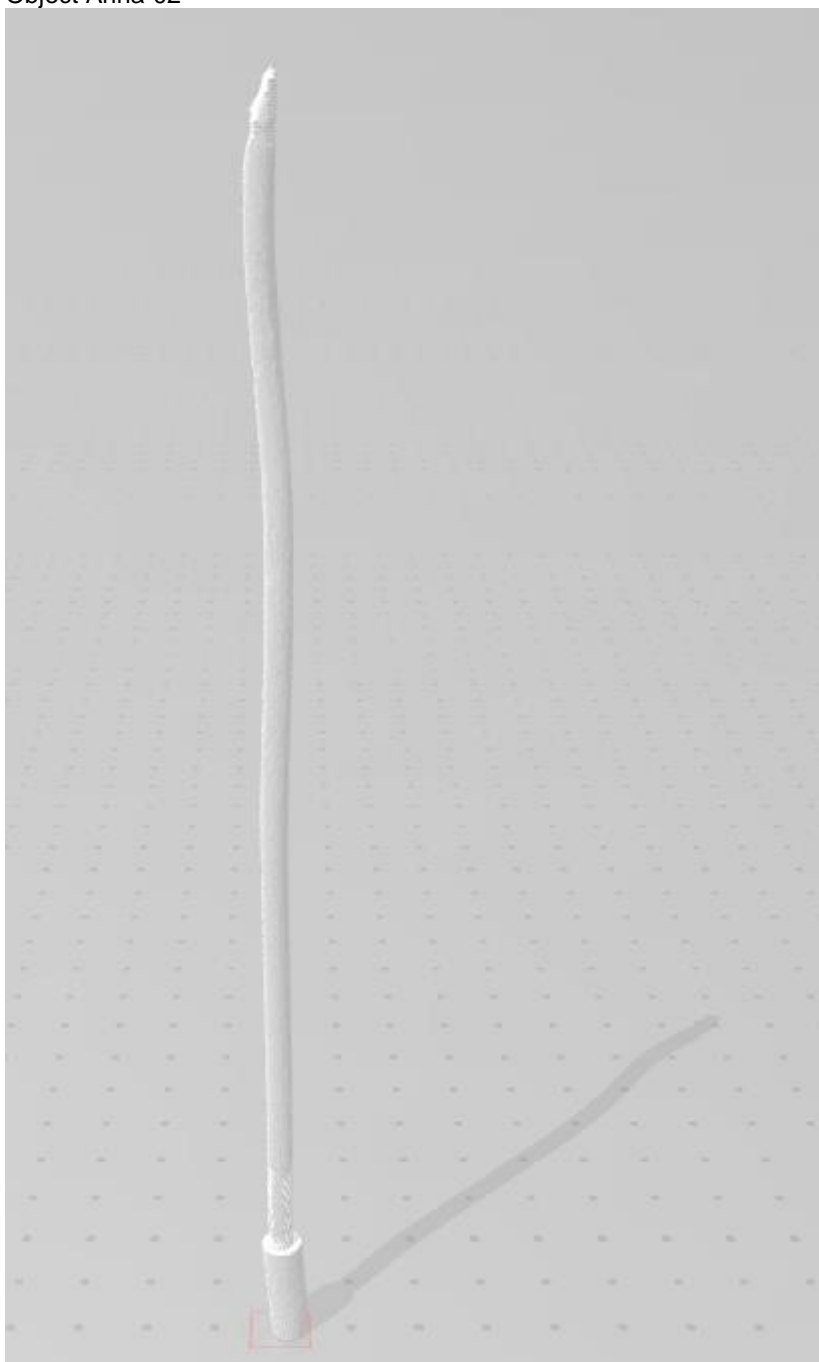
Tabel 25 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 26 Resultaat analyse schroefdraad Anna-01.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16.54	17,17
Gemiddelde diameter [mm]	33.07	34.34
Dikte afname [mm]	2.93	1.67

C.1.2 Anna-02

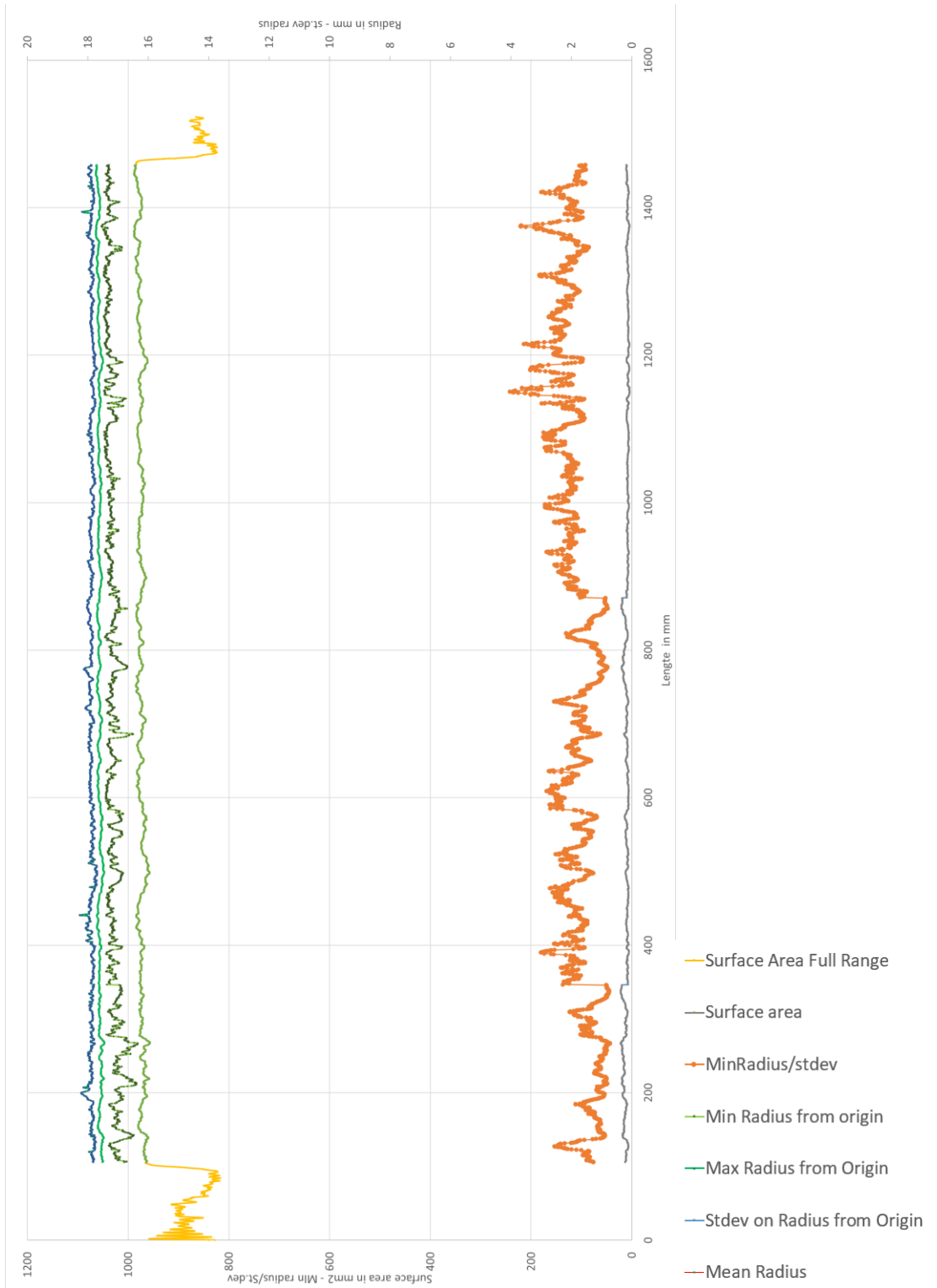
C.1.2.1. Object Anna-02



Figuur 85 Afbeelding 3D model ankerstang Anna-02.

De wartel zijde is de ankerwand zijde (achterzijde). De getalwaarden in de volgende figuur zijn dus zeer waarschijnlijk omgedraaid.

C.1.2.2. Resultaten 3D scan



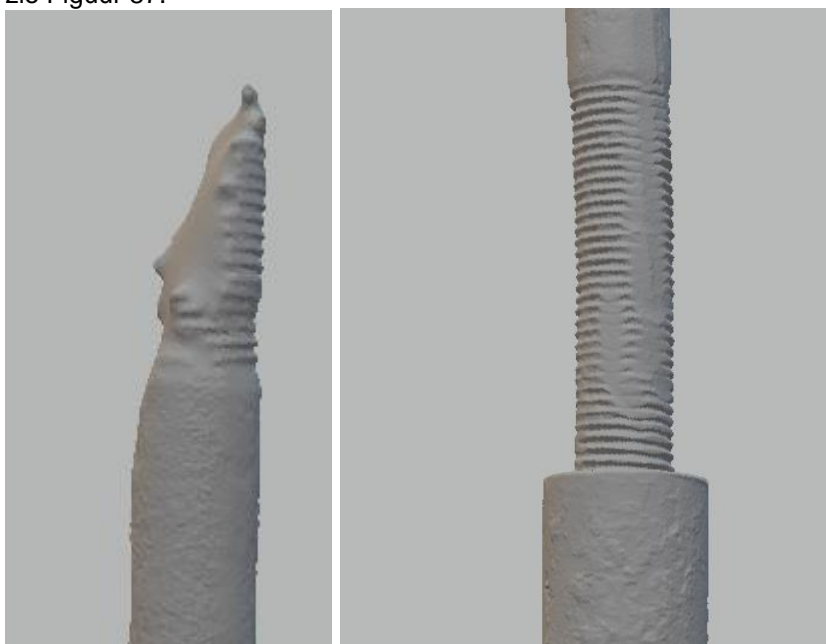
Figuur 86 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-02 (damwandzijde onzeker).

Tabel 27 Stang kengetallen Anna-02.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross sectio n [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	974.931	17.618	17.182	17.882	0.170	112.329
stdev	5.766	0.052	0.194	0.069	0.061	34.015
Min	956.469	17.452	16.352	17.685	0.072	43.266
Max	988.644	17.746	17.554	18.282	0.378	242.103

C.1.2.3. Resultaten schroefdraad

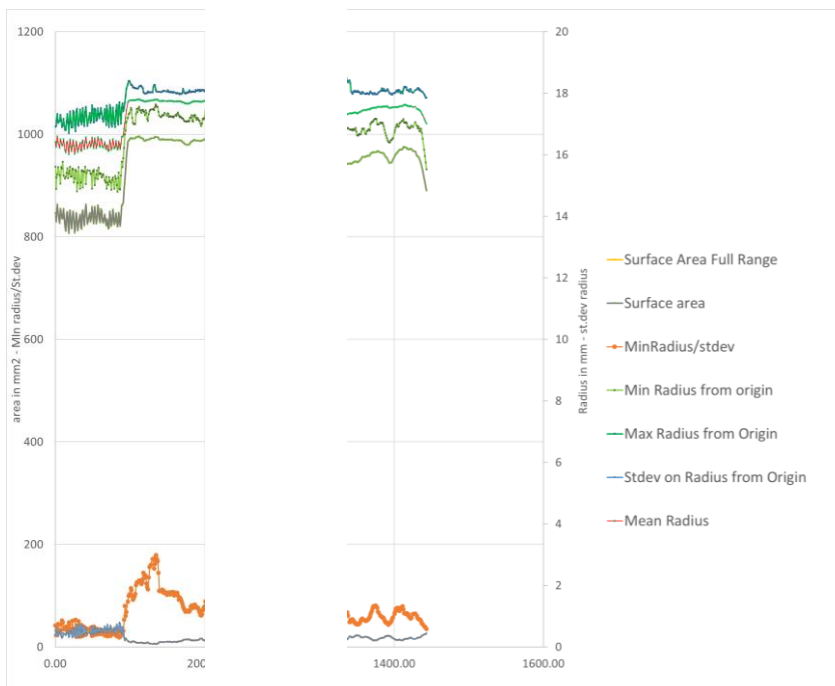
Bij ankerstang Anna-02 is aan de damwandzijde en de wartelzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 87.



Figuur 87 Schroefdraad aan uiteinden ankerstang Anna-02.

Uit Figuur 87 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 88.



Figuur 88 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-02

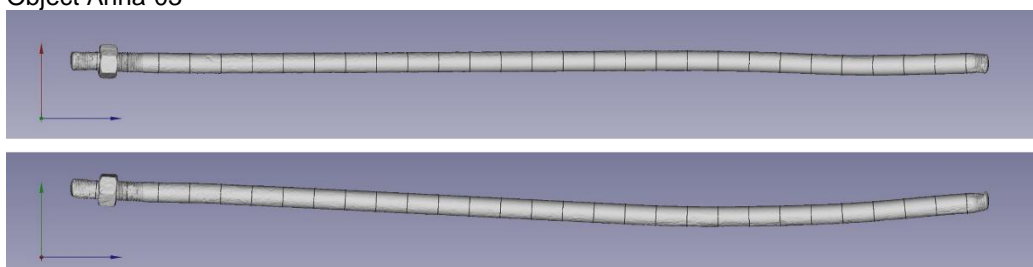
Tabel 28 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 28 Resultaat analyse schroefdraad Anna-02.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	17,01	16.52
Gemiddelde diameter [mm]	34.02	32.03
Dikte afname [mm]	1.98	3.97

C.1.3 Anna-03

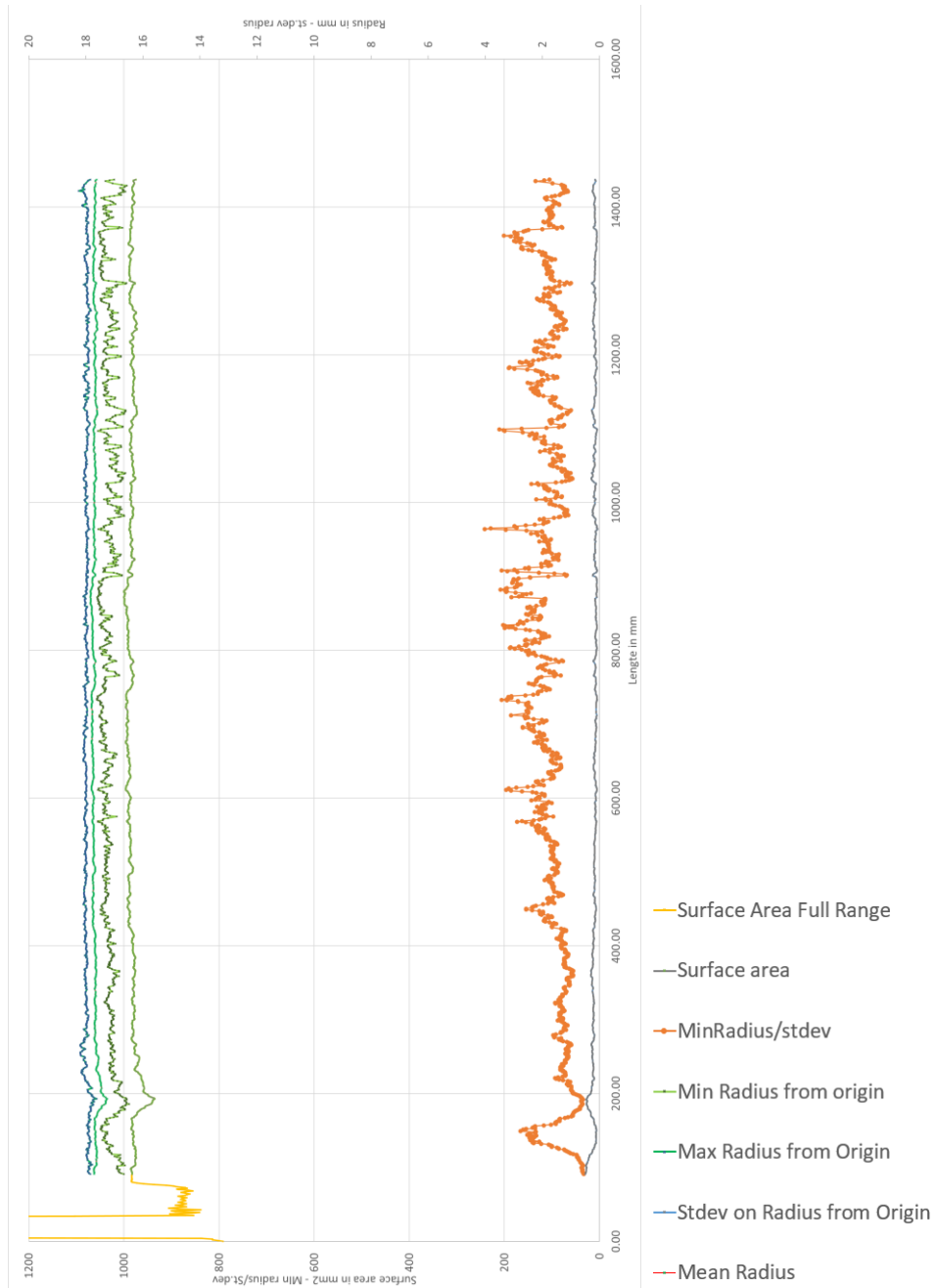
C.1.3.1. Object Anna-03



Figuur 89 Afbeelding 3D model zijaanzicht en bovenaanzicht ankerstang Anna-03.

De moer aan de linkerzijde is de damwandzijde.

C.1.3.2. Resultaten 3D scan



Figur 90 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-03.

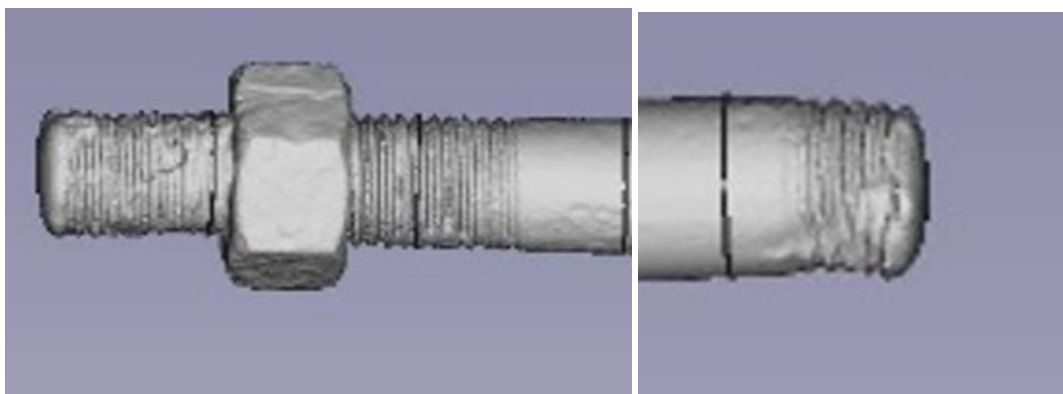
Tabel 29 Stang kengetallen Anna-03.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	983.596	17.698	17.194	17.983	0.181	106.208
stdev	8.307	0.074	0.221	0.064	0.068	34.632
Min	935.473	17.255	16.491	17.626	0.073	33.460
Max	1000.350	17.846	17.626	18.252	0.498	241.824

C.1.3.3.

Resultaten schroefdraad

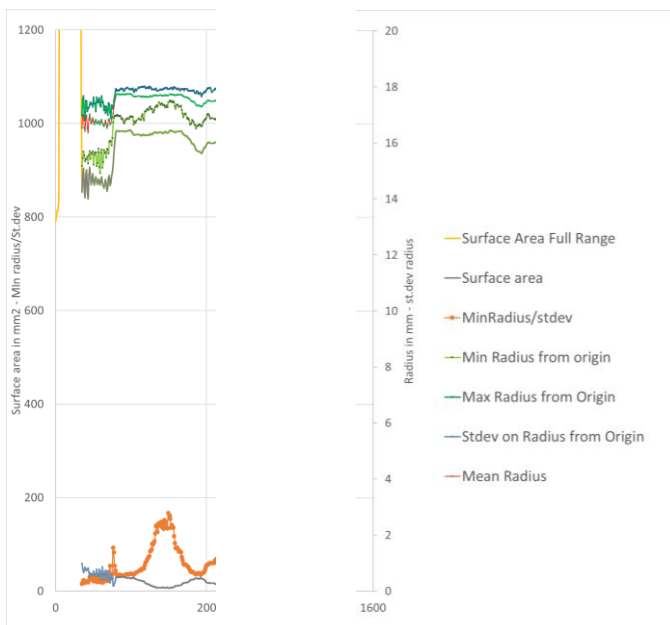
Bij ankerstang Anna-03 is aan de damwandzijde en de wartelzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 91.



Figuur 91 Schroefdraad aan uiteinden ankerstang Anna-03.

Uit Figuur 91 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is. Aan de rechterzijde is het schroefdraad deel kort en beschadigd en is niet meegenomen in de analyse.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 92.



Figuur 92 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-03.

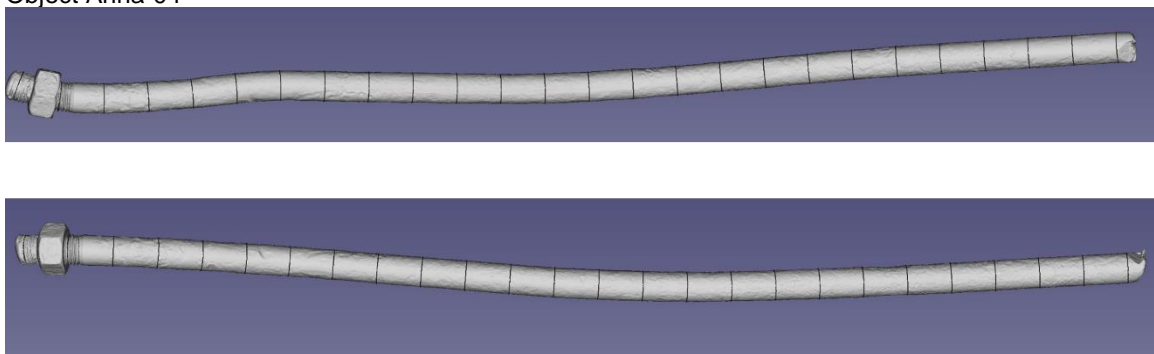
Tabel 30 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 30 Resultaat analyse schroefdraad Anna-03.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16,34	-
Gemiddelde diameter [mm]	32.68	-
Dikte afname [mm]	3.32	Nvt

C.1.4 Anna-04

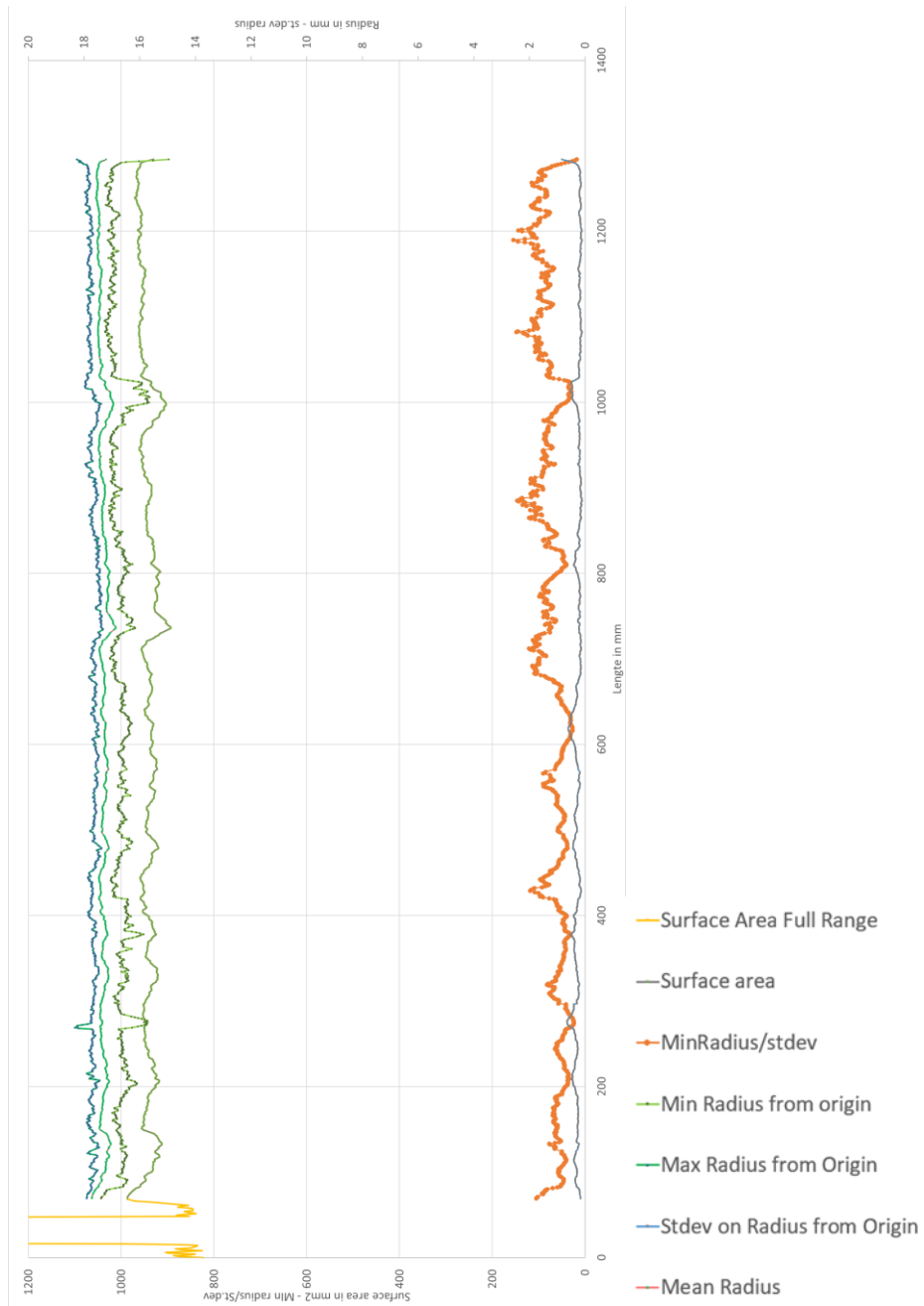
C.1.4.1. Object Anna-04



Figuur 93 Afbeelding 3D model zijaanzicht en bovenaanzicht ankerstang Anna-04.

De moer aan de linkerzijde is de damwandzijde.

C.1.4.2. Resultaten 3D scan

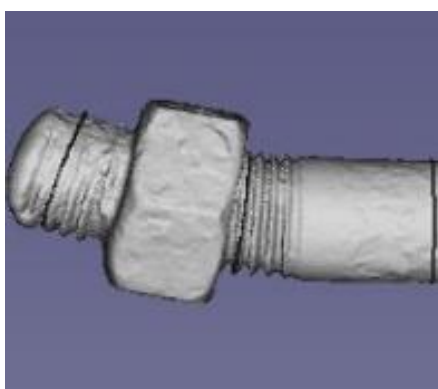


Figuur 94 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-04.

Tabel 31 Stang kengetallen Anna-04.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	941.955	17.317	16.720	17.679	0.271	71.055
stdev	14.752	0.136	0.296	0.141	0.107	25.772
Min	893.363	16.866	14.959	17.317	0.111	17.989
Max	986.717	17.728	17.383	18.335	0.832	155.071

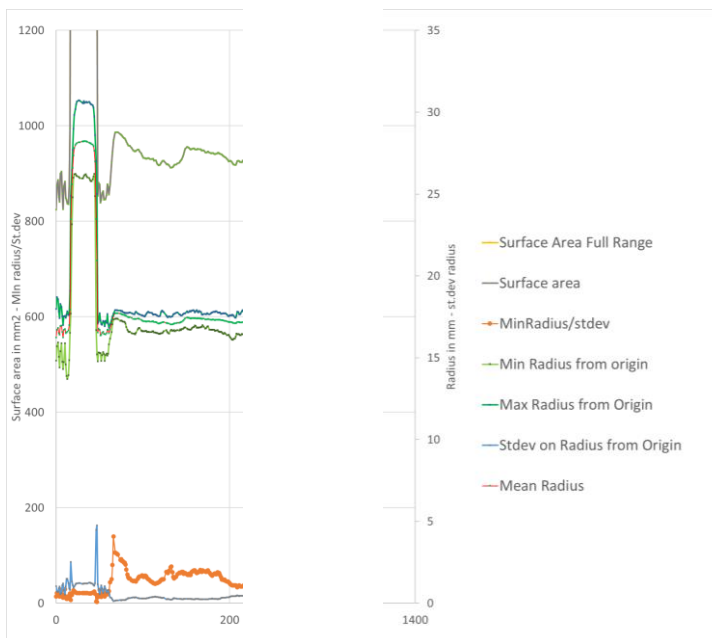
C.1.4.3. Resultaten schroefdraad
 Bij ankerstang Anna-04 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 95.



Figuur 95 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang Anna-04.

Uit Figuur 95 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is. Aan de rechterzijde is alleen een beschadigd deel aanwezig en is niet meegenomen in de analyse.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 96. De aanwezigheid van de moer is goed te zien in de lokaal hogere radius.



Figuur 96 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-04.

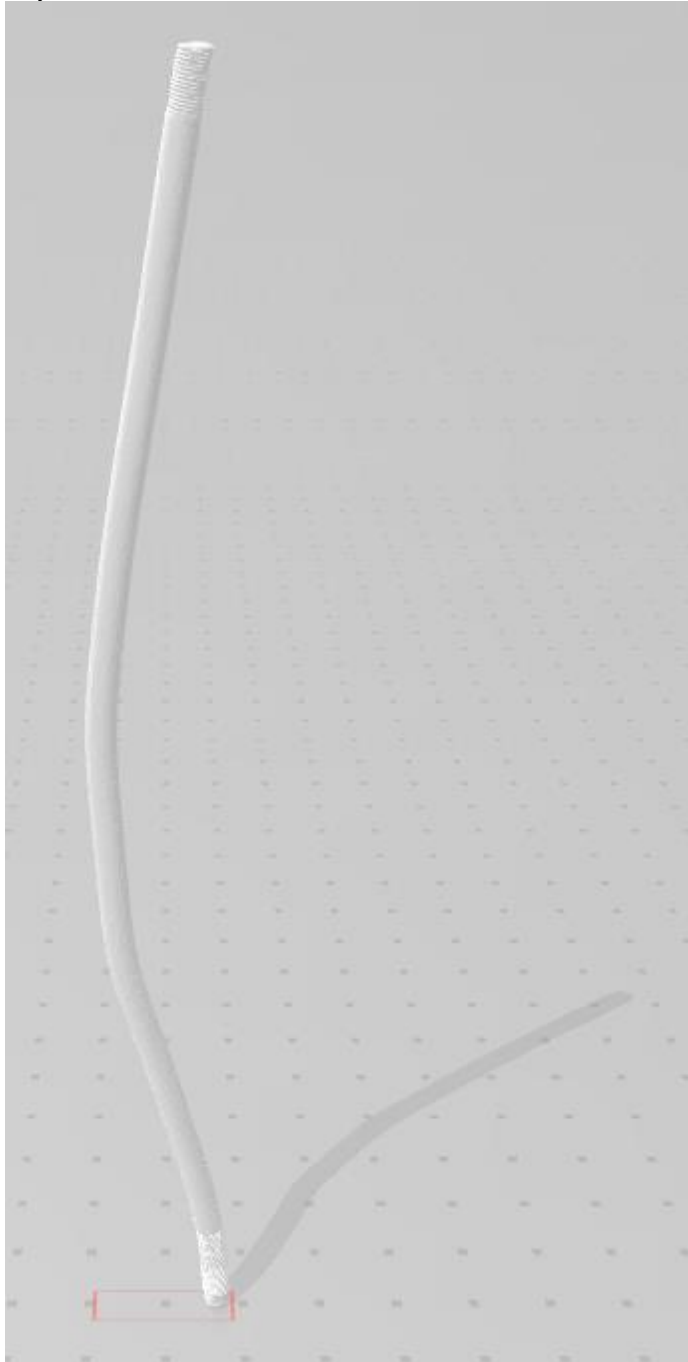
Tabel 32 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 32 Resultaat analyse schroefdraad Anna-04.

Maatgevende waarde	Damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16,24	-
Gemiddelde diameter [mm]	32.48	-
Dikte afname [mm]	3.52	Nvt

C.1.5 Anna-05

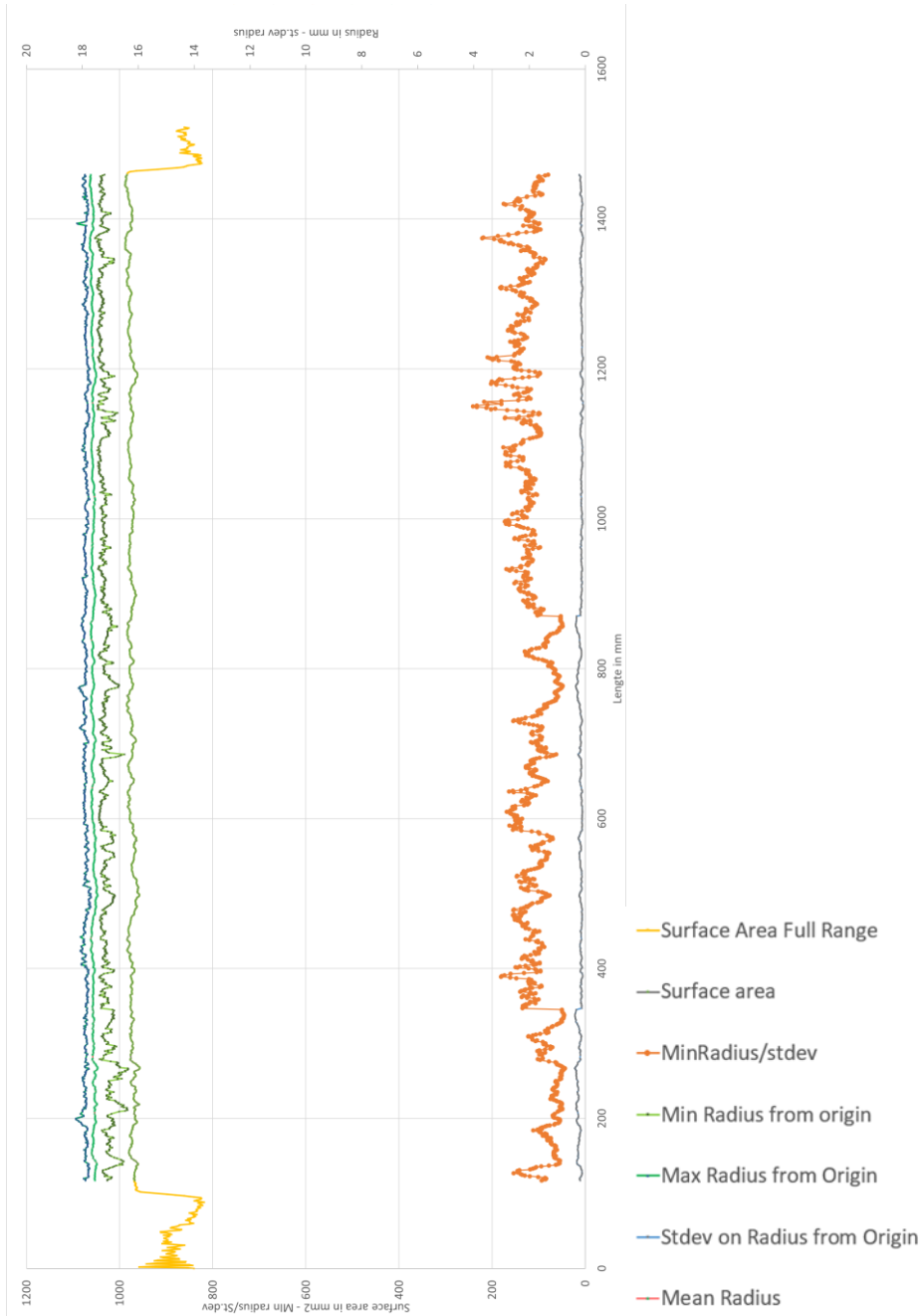
C.1.5.1. Object Anna-05



Figuur 97 Afbeelding 3D model ankerstang Anna-05.

Het is aan het 3D model niet te zien welke zijde de damwandzijde is.

C.1.5.2. Resultaten 3D scan

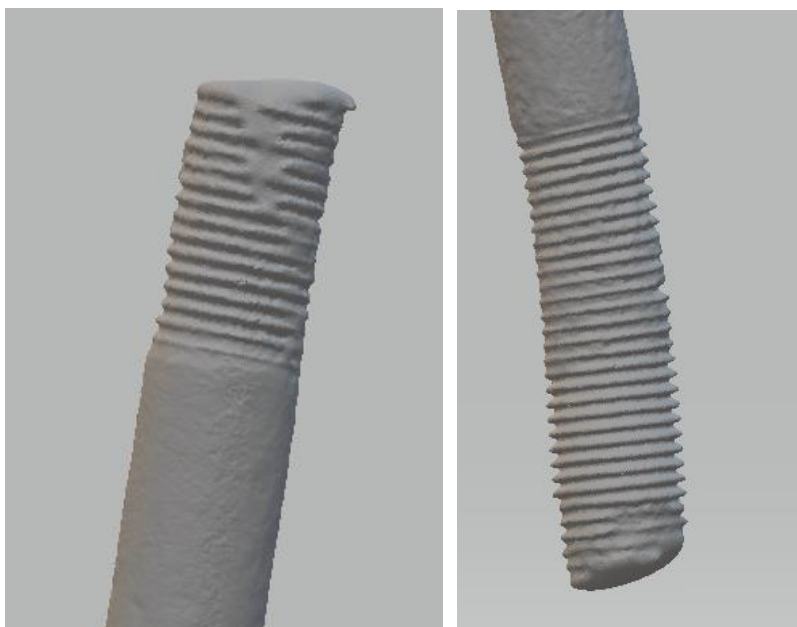


Figuur 98 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-05.

Tabel 33 Stang kengetallen Anna-05.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	974.910	17.618	17.179	17.886	0.170	112.395
stdev	5.822	0.052	0.194	0.069	0.061	33.779
Min	956.845	17.457	16.355	17.689	0.072	43.332
Max	988.645	17.746	17.549	18.236	0.378	241.647

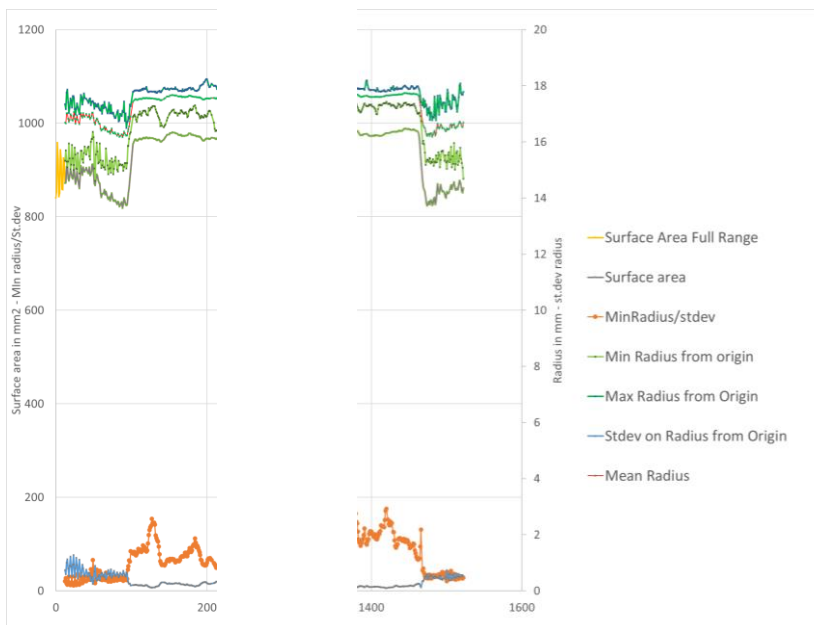
C.1.5.3. Resultaten schroefdraad
 Bij ankerstang Anna-05 is aan de damwandzijde en wartelzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 99.



Figuur 99 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang Anna-05.

Uit Figuur 99 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 100.



Figuur 100 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-05.

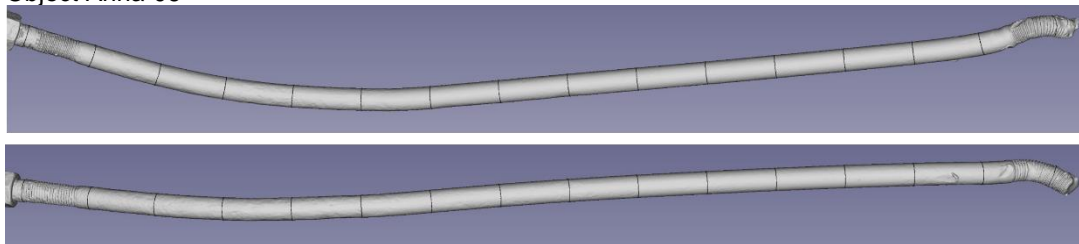
Tabel 34 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging). Aangenomen wordt dat de linker deel van figuur 73 overeenkomt met de damwand.

Tabel 34 Resultaat analyse schroefdraad Anna-05.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16,16	16.19-
Gemiddelde diameter [mm]	32.32	32.38-
Dikte afname [mm]	3.68	3.62

C.1.6 Anna-06

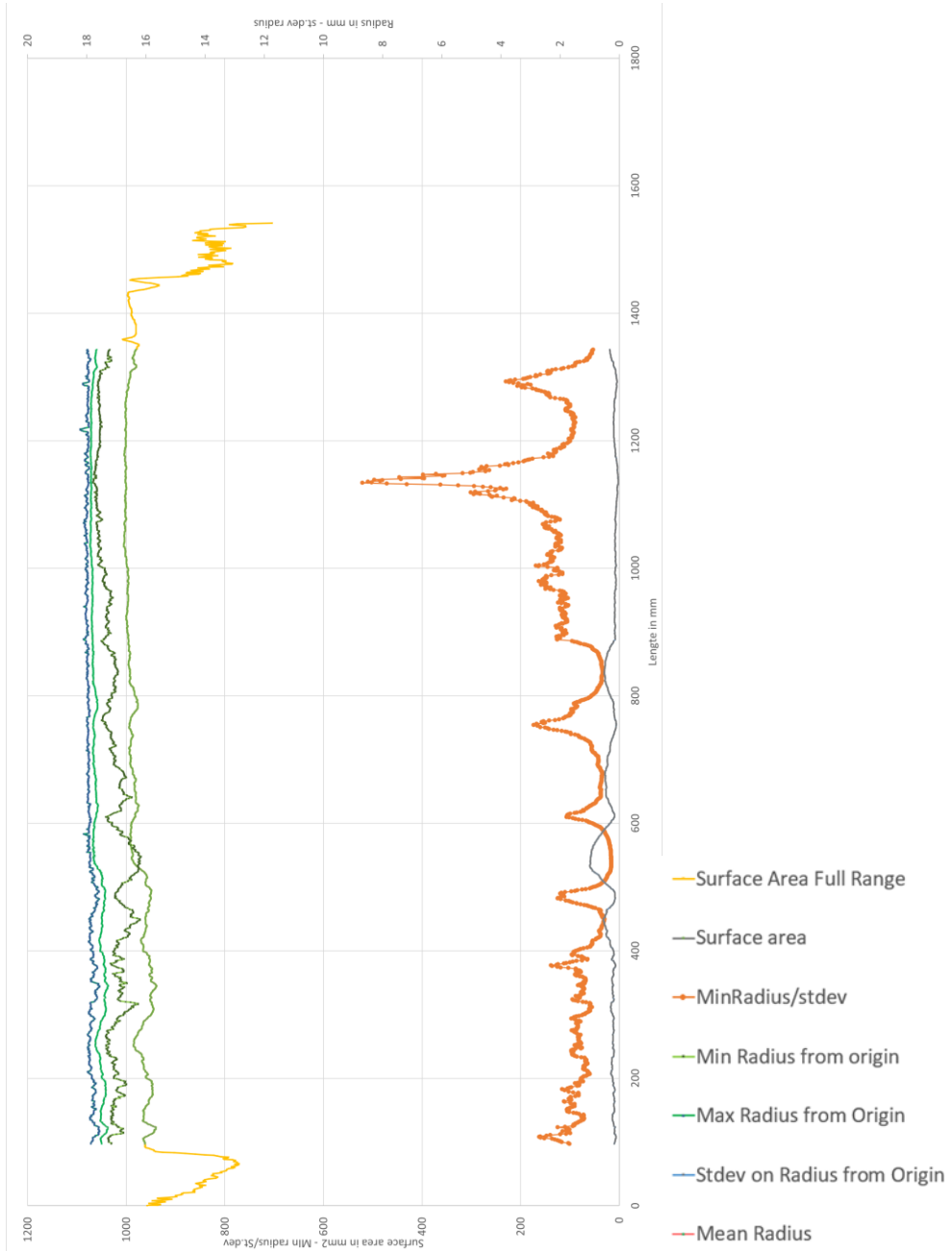
C.1.6.1. Object Anna-06



Figuur 101 Afbeelding 3D model ankerstang Anna-06.

De linkerkzijde in het 3D model is de damwandzijde.

C.1.6.2. Resultaten 3D scan



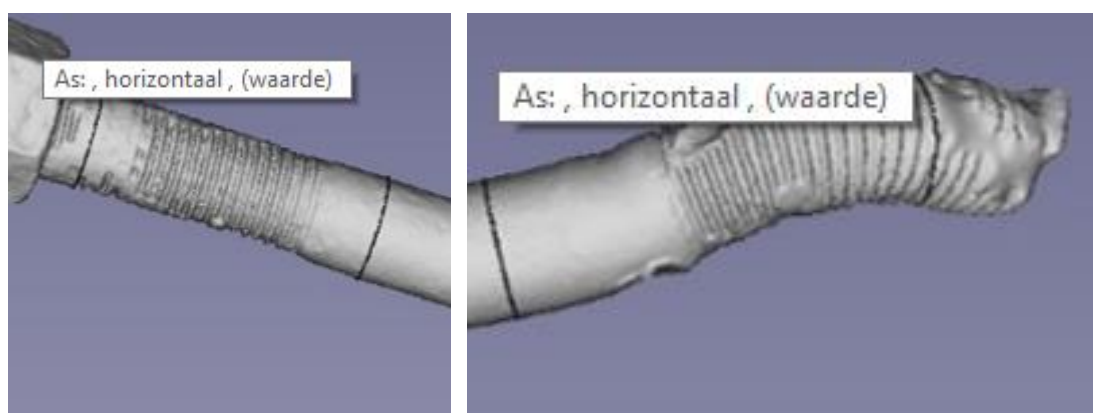
Figuur 102 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-06.

Tabel 35 Stang kengetallen Anna-06.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	981.596	17.680	17.147	17.913	0.263	97.506
stdev	18.894	0.170	0.377	0.108	0.191	67.146
Min	938.474	17.275	16.164	17.557	0.034	16.248
Max	1005.190	17.888	17.786	18.225	1.001	521.205

C.1.6.3. Resultaten schroefdraad

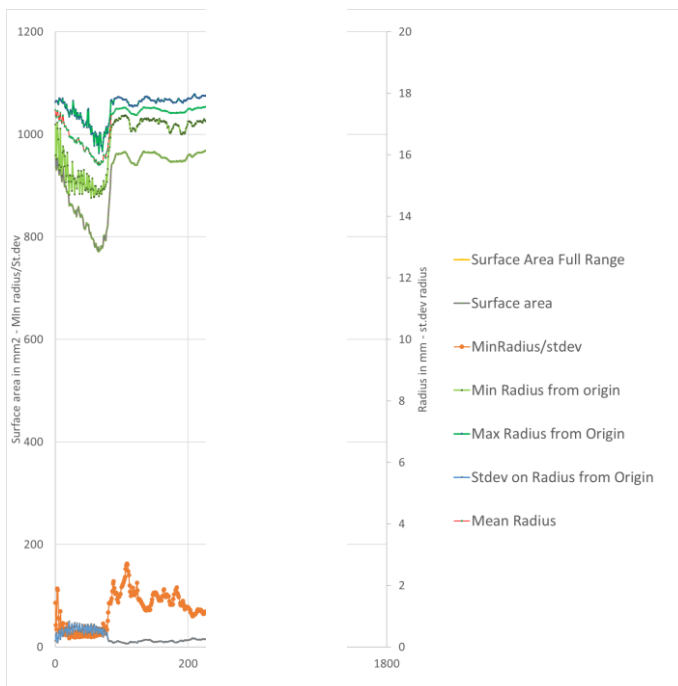
Bij ankerstang Anna-06 is aan de damwandzijde en wartelzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 103.



Figuur 103 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang Anna-06.

Uit Figuur 103 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is. Aan de wartelzijde is veel beschadiging, deze zal niet in de analyse worden meegenomen.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 104.



Figuur 104 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-06.

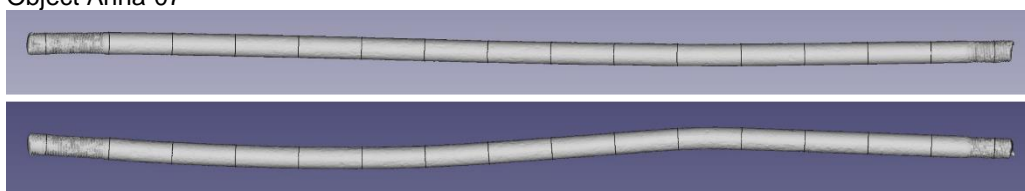
Tabel 36 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 36 Resultaat analyse schroefdraad Anna-06.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	15.67	-
Gemiddelde diameter [mm]	31.33	-
	4.67	Nvt

C.1.7 Anna-07

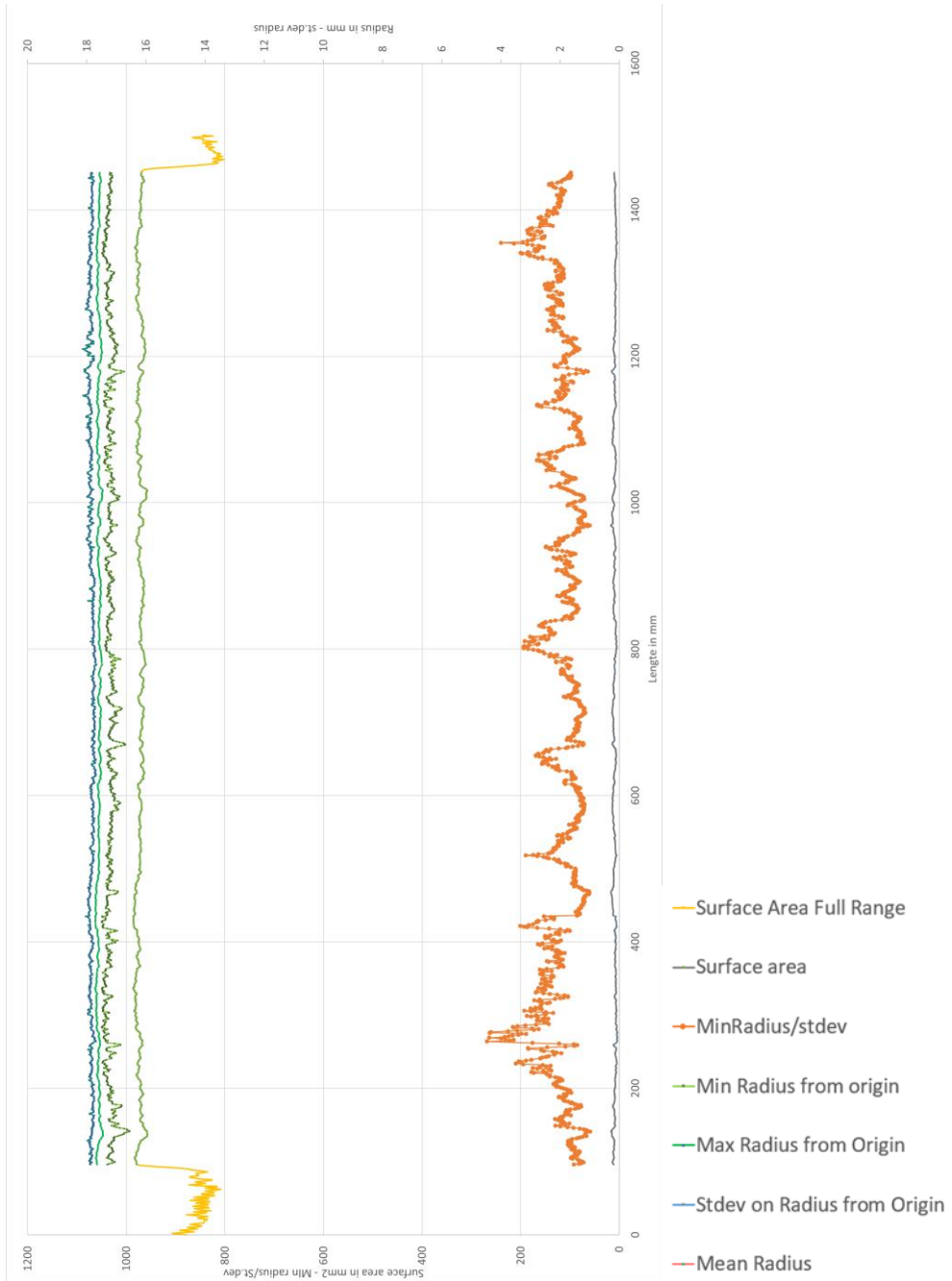
C.1.7.1. Object Anna-07



Figuur 105 Afbeelding 3D model ankerstang Anna-07.

Het is aan het 3D model niet te zien welke zijde de damwandzijde is.

C.1.7.2. Resultaten 3D scan



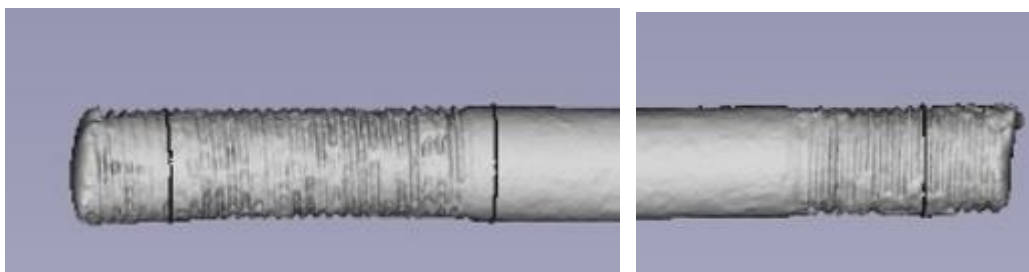
Figuur 106 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-07.

Tabel 37 Stang kengetallen Anna-07.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	971.653	17.590	17.209	17.840	0.160	116.926
stdev	10.799	0.100	0.191	0.088	0.050	34.157
Min	835.325	16.322	15.143	16.977	0.065	25.288
Max	986.146	17.721	17.501	18.138	0.599	268.490

C.1.7.3. Resultaten schroefdraad

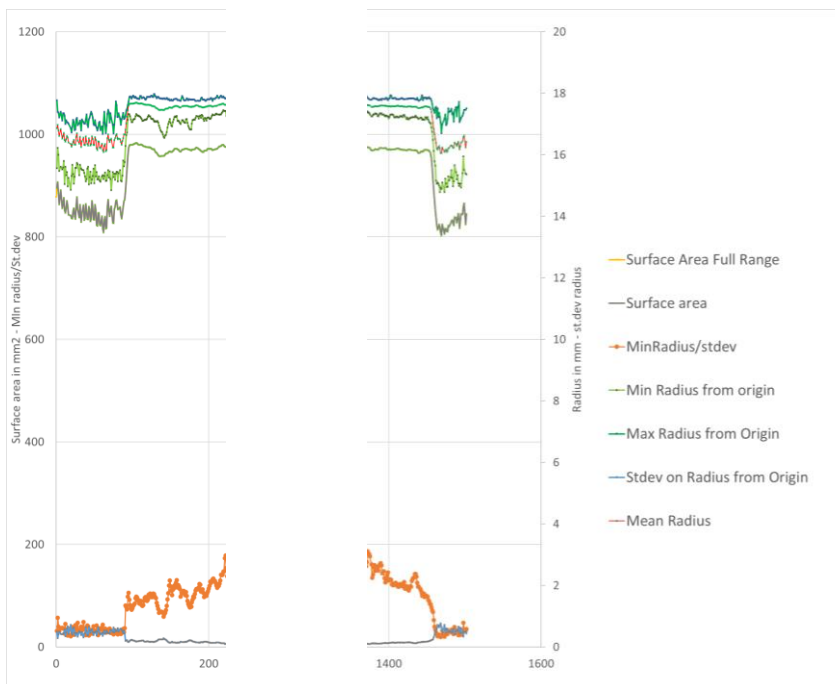
Bij ankerstang Anna-07 is aan de damwandzijde en wartelzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 107.



Figuur 107 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang Anna-07.

Uit Figuur 107 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 108.



Figuur 108 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-07.

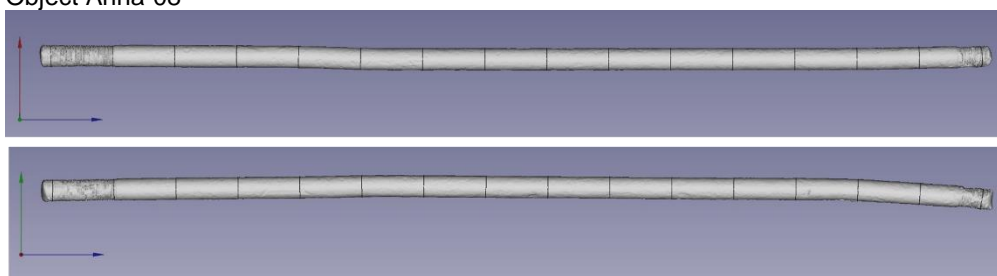
Tabel 38 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 38 Resultaat analyse schroefdraad Anna-07.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16.08	16.05
Gemiddelde diameter [mm]	32.16	32.11
Dikte afname [mm]	3.84	3.89

C.1.8 Anna-08

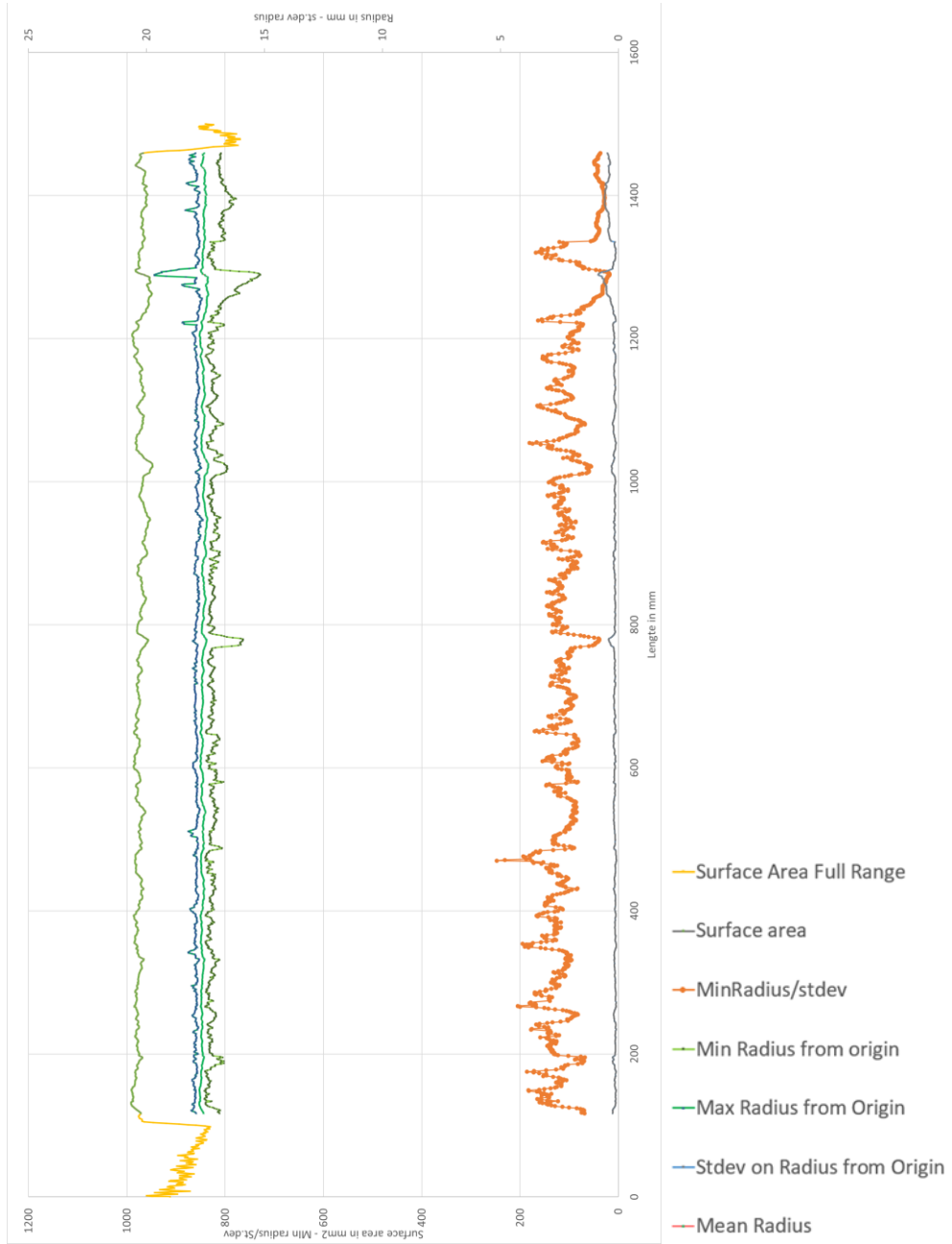
C.1.8.1. Object Anna-08



Figuur 109 Afbeelding 3D model ankerstang Anna-07.

Het is aan het 3D model niet te zien welke zijde de damwandzijde is.

C.1.8.2. Resultaten 3D scan



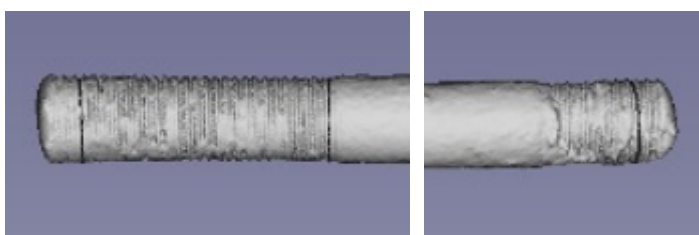
Figuur 110 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-08.

Tabel 39 Stang kengetallen Anna-08.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	972.965	17.600	17.108	17.901	0.198	105.760
stdev	8.361	0.076	0.334	0.161	0.119	36.836
Min	947.605	17.377	15.169	17.606	0.071	17.612
Max	991.681	17.764	17.550	19.674	0.861	247.111

C.1.8.3. Resultaten schroefdraad

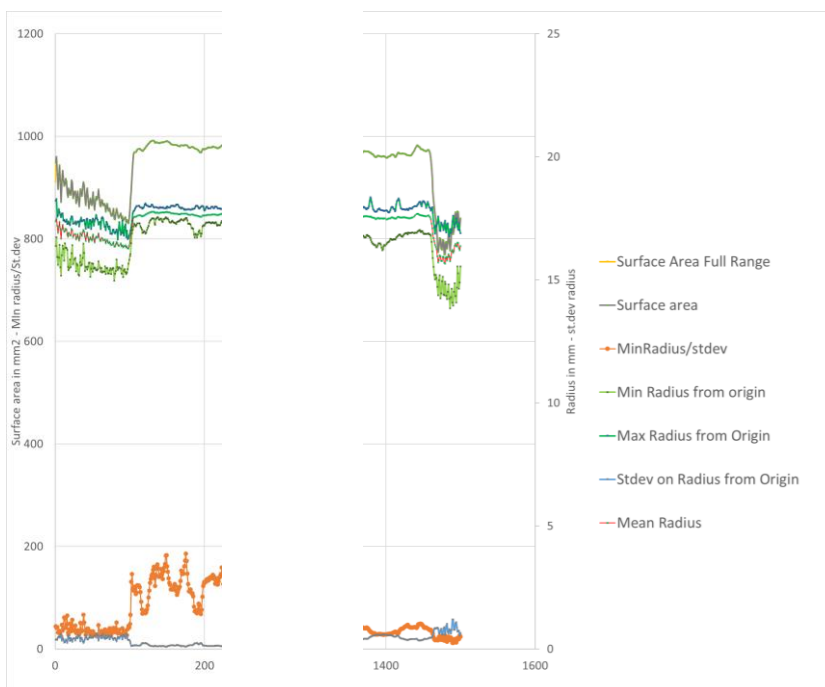
Bij ankerstang Anna-08 is aan de damwandzijde en wartelzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 111.



Figuur 111 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang Anna-08.

Uit figuur 111 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 112.



Figuur 112 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-08.

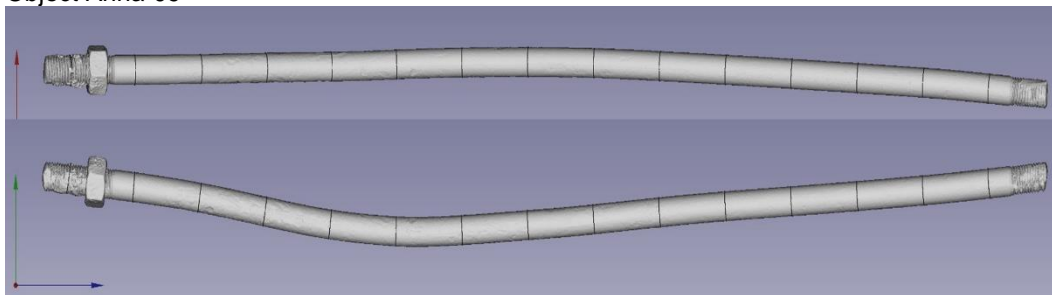
Tabel 40 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 40 Resultaat analyse schroefdraad Anna-08.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16.26	15.66
Gemiddelde diameter [mm]	32.53	31.31
Dikte afname [mm]	3.47	4.68

C.1.9 Anna-09

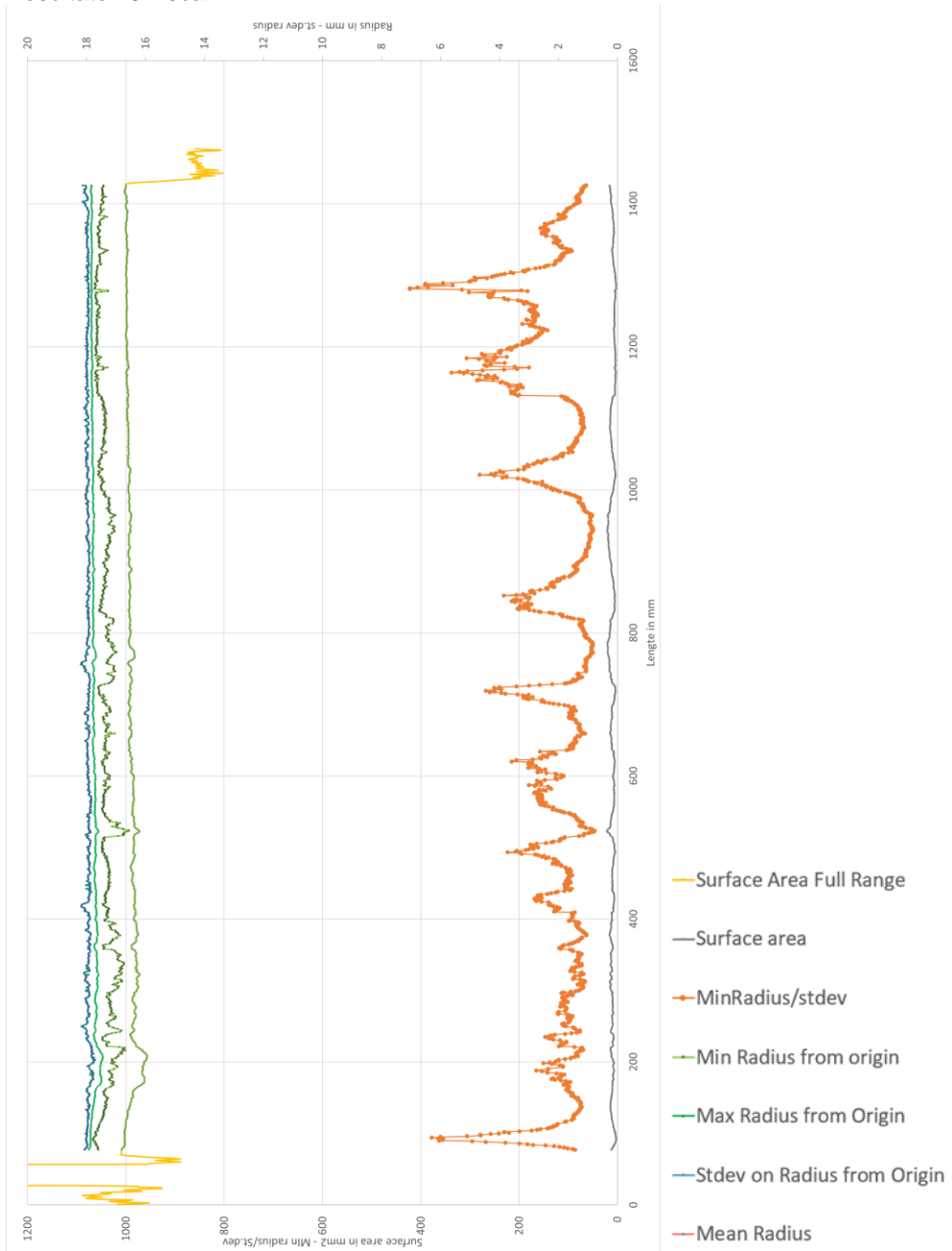
C.1.9.1. Object Anna-09



Figuur 113 Afbeelding 3D model ankerstang Anna-09.

De linkerkzijde met de moer in het 3D model is de damwandzijde.

C.1.9.2. Resultaten 3D scan

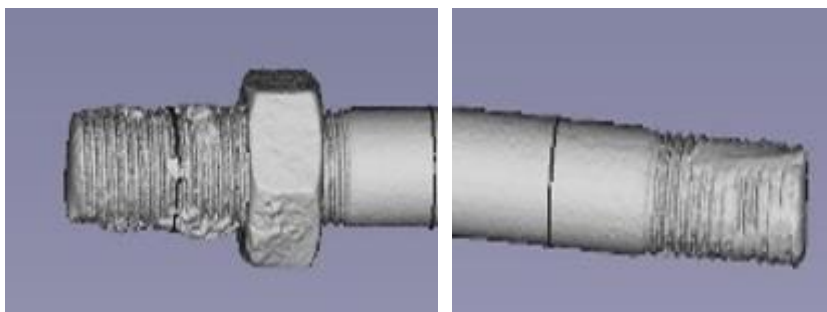


Figuur 114 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-09.

Tabel 41 Stang kengetallen Anna-09.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	989.966	17.752	17.355	17.952	0.168	125.819
stdev	8.621	0.077	0.219	0.058	0.068	62.521
Min	955.900	17.444	16.561	17.700	0.042	46.364
Max	1008.970	17.925	17.783	18.194	0.357	422.119

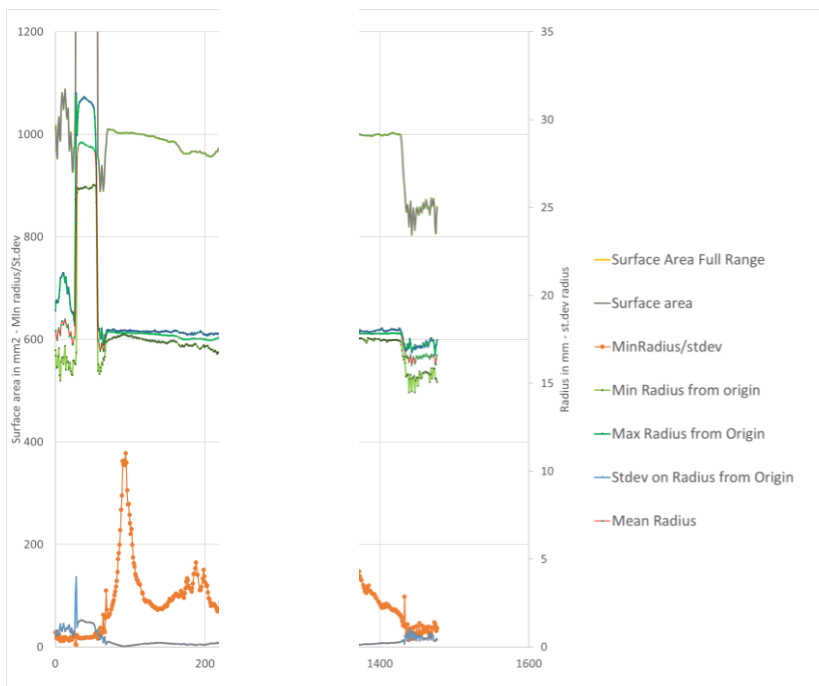
C.1.9.3. Resultaten schroefdraad
 Bij ankerstang Anna-09 is aan de damwandzijde en wartelzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 115.



Figuur 115 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang Anna-09.

Uit Figuur 115 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 116. In de figuur is de moer zichtbaar tussen 26 en 58.



Figuur 116 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-09.

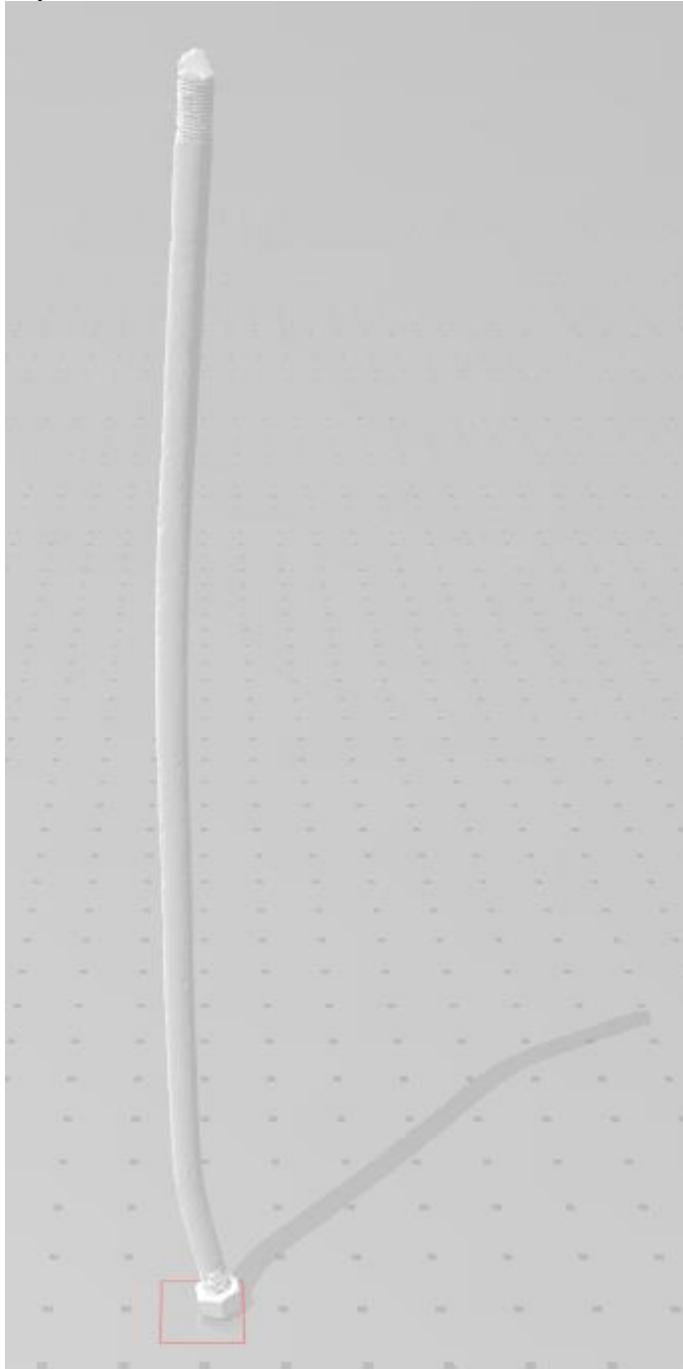
Tabel 42 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 42 Resultaat analyse schroefdraad Anna-09.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16.82	16.01
Gemiddelde diameter [mm]	33.65	32.02
Dikte afname [mm]	2.35	3.98

C.1.10 Anna-10

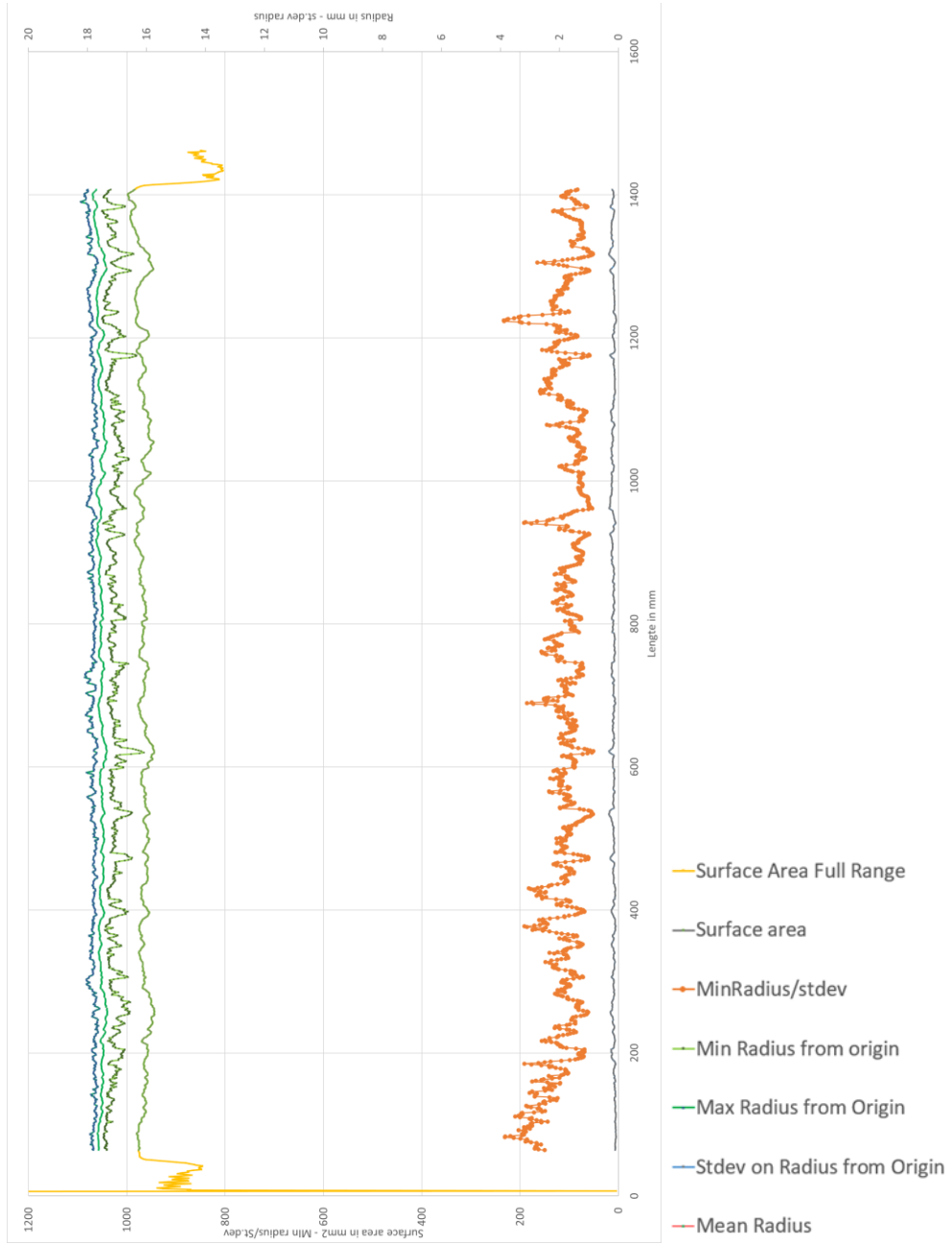
C.1.10.1. Object Anna-10



Figuur 117 Afbeelding 3D model ankerstang Anna-10.

De zijde met de moer in het 3D model is de damwandzijde.

C.1.10.2. Resultaten 3D scan

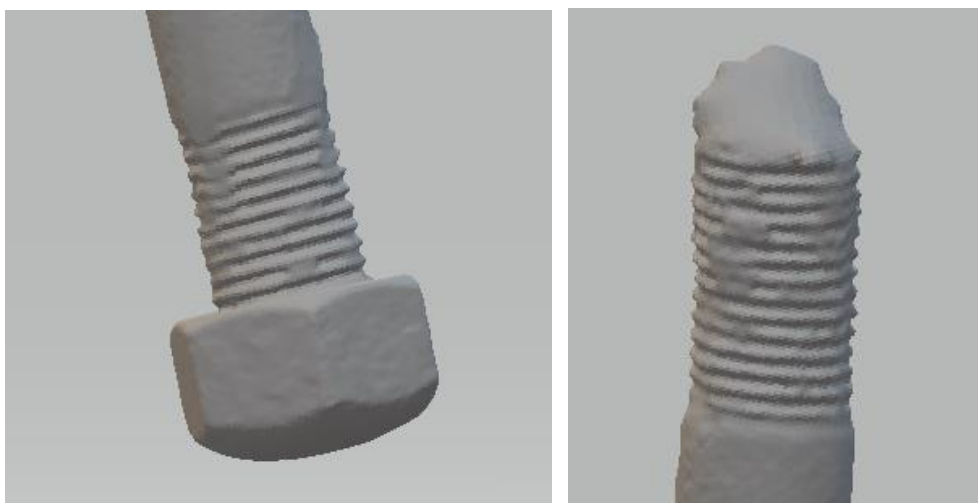


Figuur 118 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-10.

Tabel 43 Stang kengetallen Anna-10.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	966.442	17.540	17.091	17.817	0.169	109.355
stdev	9.914	0.090	0.211	0.092	0.047	32.481
Min	943.391	17.328	16.091	17.586	0.075	50.934
Max	997.925	17.824	17.507	18.232	0.321	233.006

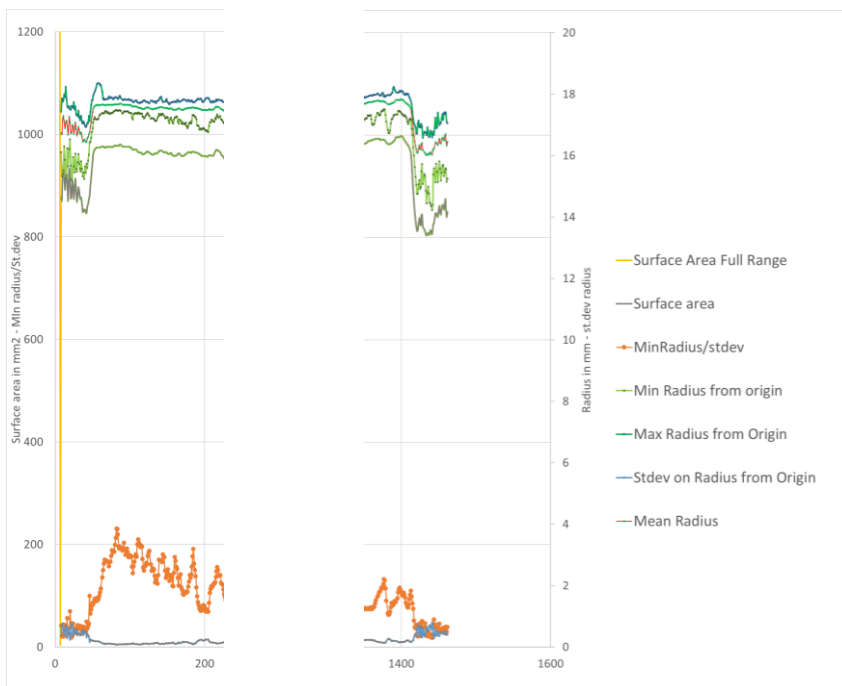
C.1.10.3. Resultaten schroefdraad
 Bij ankerstang Anna-10 is aan de damwandzijde en wartelzijde schroefdraad aanwezig, zie
 Figuur 119.



Figuur 119 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang Anna-10.

Uit figuur 119 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 120. De moer is buiten de grafiek gehouden.



Figuur 120 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-10.

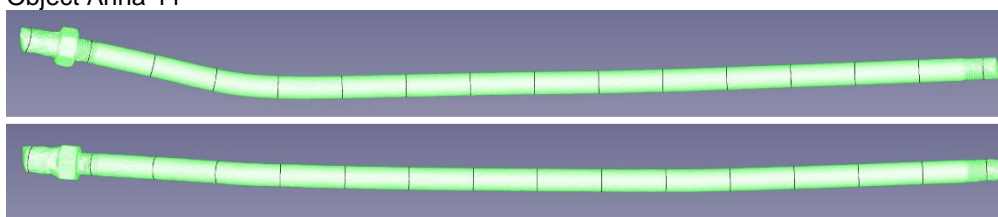
Tabel 44 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 44 Resultaat analyse schroefdraad Anna-10.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16.41	16.01
Gemiddelde diameter [mm]	32.82	32.03
Dikte afname [mm]	3.18	3.97

C.1.11 Anna-11

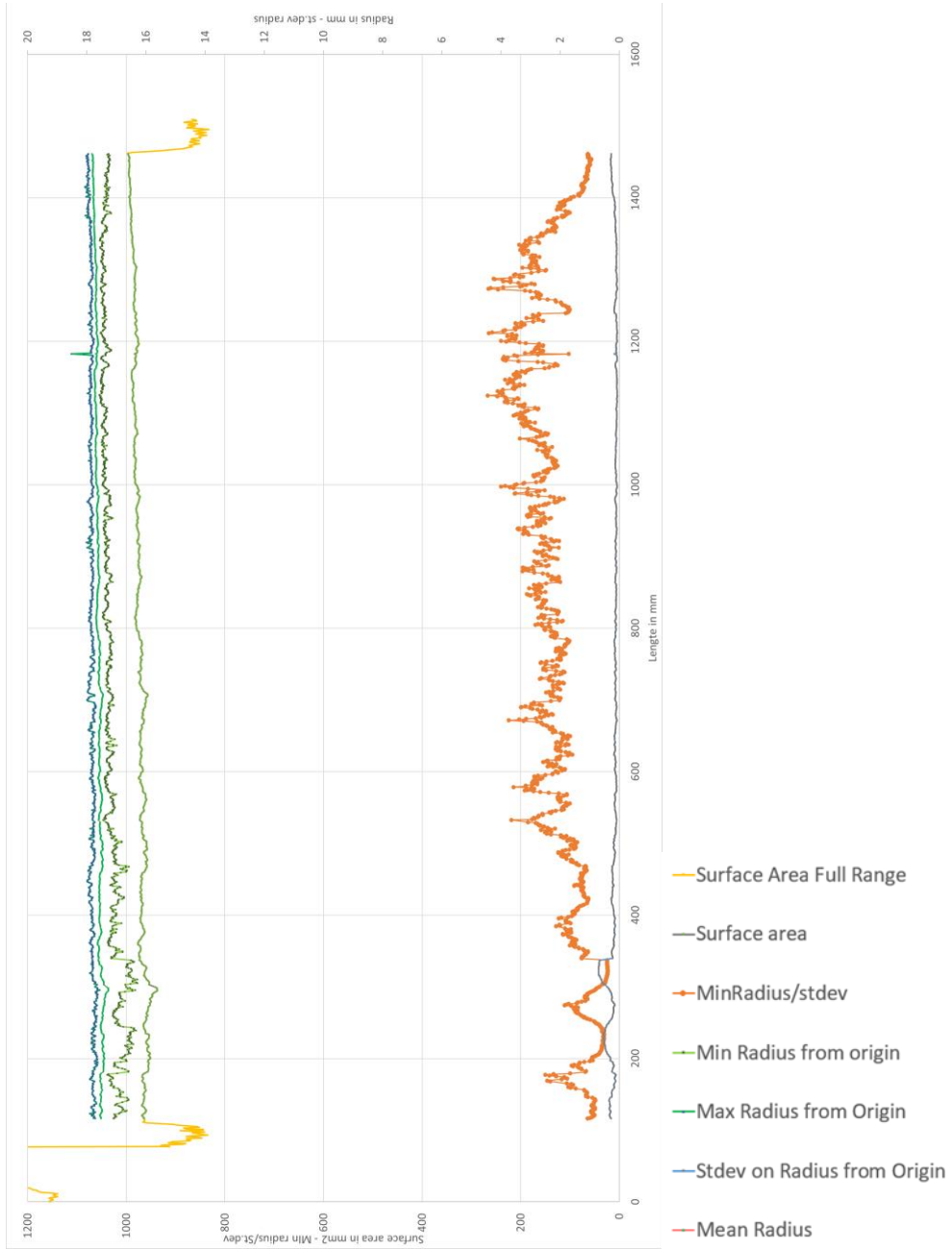
C.1.11.1. Object Anna-11



Figuur 121 Afbeelding 3D model ankerstang Anna-10.

De zijde met de moer in het 3D model is de damwandzijde.

C.1.11.2. Resultaten 3D scan

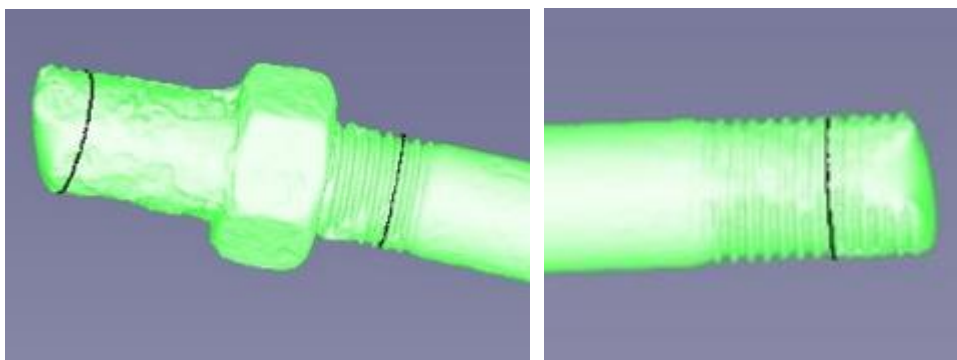


Figuur 122 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-11.

Tabel 45 Stang kengetallen Anna-11.

	Surface Area Cross section	Mean Radius			
	[mm ²]	[mm]			
Average	973.548	17.606			
stdev	10.900	0.097			
Min	936.601	17.274			
Max	996.667	17.820			

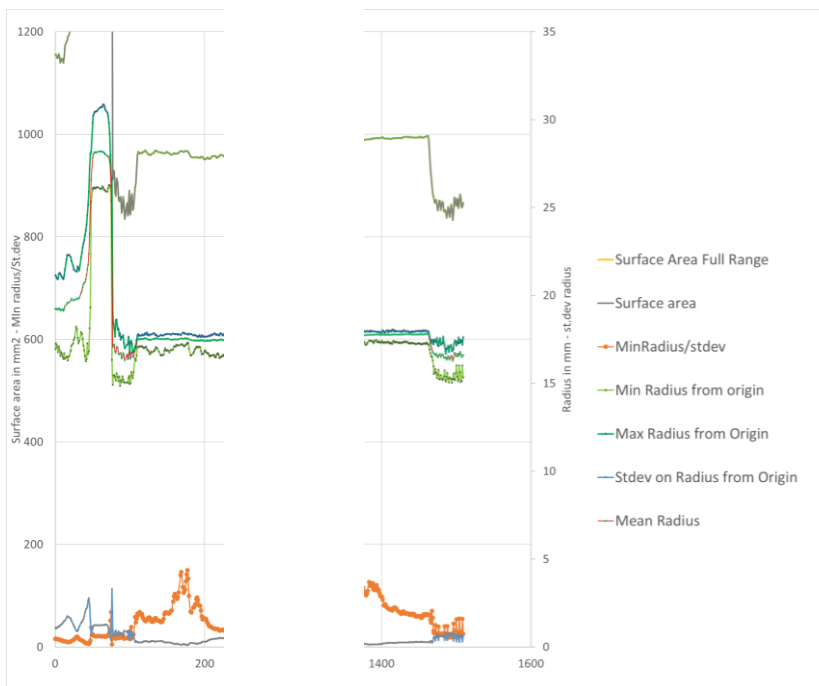
- C.1.11.3. Resultaten schroefdraad
Bij ankerstang Anna-11 is aan de damwandzijde en wartelzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 123.



Figuur 123 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang Anna-11.

Uit Figuur 123 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 124. De moer is zichtbaar tussen X=44 en 77.



Figuur 124 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-11.

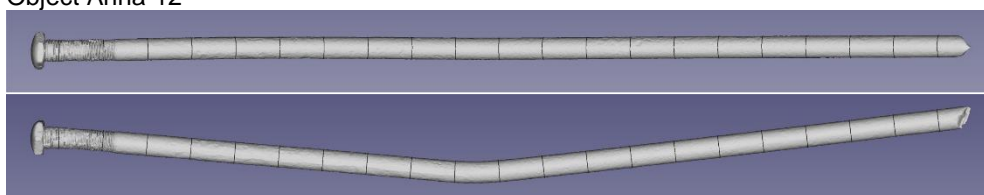
Tabel 46 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 46 Resultaat analyse schroefdraad Anna-11.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16.28	16.27
Gemiddelde diameter [mm]	32.58	32.54
Dikte afname [mm]	3.42	3.46

C.1.12 Anna-12

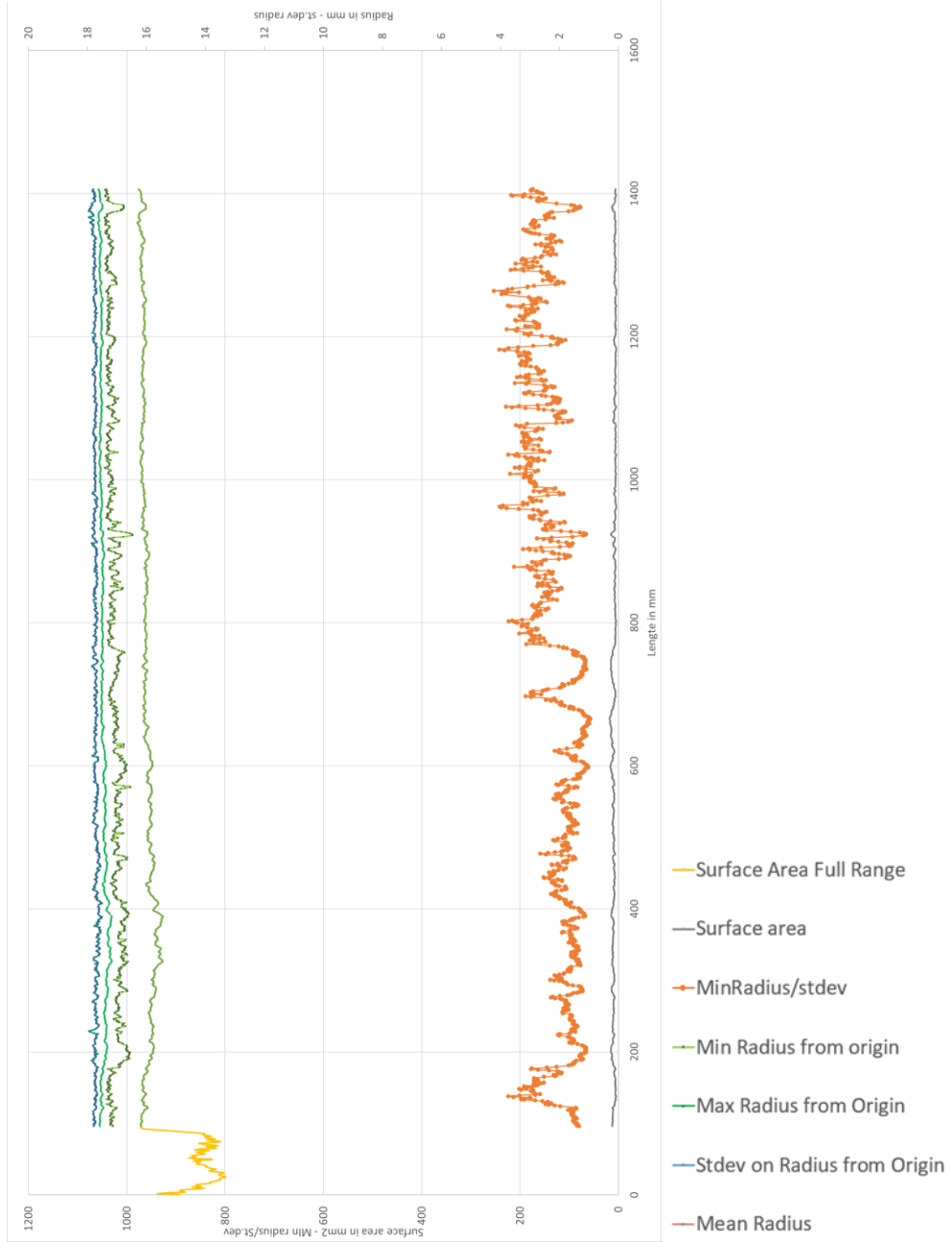
C.1.12.1. Object Anna-12



Figuur 125 Afbeelding 3D model ankerstang Anna-10.

De zijde met de moer in het 3D model is de damwandzijde.

C.1.12.2. Resultaten 3D scan

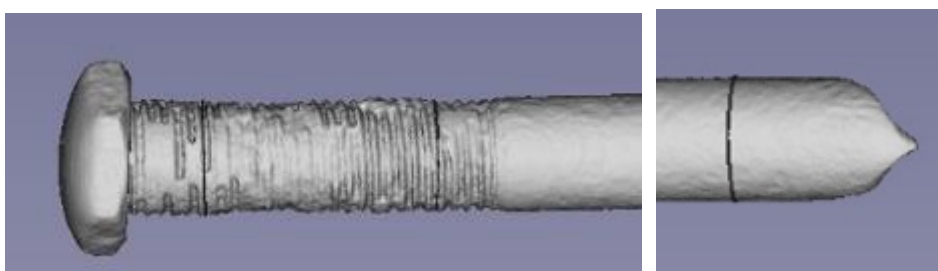


Figuur 126 Resultaten uit 3D scan ankerstang Anna-12.

Tabel 47 Stang kengetallen Anna-12.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	959.183	17.475	17.083	17.730	0.145	131.562
stdev	10.139	0.094	0.196	0.060	0.049	42.503
Min	926.541	17.180	16.475	17.500	0.068	57.139
Max	978.544	17.652	17.420	17.959	0.297	253.718

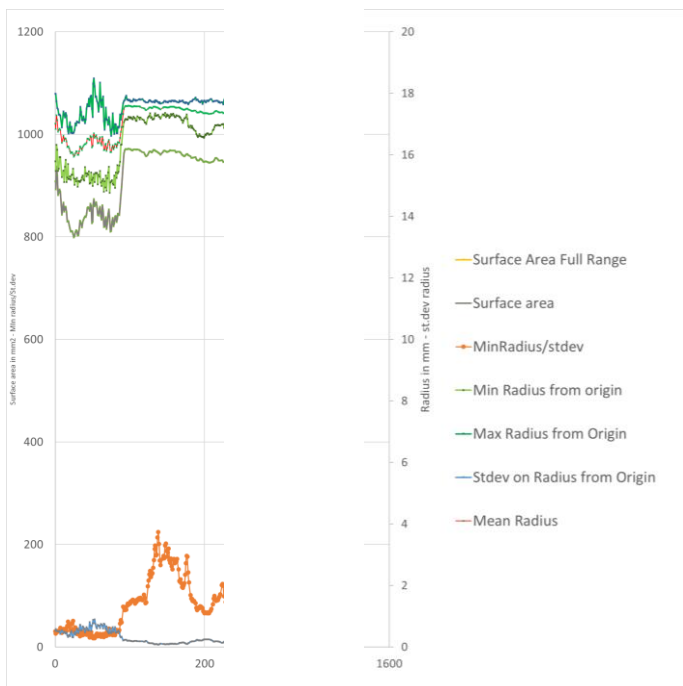
C.1.12.3. Resultaten schroefdraad
 Bij ankerstang Anna-12 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 127.



Figuur 127 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang Anna-12.

Uit Figuur 127 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 128. Aan de achterzijde is alleen een beschadiging aanwezig, deze is niet in analyse opgenomen. De moer is niet zichtbaar.



Figuur 128 Resultaat 3D scan schroefdraad Anna-12.

Tabel 48 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 48 Resultaat analyse schroefdraad Anna-12.

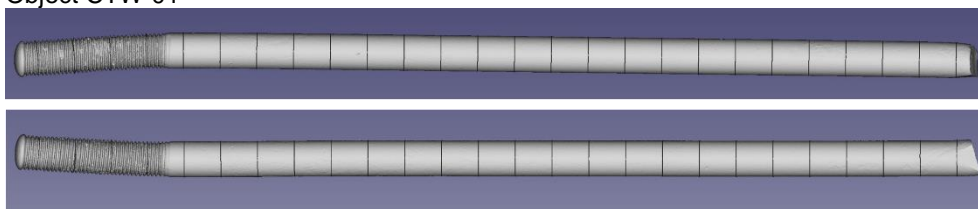
Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	15.93	
Gemiddelde diameter [mm]	31.88	
Dikte afname [mm]	4.12	nvt

C.2 CTW

Er zijn er 2 stangen van CRW onderzocht in C.2.1 t/m C.2.2 zijn de resultaten van de scan per stang weergegeven.

C.2.1 CTW-01

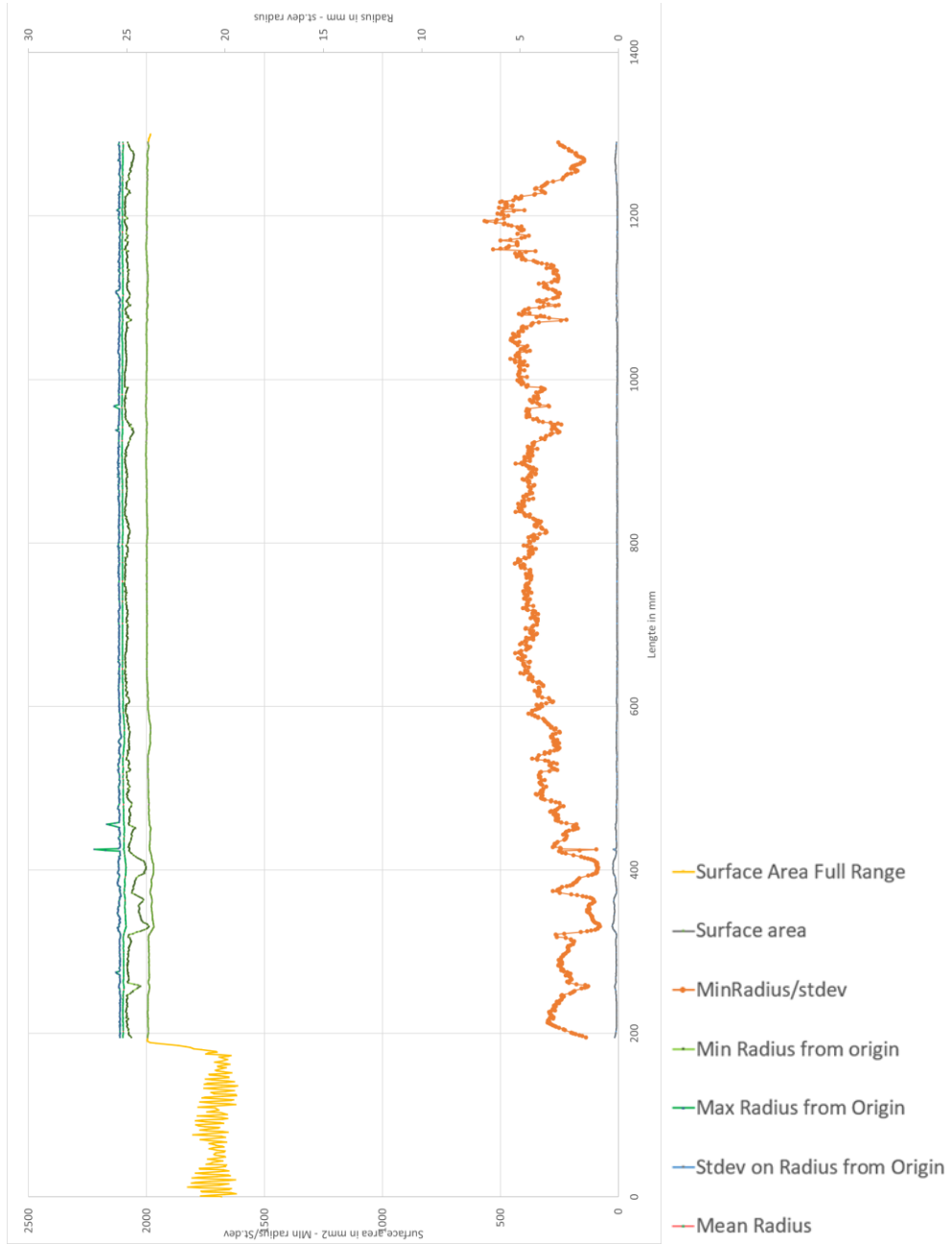
C.2.1.1. Object CTW-01



Figuur 129 Afbeelding 3D model ankerstang CTW-01.

De linkerkzijde in het 3D model is de damwandzijde.

C.2.1.2. Resultaten 3D scan



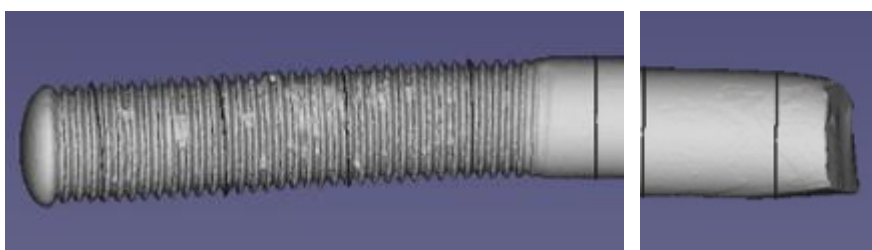
Figuur 130 Resultaten uit 3D scan ankerstang CTW-01.

Tabel 49 Stang kengetallen CTW-01.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	1994.077	25.194	24.911	25.392	0.091	314.617
stdev	7.233	0.045	0.222	0.066	0.045	95.869
Min	1969.290	25.038	23.866	25.283	0.044	77.371
Max	2003.200	25.252	25.124	26.659	0.308	567.708

C.2.1.3. Resultaten schroefdraad

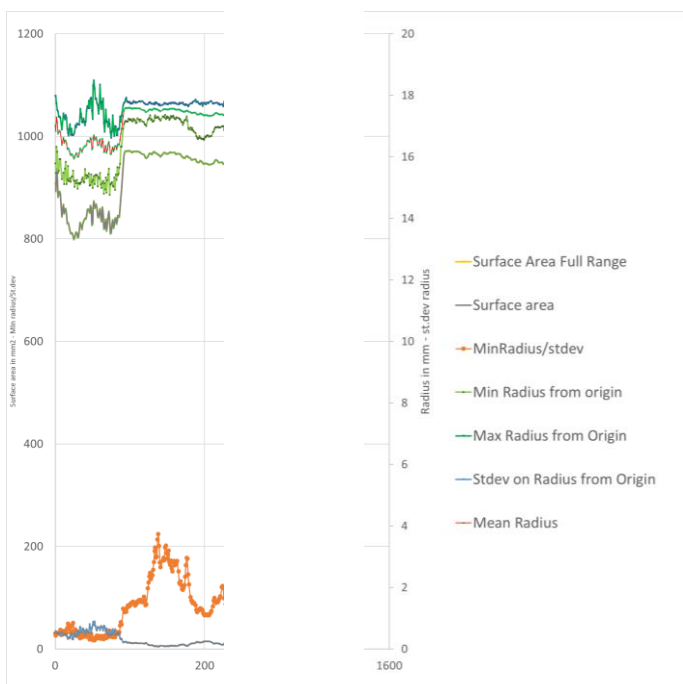
Bij ankerstang CTW-01 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 131.



Figuur 131 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang CTW-01.

Uit Figuur 131 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 132. Aan de achterzijde is alleen een beschadiging aanwezig, deze is niet in analyse opgenomen.



Figuur 132 Resultaat 3D scan schroefdraad CTW-01.

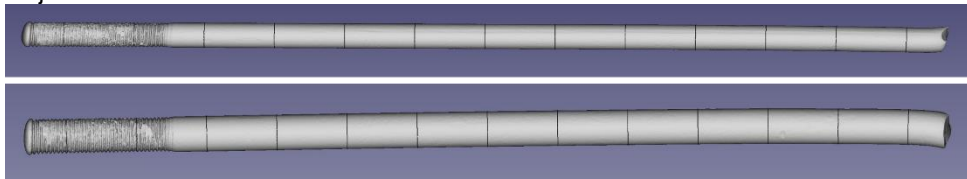
Tabel 50 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 50 Resultaat analyse schroefdraad CTW-01.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	22.67	
Gemiddelde diameter [mm]	45.33	
Dikte afname [mm]	6.67	nvt

C.2.2 CTW-03

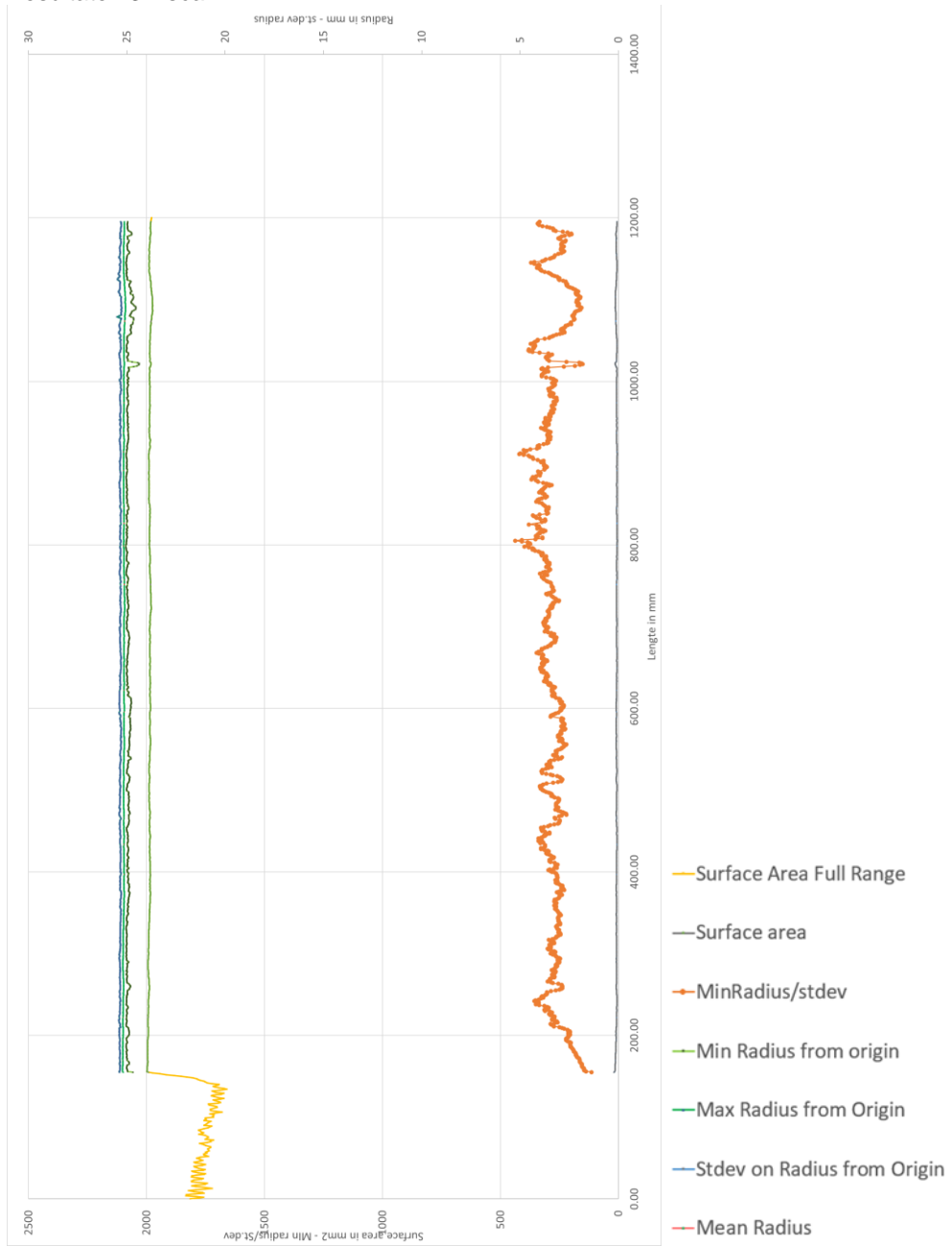
C.2.2.1. Object CTW-03



Figuur 133 Afbeelding 3D model ankerstang CTW-03.

De linkerkzijde in het 3D model is de damwandzijde.

C.2.2.2. Resultaten 3D scan



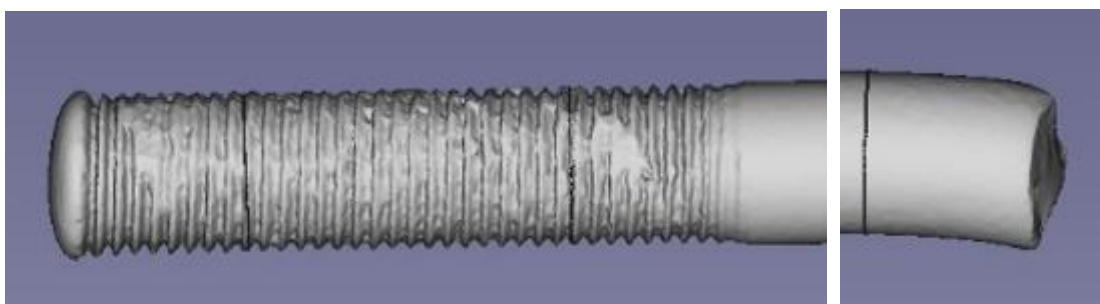
Figuur 134 Resultaten uit 3D scan ankerstang CTW-03.

Tabel 51 Stang kengetallen CTW-03.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	1986.618	25.150	24.939	25.335	0.093	278.553
stdev	3.868	0.025	0.087	0.028	0.019	48.715
Min	1974.040	25.071	24.366	25.251	0.057	113.777
Max	1997.680	25.222	25.052	25.493	0.217	437.139

C.2.2.3. Resultaten schroefdraad

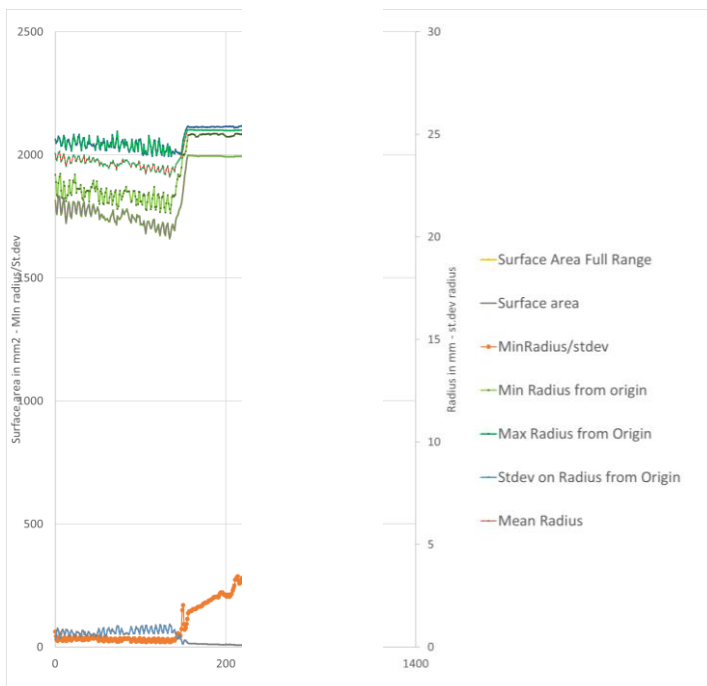
Bij ankerstang CTW-03 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 135.



Figuur 135 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang CTW-03.

Uit Figuur 135 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 136. Aan de achterzijde is alleen een beschadiging aanwezig, deze is niet in analyse opgenomen.



Figuur 136 Resultaat 3D scan schroefdraad CTW-03.

Tabel 52 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 52 Resultaat analyse schroefdraad CTW-03.

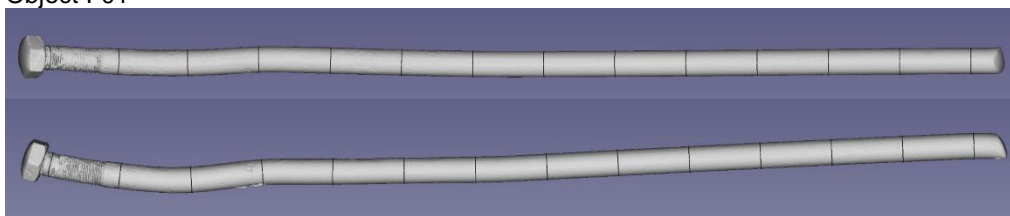
Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	22.93	
Gemiddelde diameter [mm]	45.86	
Dikte afname [mm]	6.14	nvt

C.3 I-xx

Er zijn er 5 stangen van I-xx onderzocht, in C.3.1 t/m C.1.5 zijn de resultaten van de scan per stang weergegeven.

C.3.1 I-01

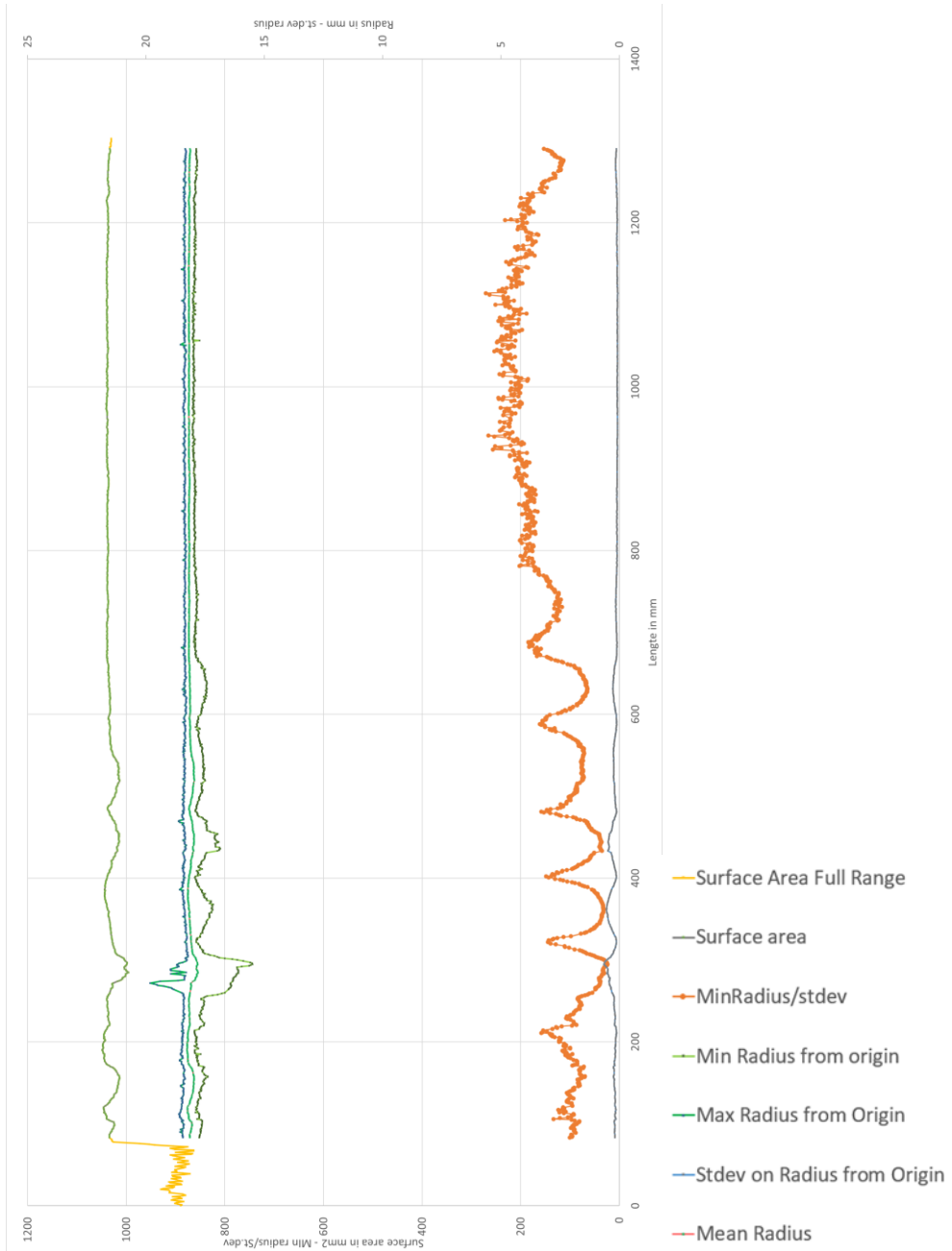
C.3.1.1. Object I-01



Figuur 137 Afbeelding 3D model ankerstang I-01.

De linkerkzijde in het 3D model is de damwandzijde.

C.3.1.2. Resultaten 3D scan



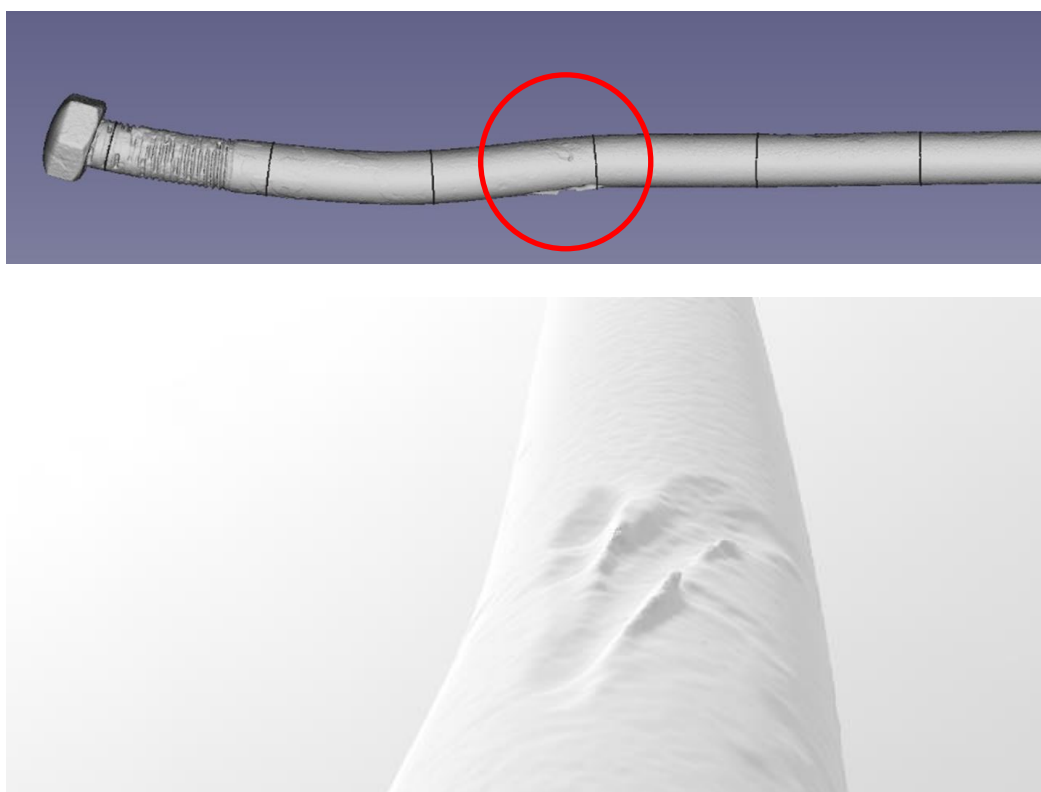
Figuur 138 Resultaten uit 3D scan ankerstang I-01.

Tabel 53 Stang kengetallen I-01.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximu m radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	1034.065	18.142	17.735	18.395	0.171	138.011
stdev	8.685	0.077	0.371	0.114	0.110	62.212
Min	995.411	17.799	15.500	18.216	0.067	23.968
Max	1048.990	18.272	18.039	19.828	0.647	270.567

C.3.1.3. Beschadiging

Bij deze stang is in het 3D model een beschadiging zichtbaar, zie Figuur hieronder.



Figuur 139 Beschadiging op ankerstang I-01.

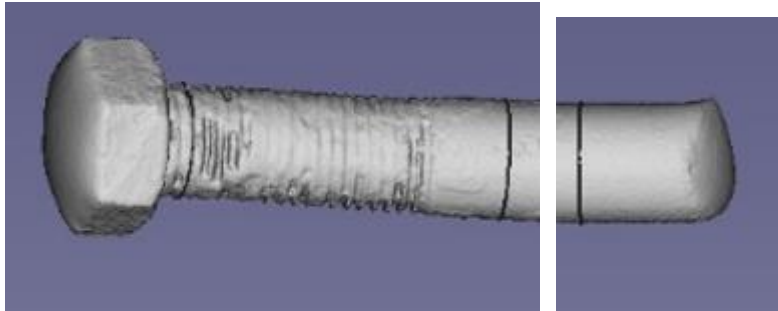
De gevolgen van de beschadiging zijn ook duidelijk te zien in de resultaten in Figuur 137 “Resultaten 3D stang”.

De beschadiging geeft reductie van de minimale straal en vergroting van de maximale straal tussen afstand 255 en 312 mm.

Aangezien deze beschadiging geen relatie heeft met corrosie dienen de resultaten hiervan buiten de analyse gehouden te worden. Echter de gemiddelde straal van de doorsnedes in dit gebied blijven nagenoeg gelijk. Het verwijderen van dit interval leidt niet tot ander dikte afnames per doorsnede of per stang.

C.3.1.4. Resultaten schroefdraad

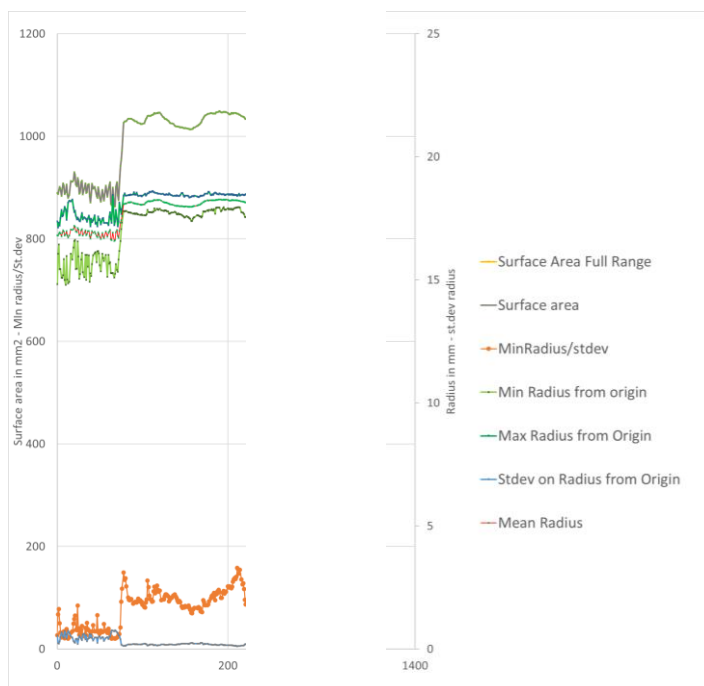
Bij ankerstang I-01 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 140.



Figuur 140 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang I-01.

Uit Figuur 140 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 141. Aan de achterzijde is alleen een beschadiging aanwezig, deze is niet in analyse opgenomen.



Figuur 141 Resultaat 3D scan schroefdraad i-01.

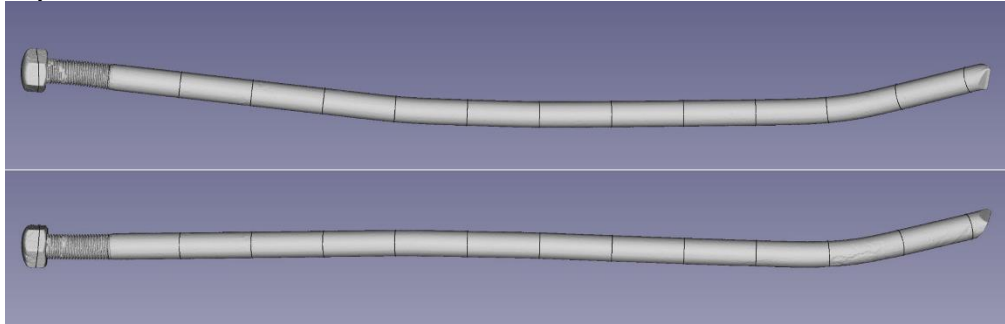
Tabel 54 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 54 Resultaat analyse schroefdraad I-01.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16.58	
Gemiddelde diameter [mm]	33.17	
Dikte afname [mm]	3.43	nvt

C.3.2 I-02

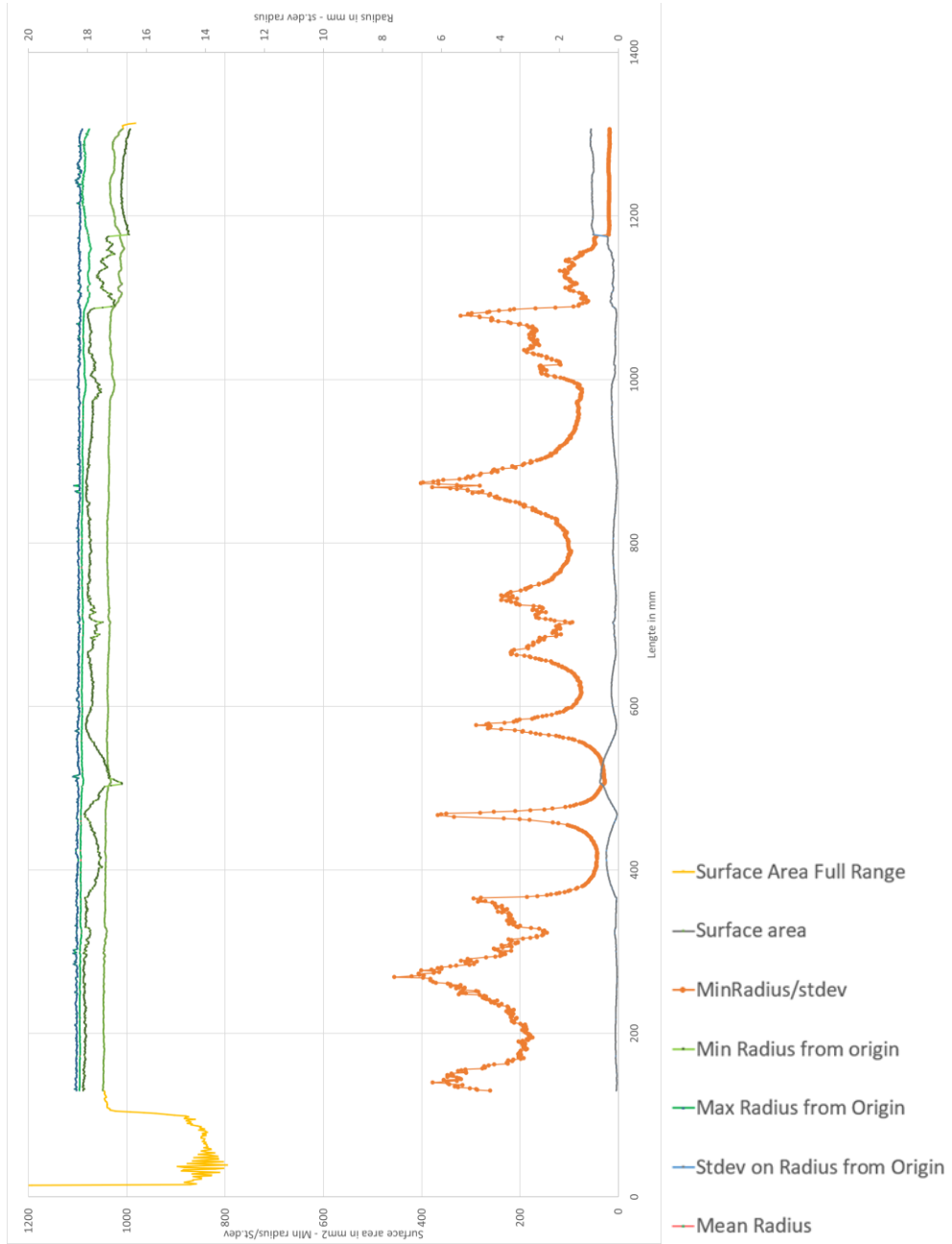
C.3.2.1. Object I-02



Figuur 142 Afbeelding 3D model ankerstang I-02.

De linkerkzijde in het 3D model is de damwandzijde.

C.3.2.2. Resultaten 3D scan



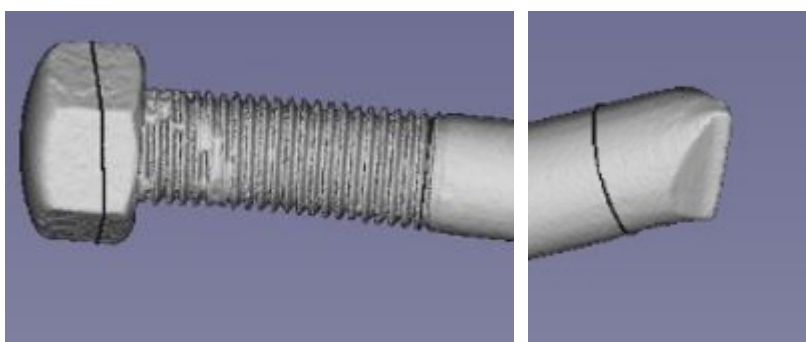
Figuur 143 Resultaten uit 3D scan ankerstang I-02.

Tabel 55 Stang kengetallen I-02.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	1036.156	18.164	17.721	18.311	0.250	139.475
stdev	9.294	0.081	0.416	0.048	0.254	93.974
Min	1005.030	17.881	16.550	18.175	0.040	17.469
Max	1049.070	18.276	18.158	18.503	0.954	455.807

C.3.2.3. Resultaten schroefdraad

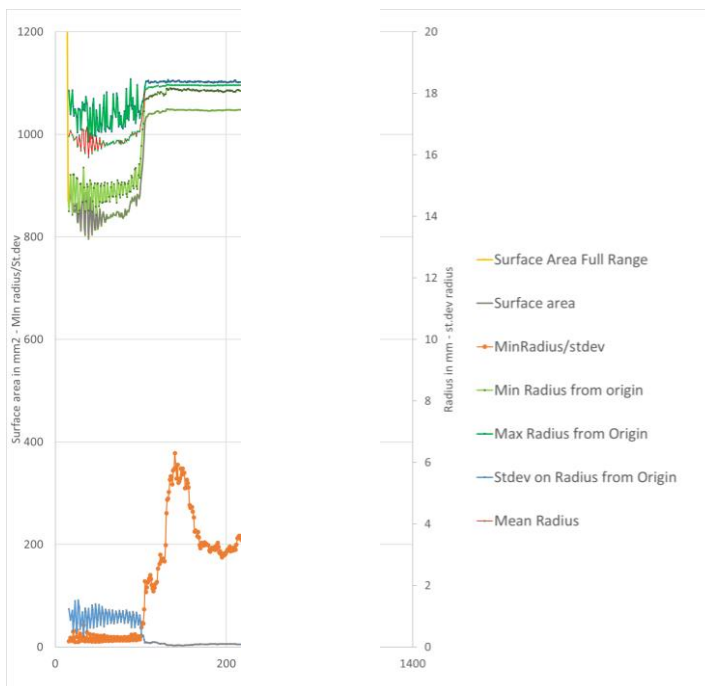
Bij ankerstang I-02 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 144.



Figuur 144 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang I-02.

Uit Figuur 144 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 145. Aan de achterzijde is alleen een beschadiging aanwezig, deze is niet in analyse opgenomen. De kopmoer is niet in de lijn weergegeven.



Figuur 145 Resultaat 3D scan schroefdraad I-02.

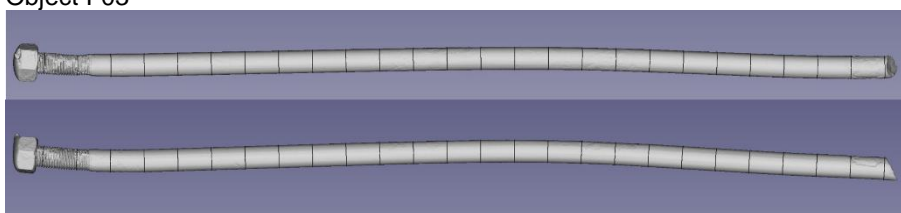
Tabel 56 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 56 Resultaat analyse schroefdraad I-02.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	15.91	
Gemiddelde diameter [mm]	31.83	
Dikte afname [mm]	4.77	nvt

C.3.3 I-03

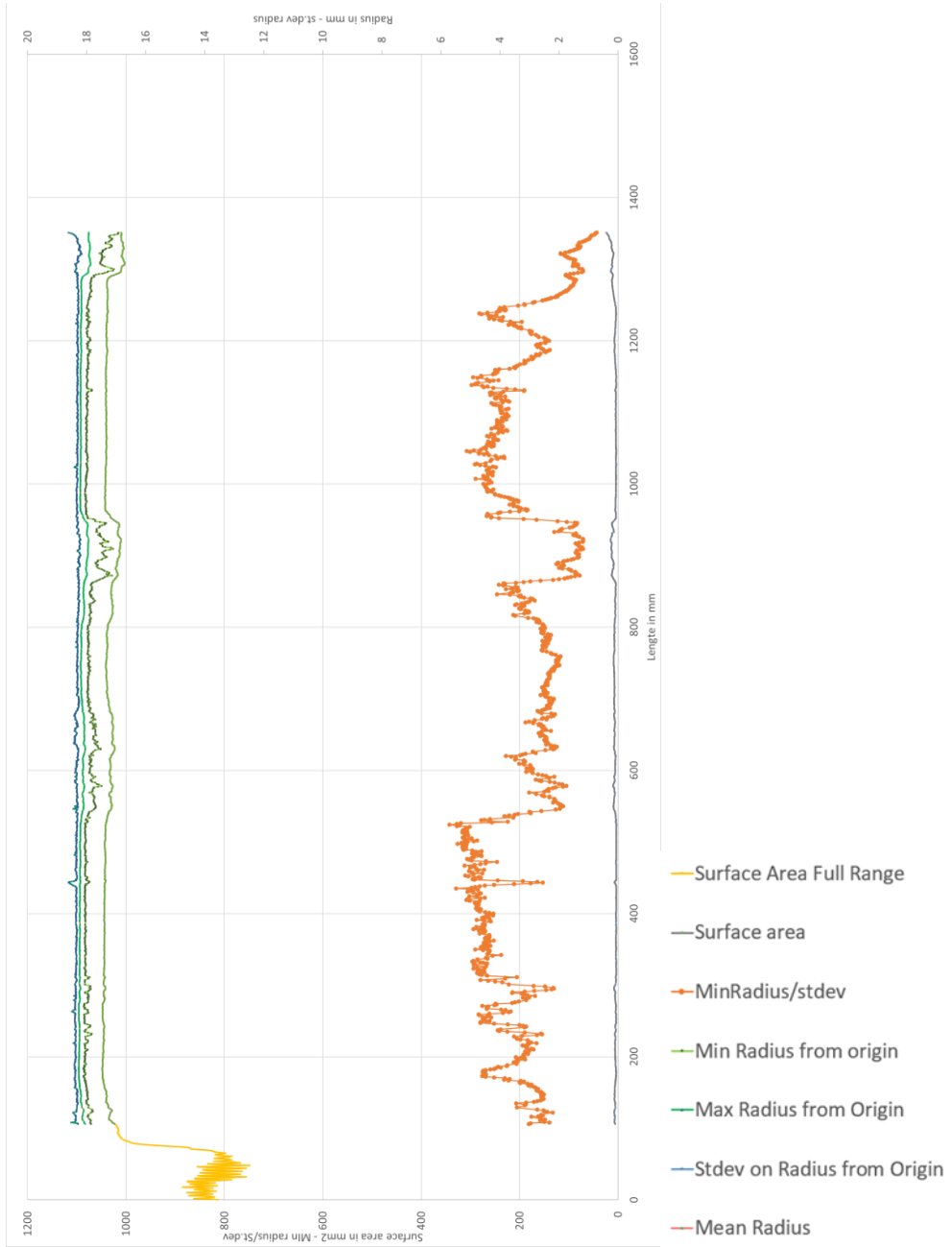
C.3.3.1. Object I-03



Figuur 146 Afbeelding 3D model ankerstang I-03.

De linkerkzijde in het 3D model is de damwandzijde.

C.3.3.2. Resultaten 3D scan



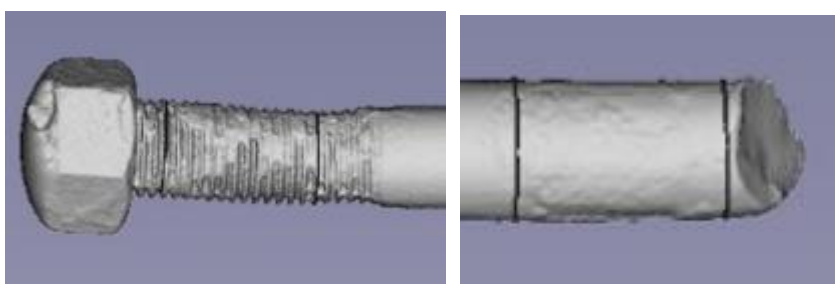
Figuur 147 Resultaten uit 3D scan ankerstang I-03.

Tabel 57 Stang kengetallen I-03.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	1035.955	18.161	17.891	18.328	0.106	195.986
stdev	10.236	0.090	0.207	0.047	0.048	68.076
Min	1002.560	17.865	16.931	18.164	0.053	43.177
Max	1048.660	18.272	18.108	18.616	0.392	342.563

C.3.3.3. Resultaten schroefdraad

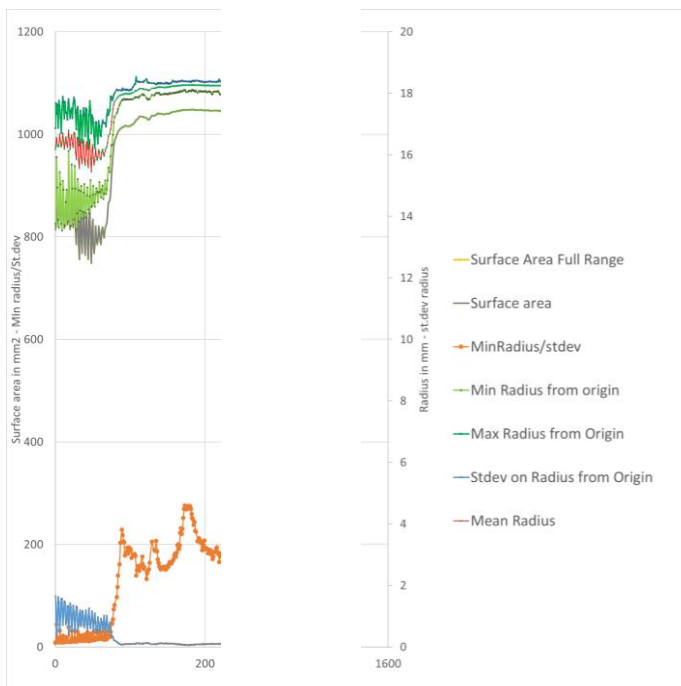
Bij ankerstang I-03 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 148.



Figuur 148 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang I-03.

Uit Figuur 148 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 149. Aan de achterzijde is alleen een beschadiging aanwezig, deze is niet in analyse opgenomen. De moer is niet in de lijn weergegeven.



Figuur 149 Resultaat 3D scan schroefdraad I-03.

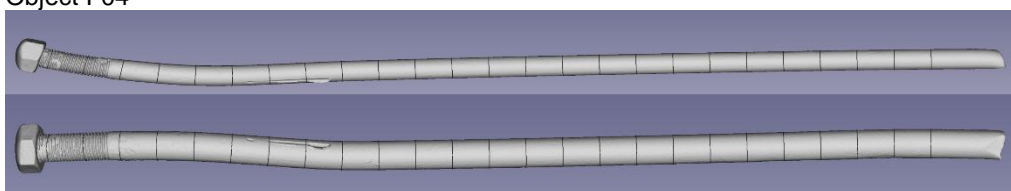
Tabel 58 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 58 Resultaat analyse schroefdraad I-03.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	15.44	
Gemiddelde diameter [mm]	30.90	
Dikte afname [mm]	5.70	nvt

C.3.4 I-04

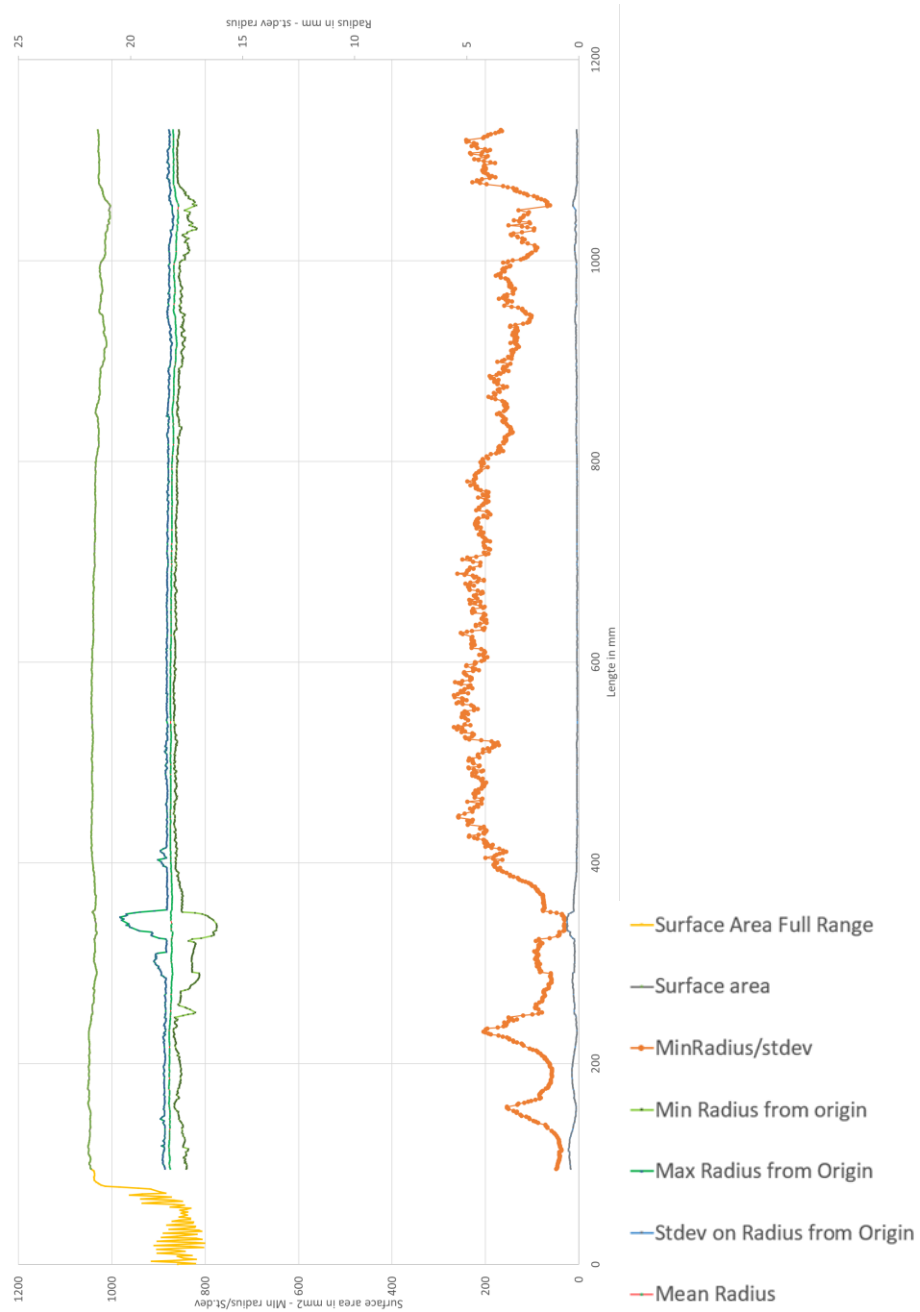
C.3.4.1. Object I-04



Figuur 150 Afbeelding 3D model ankerstang I-04.

De linkerkzijde in het 3D model is de damwandzijde.

C.3.4.2. Resultaten 3D scan



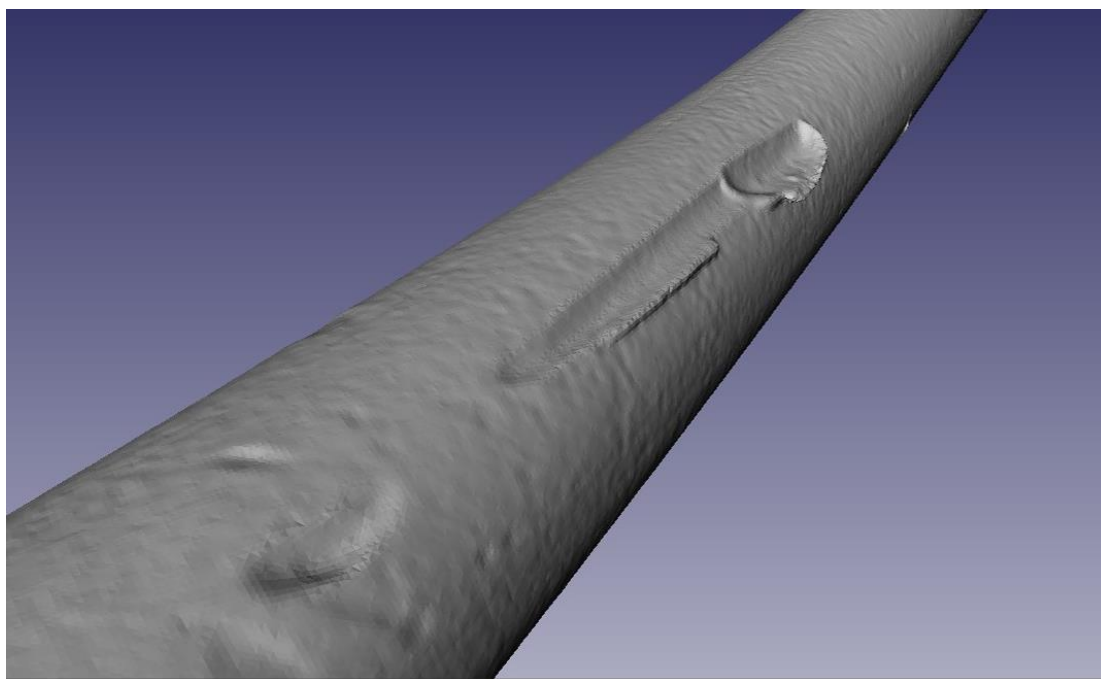
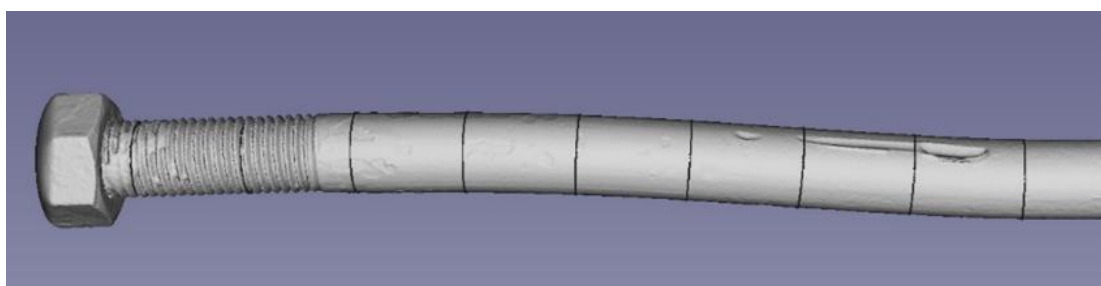
Figuur 151 Resultaten uit 3D scan ankerstang I-04.

Tabel 59 Stang kengetallen I-04.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	1035.222	18.152	17.787	18.409	0.144	158.791
stdev	10.478	0.093	0.322	0.260	0.092	62.853
Min	1003.480	17.860	16.150	18.078	0.067	29.975
Max	1051.670	18.301	18.096	20.469	0.540	268.063

C.3.4.3. Beschadiging

Bij deze stang is in het 3D model een beschadiging zichtbaar, zie Figuur hieronder.



Figuur 152 Beschadiging op ankerstang I-04.

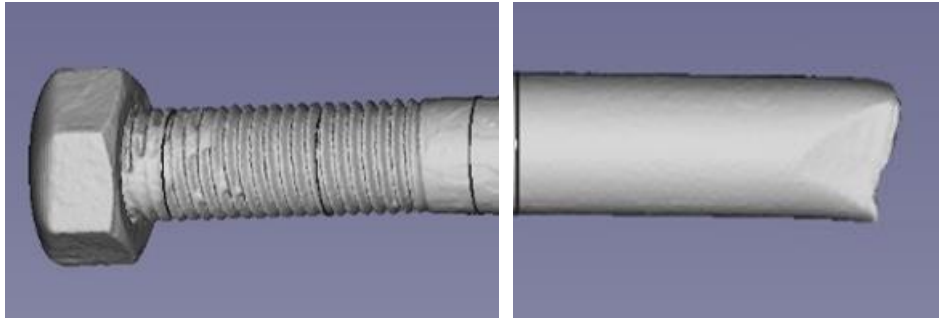
De gevolgen van de beschadiging zijn ook duidelijk te zien in de resultaten in Figuur 140 "Resultaten 3D stang".

De beschadiging geeft reductie van de minimale straal en vergroting van de maximale straal tussen afstand 272 en 358 mm.

Aangezien deze beschadiging geen relatie heeft met corrosie dienen de resultaten hiervan buiten de analyse gehouden te worden. Echter de gemiddelde straal van de doorsnedes in dit gebied blijven nagenoeg gelijk. Het verwijderen van dit interval leidt niet tot ander dikte afnames per doorsnede of per stang.

C.3.4.4. Resultaten schroefdraad

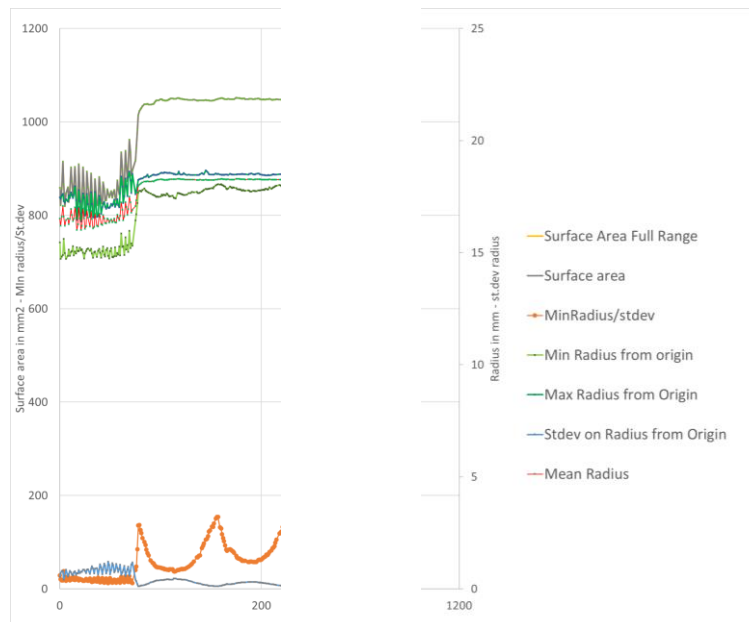
Bij ankerstang I-04 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 153.



Figuur 153 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang I-04.

Uit Figuur 153 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 154. Aan de achterzijde is alleen een beschadiging aanwezig, deze is niet in analyse opgenomen. De moer is niet in de lijn weergegeven.



Figuur 154 Resultaat 3D scan schroefdraad I-04.

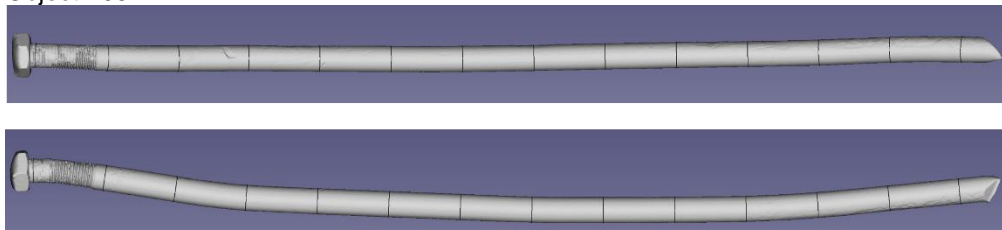
Tabel 60 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 60 Resultaat analyse schroefdraad I-04.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16.01	
Gemiddelde diameter [mm]	32.03	
Dikte afname [mm]	4.57	nvt

C.3.5 I-05

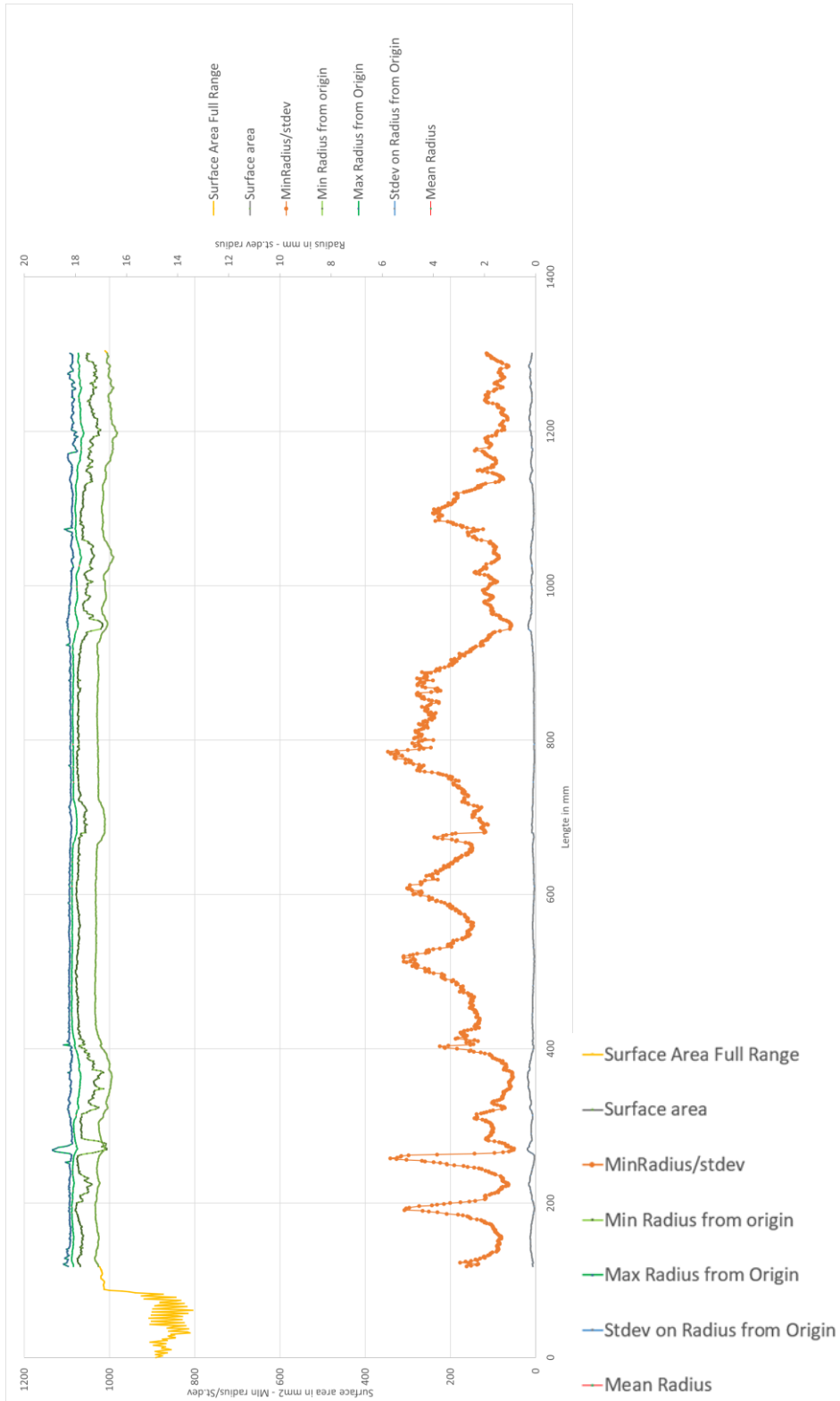
C.3.5.1. Object I-05



Figuur 155 Afbeelding 3D model ankerstang I-05.

De linkerkzijde in het 3D model is de damwandzijde.

C.3.5.2. Resultaten 3D scan



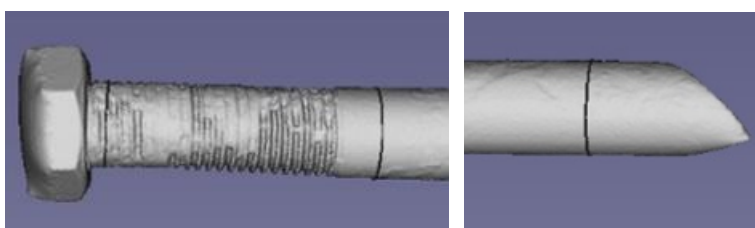
Figuur 156 Resultaten uit 3D scan ankerstang I-05.

Tabel 61 Stang kengetallen I-05.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	1019.006	18.013	17.673	18.199	0.137	156.492
stdev	13.106	0.116	0.268	0.078	0.060	69.555
Min	981.662	17.673	16.776	17.908	0.052	51.080
Max	1034.740	18.151	18.013	18.895	0.328	346.892

C.3.5.3. Resultaten schroefdraad

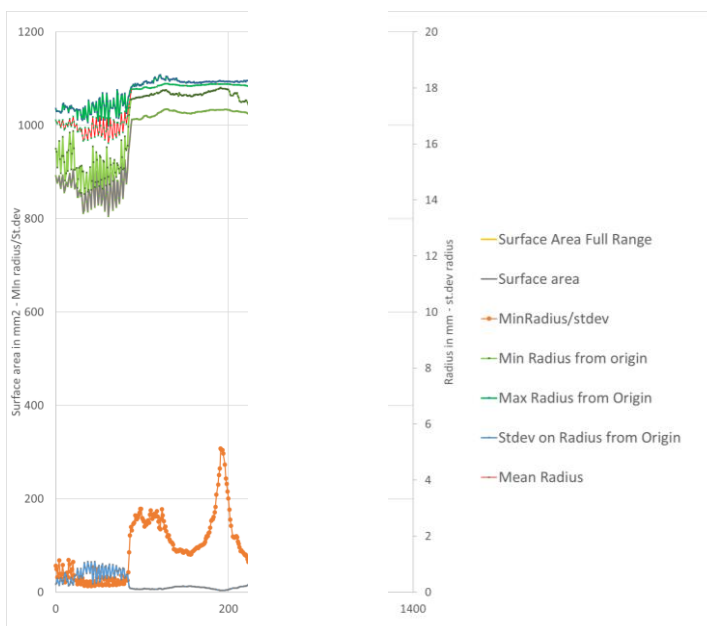
Bij ankerstang I-05 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 157.



Figuur 157 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang I-05.

Uit Figuur 157 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 158. Aan de achterzijde is alleen een beschadiging aanwezig, deze is niet in analyse opgenomen. De moer is niet in de lijn weergegeven.



Figuur 158 Resultaat 3D scan schroefdraad I-05.

Tabel 62 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 62 Resultaat analyse schroefdraad I-05.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	16.01	
Gemiddelde diameter [mm]	32.04	
Dikte afname [mm]	4.56	nvt

C.3.6 Keuze initiële diameter

Bij deze ankerstangen is de initiële diameter verwacht op 36 mm. Echter bij de 5 stangen is geconstateerd dat deze groter moet zijn geweest aangezien anders op een bepaalde doorsnede in de ankerstang negatieve corrosies optreden.

De initiële diameter is daarom aangepast op de waargenomen diameter. Uit onderstaande tabel blijkt ankerstang I-04 maatgevend gezien kan worden.

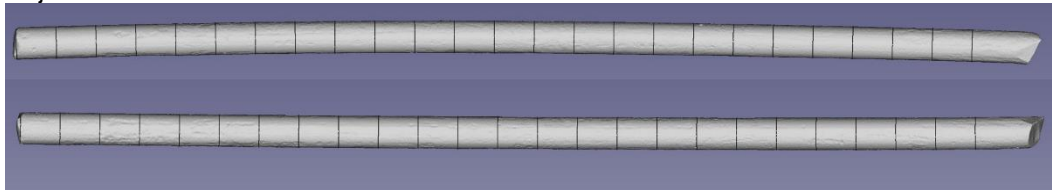
Ankerstang	Max straal	Max diameter	
I-01	18.272	36.544	
I-02	18.276	36.552	
I-03	18.272	36.544	
I-04	18.301	36.602	maatgevend
I-05	18.151	36.302	

C.4 II-xx

Er zijn er 2 stangen van II-xx onderzocht in C.4.1 t/m C.4.2 zijn de resultaten van de scan per stang weergegeven.

C.4.1 II-01

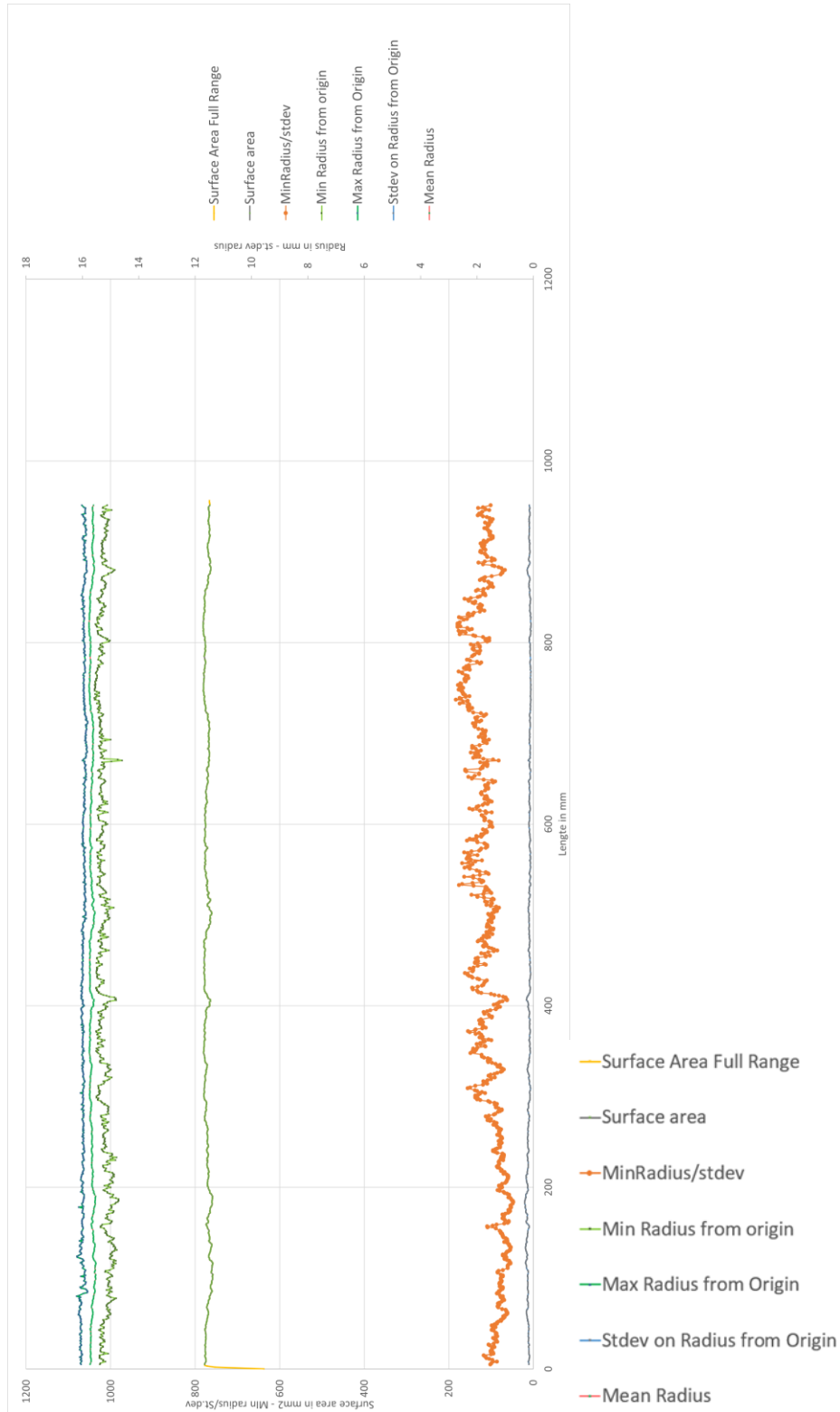
C.4.1.1. Object II-01



Figuur 159 Afbeelding 3D model ankerstang II-01.

De linkerkzijde is in het 3D model is vermoedelijk de damwandzijde, echter dit is onzeker.

C.4.1.2. Resultaten 3D scan



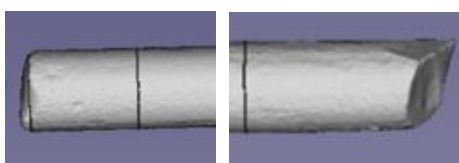
Figuur 160 Resultaten uit 3D scan ankerstang II-01.

In verband met de beschadiging aan beide zijden van de ankerstang en het ontbreken van schroefdraad moet worden vastgesteld dat $X=0$ niet overeenkomt met de kop van het anker.

Tabel 63 Stang kengetallen II-01.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	772.169	15.675	15.248	15.968	0.152	109.104
stdev	5.421	0.056	0.175	0.060	0.045	30.293
Min	757.872	15.526	14.600	15.811	0.085	47.633
Max	781.369	15.770	15.580	16.214	0.310	183.260

- C.4.1.3. Resultaten schroefdraad
 Bij ankerstang II-01 is geen schroefdraad aanwezig, zie Figuur 161.

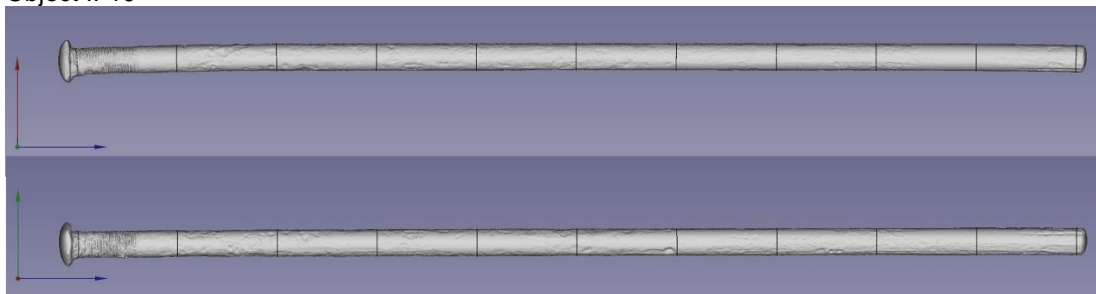


Figuur 161 Ontbreken schroefdraad aan uiteinde ankerstang II-01.

Er is geen data over de dikteafname bij het schroefdraad vast te stellen.

C.4.2 II-10

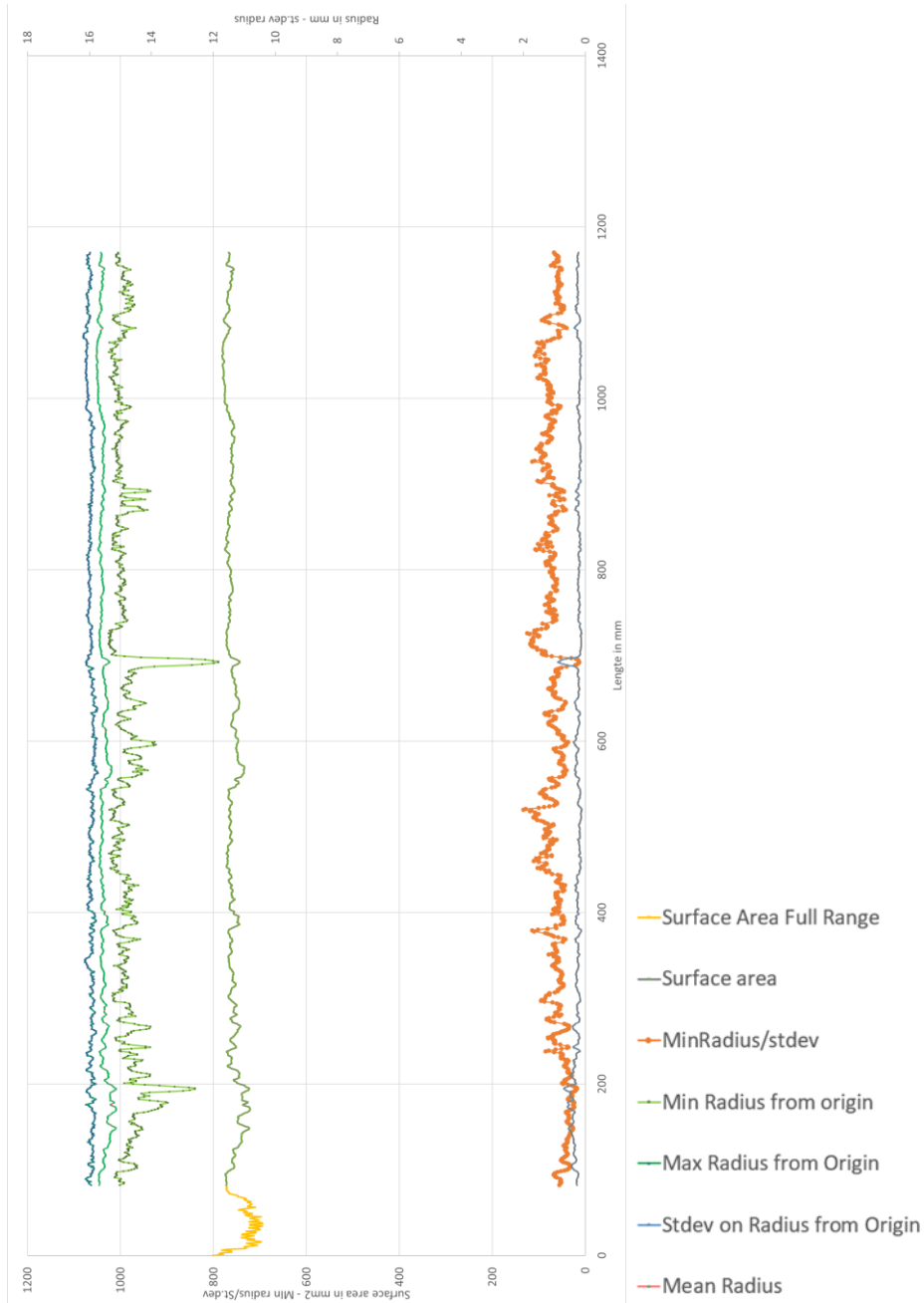
- C.4.2.1. Object II-10



Figuur 162 Afbeelding 3D model ankerstang II-10.

De linkerzijde is in het 3D model is de damwandzijde.

C.4.2.2. Resultaten 3D scan

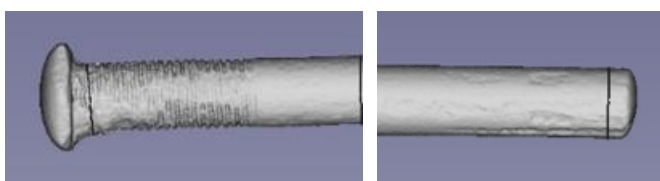


Figuur 163 Resultaten uit 3D scan ankerstang II-10.

Tabel 64 Stang kengetallen II-10.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	760.456	15.562	14.833	15.961	0.252	65.942
stdev	11.077	0.115	0.426	0.083	0.097	20.636
Min	720.989	15.133	11.840	15.727	0.115	13.411
Max	781.512	15.780	15.394	16.205	0.883	133.781

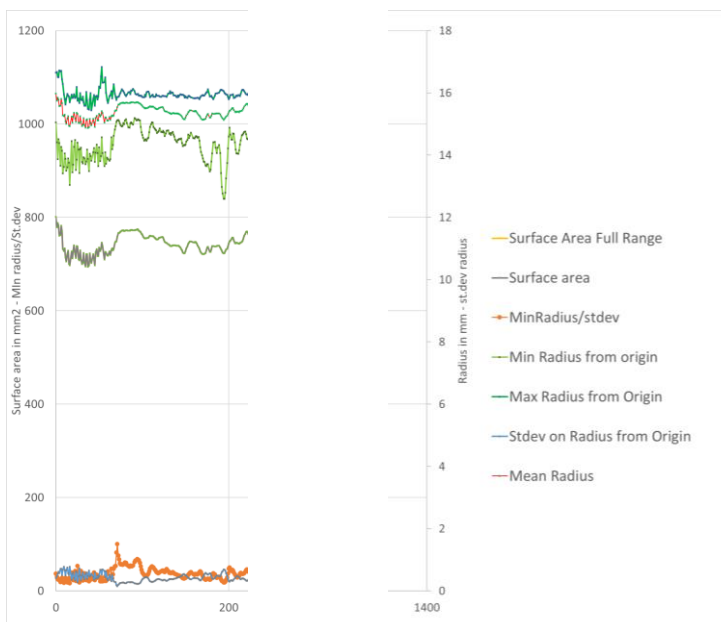
C.4.2.3. Resultaten schroefdraad
 Bij ankerstang II-10 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 164.



Figuur 164 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang II-10.

Uit Figuur 164 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 165. Aan de achterzijde is alleen een beschadiging aanwezig, deze is niet in analyse opgenomen. De kopmoer is niet in de lijn weergegeven.



Figuur 165 Resultaat 3D scan schroefdraad II-10.

Tabel 65 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging).

Tabel 65 Resultaat analyse schroefdraad II-10.

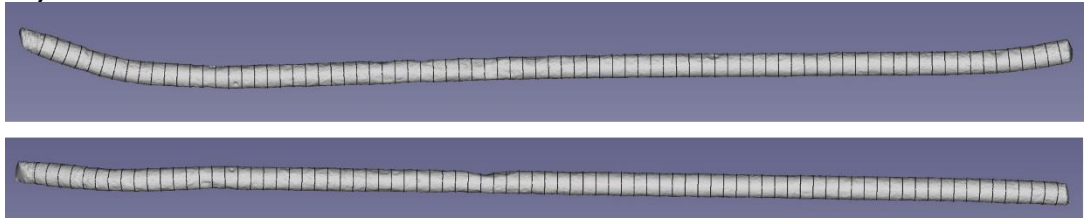
Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	14.86	-
Gemiddelde diameter [mm]	29.74	-
Dikte afname [mm]	2.26	-

C.5 Loofr

Er zijn er 2 stangen van Loofr onderzocht in C.5.1 t/m C.5.2 zijn de resultaten van de scan per stang weergegeven.

C.5.1 Loofr-01

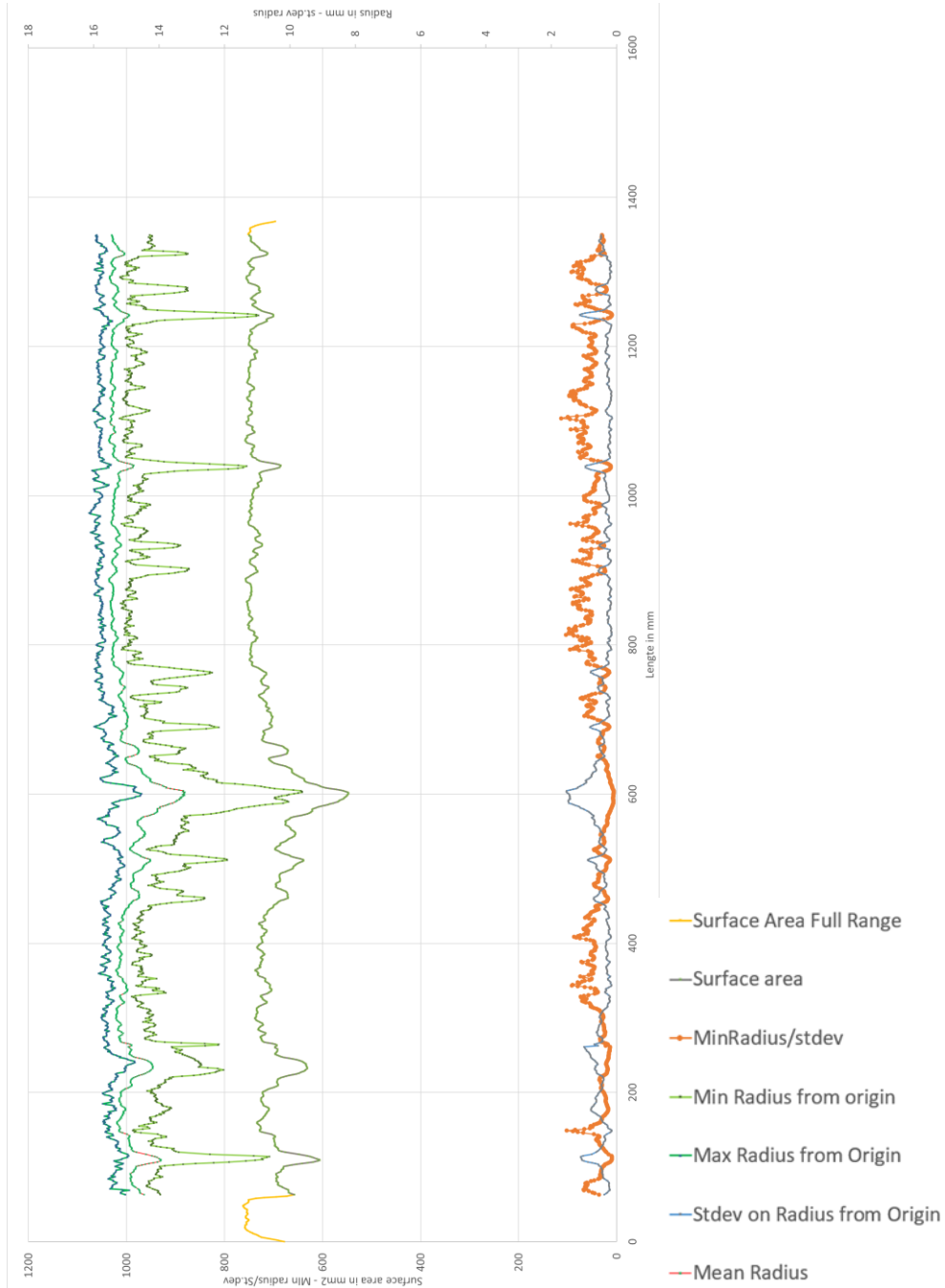
C.5.1.1. Object Loofr-01



Figuur 166 Afbeelding 3D model ankerstang Loofr-01.

De linkerkzijde is in het 3D model is vermoedelijk de damwandzijde vanwege de aanwezigheid van schroefdraad.

C.5.1.2. Resultaten 3D scan



Figuur 167 Resultaten uit 3D scan ankerstang Loofr-01.

Het valt op dat met name rond X=600 er een duidelijk grotere afname van de diameter aanwezig is. Op deze locatie is zowel de maximale straal, als de minimale straal bij de doorsnedes rond deze afstand duidelijk gereduceerd, het gevolg is dat hier de gemiddelde diameter van de ankerstang sterk wordt verminderd. Op basis van deze waarneming is hier dus niet sprake van een beschadiging waarbij de minimale straal afneemt maar de maximale toeneemt als gevolg van plastisch vloeien van het staal. Hetzelfde maar in mindere mate wordt ook gezien rond X=110 mm.

Tabel 66 Stang kengetallen Loofr-01.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	714.292	15.079	14.055	15.962	0.151	#
stdev	38.850	0.417	1.014	0.057	0.046	#
Min	547.040	13.217	9.626	15.811	0.085	#
Max	758.213	15.541	15.209	16.214	0.310	#

C.5.1.3. Resultaten schroefdraad

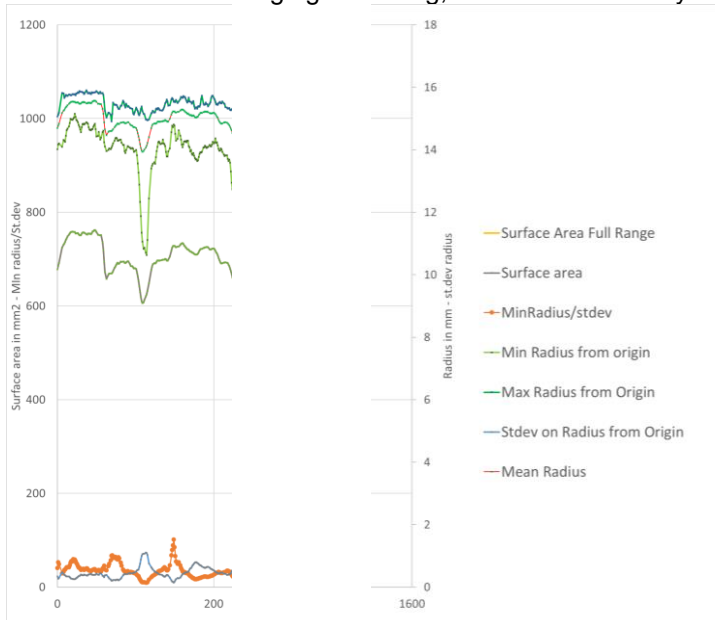
Bij ankerstang Loofr-01 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 168.



Figuur 168 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang Loofr-01.

Uit Figuur 168 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 169. Aan de achterzijde is alleen een beschadiging aanwezig, deze is niet in analyse opgenomen.



Figuur 169 Resultaat 3D scan schroefdraad Loofr-01.

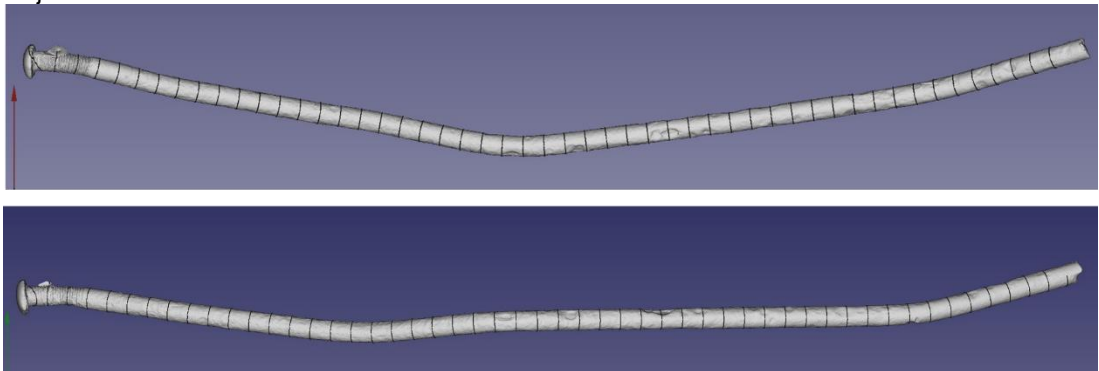
Tabel 67 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging). In verband met de beschadiging aan het uieinde van het schroefdraad is niet zeker of de maximale dikteafname is vastgesteld.

Tabel 67 Resultaat analyse schroefdraad Loofr-01.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	14.70	-
Gemiddelde diameter [mm]	29.41	-
Dikte afname [mm]	2.45	-

C.5.2 Loofr-02

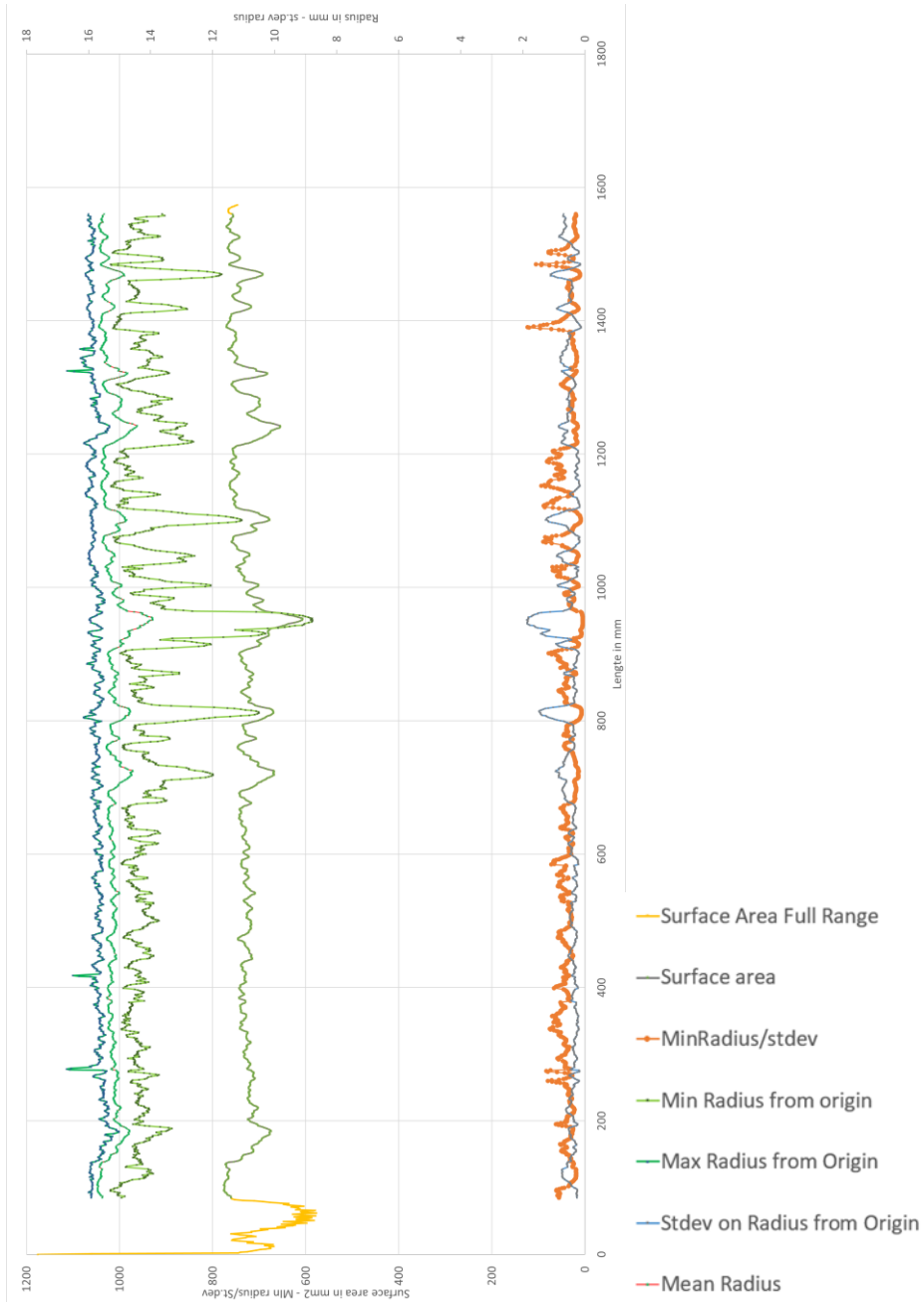
C.5.2.1. Object Loofr-02



Figuur 170 Afbeelding 3D model ankerstang Loofr-02.

De linkerkzijde is in het 3D model is de damwandzijde.

C.5.2.2. Resultaten 3D scan



Figuur 171 Resultaten uit 3D scan ankerstang Loofr-02.

Net als bij object Loof-01 zijn er lokaal een duidelijk grotere afname van de diameter aanwezig. Er wordt verwacht dat hier niet sprake van een beschadiging waarbij de minimale straal afneemt maar de maximale toeneemt als gevolg van plastisch vloeien van het staal.

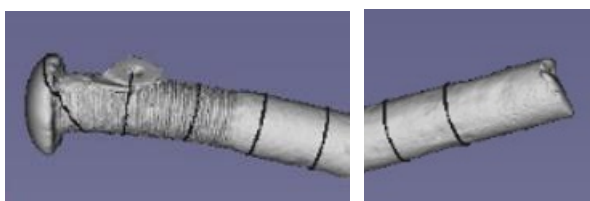
Tabel 68 Stang kengetallen Loofr-01.

	Surface Area Cross section [mm ²]	Mean Radius [mm]	Minimum radius over cross section [mm]	Maximum radius over cross section [mm]	Stdev Radius over cross section [-]	'Ruwheids' Factor Min/stdev [-]
Average	727.314	15.221	14.028	15.767	0.491	36.572
stdev	26.401	0.277	1.053	0.183	0.279	17.575
Min	606.506	13.928	8.775	15.021	0.123	4.711
Max	776.099	15.722	15.305	16.713	1.876	123.145

C.5.2.3.

Resultaten schroefdraad

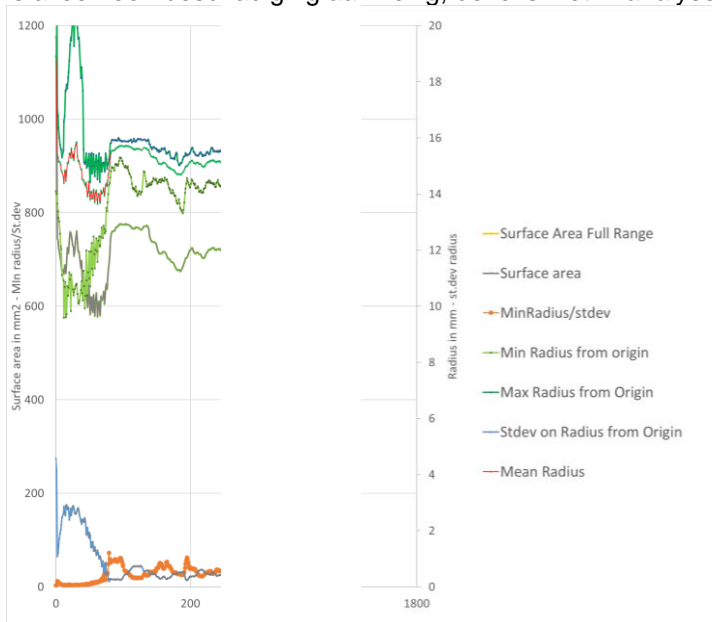
Bij ankerstang Loofr-02 is aan de damwandzijde schroefdraad aanwezig, zie Figuur 172.



Figuur 172 Schroefdraad aan uiteinde ankerstang Loofr-02.

Uit Figuur 172 valt duidelijk op dat de diameter van de ankerstang bij het schroefdraad lager is. Ook valt op dat er nog een beschadiging/corrosieproduct aanwezig is.

Het verloop van de berekende radius (stralen) is gegeven in Figuur 173. Aan de achterzijde is alleen een beschadiging aanwezig, deze is niet in analyse opgenomen.



Figuur 173 Resultaat 3D scan schroefdraad Loofr-02.

Tabel 69 geeft de minimale waarde van de gemiddelde stralen over het schroefdraad gedeelte (zonder beschadiging). In verband met de beschadiging aan het uieinde van het schroefdraad is niet zeker of de maximale dikteafname is vastgesteld.

Tabel 69 Resultaat analyse schroefdraad Loofr-02.

Maatgevende waarde	damwandzijde	Achterzijde
Gemiddelde straal [mm]	13.64	-
Gemiddelde diameter [mm]	27.29	-
Dikte afname [mm]	4.71	-

D Schroefdraad Diameter

Gegevens schroefdraad bij standaard moeren, overgenomen uit bron: ISO 724: 1993.

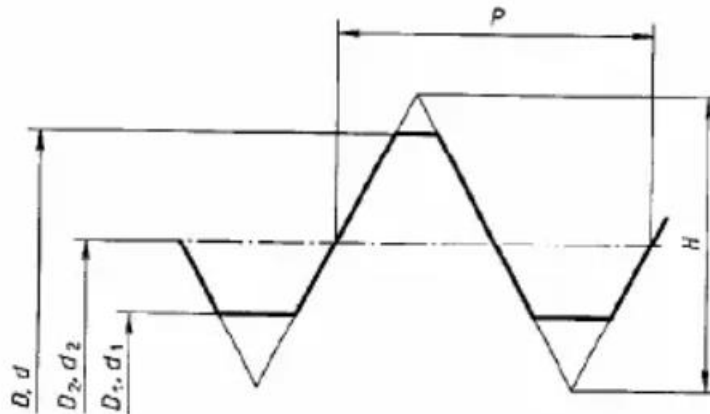


Figure 1 — Basic dimensions

Voorbeeld getallen voor enkele relevante diameters zoals buitendiameter D (of nominale diameter) en daarbij behorende spoed (p) en diameter D_2 op de spoed (gemiddelde diameter) en D_1 op de binnen diameter van het ingesneden schroefdraad:

Nominal diameter = Major diameter D, d	Pitch P	Pitch diameter D_2, d_2	Minor diameter D_1, d_1
32	2	30,701	29,835
	1,5	31,026	30,376
33	3,5	30,727	29,211
	3	31,051	29,752
	2	31,701	30,835
	1,5	32,026	31,376
35	1,5	34,026	33,376
36	4	33,402	31,670
	3	34,051	32,752
	2	34,701	33,835
	1,5	35,026	34,376

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

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