

RAPPORT

ONDERZOEK NAAR DE OORZAAK VAN GEBROKEN STAALKABELS VAN EEN LUIKENWAGEN

© Copyright:
Element Materials Technology Rotterdam B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Element Materials Technology.

Opdrachtgever : Rechtbank Amsterdam

Ref. opdrachtgever : 41000016436

Element Project : ERO032829P

Rapportnummer : ERO032829 Rev. [1](#)

Onderzoeksperiode : 20 april - 18 juni, 2020

Datum rapport : 7 augustus, 2020

Datum revisie : -

Onderzoeker/Auteur : ing. R. Engelsma

Classificatie : ---

Verdeling : Rechtbank Amsterdam
t.a.v. mr. M.B. de Boer (pdf)

Nederlands Forensisch Instituut
t.a.v. Dhr. Lelieveld (pdf)

1 Introductie en achtergrondinformatie

De hijskabels van een luikenwagen zijn tijdens bedrijf gebroken.

De volgende informatie is via de One Stop Shop (Nederlands Forensisch Instituut) van de Politie ontvangen:

Op maandag 2 september 2019 in Georgetown, Guyana is er aan boord van een Nederlands gevlagd schip (FWN Rapide) een dodelijk slachtoffer gevallen en een bemanningslid ernstig gewond geraakt. Tijdens het plaatsen van tussenschotten in het laadruim zijn 2 hijskabels gebroken waardoor het luik met 2 bemanningsleden in het ruim vielen.

Het hijsen gebeurde door middel van 2 hydraulische lieren (2x15kW), bovenop het midden van het hoofdframe, met staalkabels die ieder over een wiel lopen en ieder verbonden zijn met 2 hijshaken (figuur 1). De fabrikant van de luikenwagen, Damen Hoogezand, specificeert een veilige werklust van 21.000 kg. De kabel is gespecificeerd als "6x36WS+Stk zincd $\varnothing$ 32mm 1960 N/mm²" gemaakt van "St 52". Dit impliceerde 6 strengen van 36 draden met een stalen kern. De kabel diameter was gespecificeerd op 32 mm met een materiaal treksterkte van 1960 N/mm². De draden zouden door zink tegen corrosie beschermd moeten zijn.

Volgens Lloyds certificaat "IST 1510128/LA2" van 31 juli 2015 heeft de luikenwagen een testgewicht van 26.000 kg doorstaan.

Uit de ontvangen foto's is geconcludeerd dat beide kabels zijn gebroken ter plaatse van de wielen op het moment van het ongeluk. Volgend op de resultaten van het onderzoek aan de kabels is op 28 mei 2020 besloten om ook de wielen te onderzoeken.

De One Stop Shop (OSS) van de Nederlands Forensisch Instituut (NFI) heeft geen verdere gegevens verstrekt over de hijswerkzaamheden. Het gewicht en de bevestiging van het item dat gehesen is Element niet bekend.

Voor onderzoek zijn de 2 gebroken kabels, 2 wielen, hijstoebehoren en gebruikte veiligheidsmiddelen (figuur 2) aangeleverd aan Element Materials Technology Rotterdam B.V. ("Element", locatie Amsterdam).

Element is gevraagd om indien mogelijk het faalmechanisme en de oorzaak van de 2 kabelbreuken te achterhalen. Daarnaast is de vraagstelling neergelegd om te onderzoeken of het faalmechanisme tijdens de jaarlijkse controle opgemerkt had kunnen worden.

Dit rapport ERO032829 Rev. 1 is een revisie op rapport no ERO032829 Rev. 0, alle wijzigingen naar aanleiding van aanvullende vragen van de Politie zijn gemarkeerd in blauw cursieve tekst.

2 Uitgevoerd onderzoek

De geleverde kabels en wielen zijn visueel onderzocht, gereinigd en wederom visueel onderzocht. De gebroken uiteinden en een deel voor de trekproef zijn afgeslepen met een haakse slijper. De oppervlakken nabij de breuken en de breuken zelf zijn met een stereo-microscoop en een rasterelektronenmicroscoop (REM) onderzocht. De chemische samenstelling van de corrosieproducten op de kabels en wielen is met een energie dispersieve röntgenmicro-analyse (EDX) bepaald. Een dwarsdoorsnede van de kabel is geprepareerd voor metallografisch onderzoek. Voor de bepaling van de mechanische eigenschappen van de kabel is een trekproef uitgevoerd bij kamertemperatuur.

3 Resultaten en discussie

3.1 Visueel en stereo-microscopisch onderzoek

De voor onderzoek aangeboden kabeldelen (met daarin de complementaire breukeinden) en wielen waren met bedrukte stickers als volgt geïdentificeerd:

Kabeldeel ruim bakboord:	AALU1470NL
Kabeldeel ruim stuurboord:	AALU1471NL
Wiel stuurboord:	AALU1472NL
Wiel bakboord:	AALU1473NL
Kabeldeel luikenwagen stuurboord:	AALU1474NL
Kabeldeel luikenwagen bakboord:	AALU1475NL

De 4 kabeldelen bestonden uit 1 gewikkelde kern van 7x7 draden, met in een hexagonaal patroon daaromheen gewikkeld de 6 buitenste strengen van ieder 36 draden (configuratie 1-7-7-+7-14, totaal 265 draden, overeenkomend met 6x36WS volgens EN 12385-4).

De kabeldiameter op de lier bedroeg 27,0 mm tot 27,5 mm, duidelijk afwijkend van specificatie (32 mm).

3.1.1 Bakboord kabeldelen

De kabels waren bedekt met een teerachtig smeervet. Het bakboord kabeldeel dat in het ruim gevallen was (figuur 3) was ook gemarkeerd met "AALU1470NL". Het aangeknepen oog was beschadigd en een knik was direct achter het oog aanwezig. Dit kabeldeel had een lengte van 8,7 meter. De kabeldiameter is 3 keer gemeten ter plaatse van de lier en had een nominale diameter van 27,2 – 27,5 mm. Het gebroken uiteinde was nauwelijks ontrafeld (figuur 4). Sommige delen van de kabel hadden een bruin aanzicht (figuur 5). Er waren een aantal onregelmatigheden in de kabel aanwezig in de vorm van knikken en gebroken draden zoals in figuur 6.

Het bakboord kabeldeel dat nog aan de luikenwagen hing was 23 m lang en gemarkeerd met "AALU1475NL". De diameter van een gesloten deel van de kabel kwam overeen met de diameter van het deel dat in het ruim gevallen was. De strengen waren aan het uiteinde over een grotere lengte ontrafeld (figuur 7). Er waren geen knikken in dit kabeldeel aanwezig. Het uiterlijk van de kabel week af voornamelijk nabij de breuk (figuur 8).

De kabels waren lastig te ontvetten door de teerachtige eigenschappen van het smeervet. Bij het ontrafelen van de strengen werd een groen lint zichtbaar met de tekst "GL45". Een herhalend patroon was aanwezig op de bakboord kabel, luikenwagenzijde, van een brede beschadiging en vervolgens een smalle beschadiging (figuur 9). De brede beschadiging was ook op de buitenzijde van de kabel zichtbaar terwijl de smalle beschadiging tussen de strengen was gepositioneerd. Ter plaatse van de brede beschadigingen zijn gebroken draden waargenomen (figuur 10). De beschadigingen betroffen versmeringen aan het oppervlak van de draden. Versmeringen betreffen oppervlakteformatie en slijtage, bijvoorbeeld in langs of dwarsrichting van de kabel, verband houdend met glijdend contact met een hard extern materiaal. Versmeringen kunnen zodoende leiden tot afvlakking van een kabel. De richting van de versmering was ongeveer haaks op de draden (figuur 11). Scheurtjes en uitgebroken materiaal van de draden zijn in het versmeerde materiaal waargenomen. Een patroon was eveneens aanwezig op de ruimzijde van de bakboord kabel echter niet door versmering maar de donkerbruine kleur en de aanwezigheid van veel putjes in draden (figuur 12). Naast de plekken waren de meeste draden donkergrijs van kleur (figuur 13). Veel gebroken draden nabij de kabelbreuk hadden een afgeplat uiterlijk zoals in figuur 13. Van de 265 draden in de kabel waren er bij het breukvlak 143 afgeplat en 36 draden ingesnoerd. De resterende draden waren op en bij het breukvlak door corrosie aangetast waardoor er niet kon worden vastgesteld waardoor deze gefaald zijn. De kern van de kabel bevatte vele draadbreuken nabij de breuk (figuur 14). De draadbreuken werden ook waargenomen op 3,8 meter van de kabelbreuk. De kern had een gevlekt uiterlijk met afvlakkingen, putjes en bruine kleuren. Bij het licht buigen van de kern braken er meer draden. Het oppervlak van de kernraden was bruin gevlekt waarbij scheuren haaks op de draden zijn waargenomen (figuur 15). Het overwegend lichtgrijze oppervlak wordt onderbroken door langwerpige afvlakkingen.

3.1.2 Stuurboord kabeldelen

Het stuurboord kabeldeel dat in het ruim was gevallen was gemarkeerd met "AALU1471NL" en had een lengte van 8,6 meter (figuur 16). Het kabeldeel dat nog aan de stuurboordzijde aan de luikenwagen hing was 23 meter lang en was gemarkeerd met "AALU1474NL". De diameter van de stuurboord kabel was tussen 27,0 en 27,4 mm en is gemeten op 4 posities. Nabij de breuk waren de draden van de strengen meer ontrafeld vergeleken met de strengen aan de bakboordzijde (figuur 17 en 18). Een wit/geel product was voornamelijk nabij het gebroken einde aanwezig van de ruimzijde van de stuurboord kabel. Voornamelijk bij de breuk waren enkele dubbelgevouwen draden aanwezig.

Na het ontdoen van het smeer werd wederom een groen lint aangetroffen dat in de stuurboord kabel verweven zat met de tekst "GL45". De stuurboord kabel toonde eveneens een patroon van brede en smalle beschadigingen (figuur 19), zoals eerder waargenomen op de strengen van de bakboord kabel (figuur 9). De draden in de strengen van de stuurboord kabel waren echter in mindere mate door versmering afgevlakt (figuur 20) vergeleken met de bakboord kabel (figuur 15). Het donkergrijze uiterlijk van de draden werd afgewisseld met een wit en bruin oppervlak. In de bruine oppervlakken van de strengen waren veel putjes in de draden waargenomen (figuur 21). Op de draden zijn de bruine producten aanwezig tot aan de positie van de breuk (figuur 22). De draad diameter van 51 draden in de kabel is bij de breuk afgenomen door insnoering en bij 88 draden is de draad afgeplat. De resterende 126 draden waren op en bij het breukvlak door corrosie aangetast waardoor er niet kon worden vastgesteld waardoor deze gefaald zijn. De bruine kleur van de resterende draden was het sterkst nabij de kabelbreuk positie (figuur 23). De witte vlekken leken specifiek alleen direct naast de bruine vlekken aanwezig te zijn (figuur 24).

3.1.3 Wielen

De wielen zijn geïnspecteerd om te bepalen waarom de staalkabels bij de wielen gebroken zijn.

De markeringen "Tu 04-83-002 CAH 357 7472 9883 B St.52 0 CAH" waren ingeslagen op het bakboord wiel. Op het Politie tape was "Bakboord 10.07" geschreven en een sticker met "AALU1473NL" aanwezig.

De markeringen "Tu 04-83-002 CAH 357 7472 B St.52 0 CAH" waren ingeslagen op het stuurboord wiel. Op het Politie tape was "Stuurboord 10U6" geschreven en een sticker met "AALU1472NL" aanwezig.

Beide wielen werden voorzien van de gegraveerde identificatie "stuurboord" respectievelijk "bakboord" door Element op de zijde waar de markeringen niet waren ingeslagen. De uiterste diameter van de wielen was 590 mm en de uiterste dikte van de wielen was voor beide 60 mm. De omtrek van de wielen, over het loopvlak gemeten, was bij beide wielen 1640 mm. De dikte van de wang was op, een intacte positie, 5 mm inclusief coating.

Het teerachtig vet was onevenredig verdeeld over de wangen van de loopwielen (figuur 25). Voornamelijk het stuurboord wiel was zwaar gecorrodeerd op de niet gegraveerde zijde. Er zijn veel blaren waargenomen waarbij onder de coating gecorrodeerd metaal aanwezig was (figuur 26). Onder de gele klodders verf werd veelal het smeervet aangetroffen. Gezien de onregelmatigheid ("klodders") van de gele coating werd aangenomen dat deze per ongeluk aangebracht is bij het verven van het luikenwagen frame. De gegraveerde zijde was veel minder aangetast en bevatte geen gele verf klodders (figuur 27).

In het glijlager van beide lagers waren er diepe sporen in omtrek richting gevormd en waren er stukjes glijlager metaal uitgebroken (figuur 28).

De afdrukken van de kabelwindingen waren in de gehele omtrek van beide wielen zichtbaar (figuur 29). De wang aan de niet gegraveerde zijde van het bakboord wiel was zwaar aangetast (figuur 30). Een paar kleine gaten in de wang en een deformatie van de wang wees lokaal op een erg dunne wanddikte (figuur 31).

Een aantal knikken zijn in de wang van het loopvlak waargenomen van het bakboord wiel (figuur 32).

In het loopvlak van het stuurboord wiel waren de sporen van corrosieproducten aanwezig in de vorm van 3 kabelwindingen (figuur 33). In het loopvlak zijn kleine indrukkingen waargenomen ter grootte en vorm van de dubbelgeslagen draden. Dit wees op mogelijk gebruik van de kabel na het dubbelslaan van draden (figuur 34). In het loopvlak waren sporen aanwezig die de rand van het gebruikelijke loopvlak markeerden (figuur 35). De maximaal passende *cirkel* in het loopvlak van het bakboord wiel is vanuit 3 foto's gemeten en was tussen 28,1 tot 28,4 mm. In het stuurboord wiel is de maximaal passende *cirkel* van 27,2 tot 27,8 mm.

3.2 Raster-elektronenmicroscopie (REM)

Representatieve delen van de kabels zijn gereinigd in een ultrasoon bad, gevuld met wasbenzine, alvorens deze in detail te analyseren een Raster-elektronenmicroscoop (REM). De meeste vervuilingen zijn daarmee van de kerndraden verwijderd maar lange strepen van corrosieproducten bleven op het oppervlak achter (figuur 36). De langwerpige afvlakkingen tussen de corrosiestrepen op de kerndraden zijn mogelijk door het slijten van de kabels ontstaan. In de kerndraden waren veel meer scheuren aanwezig dan in de strengdraden (figuur 37).

De groep van ingesnoerde draden bevatte een breuk met opstaande lip. Zowel de insnoering als het breukuiterslijk duiden op overbelasting van de strengdraad (figuur 38). Deze taaie breukkenarakteristieken werden bevestigd door de bij hogere vergrotingen aangetroffen “dimples” (opengetrokken microholten) (figuur 39).

De groep draden die nabij de breuk gecorrodeerd was had voornamelijk een haaks breukvlak wat wees op een bros breukkenarakter. Door de corrosie en versmering van het breukvlak konden de microscopische breukkenarakteristieken niet worden waargenomen (figuur 40).

De afgeplatte draden hadden veelal geen breukvlak meer mogelijk door versmering van het breukvlak. Er zijn bij geen van de breuken breukinitiaties of breukrichtingen waargenomen.

3.3 Microscopisch onderzoek

Voor het metallografisch onderzoek is ter plekke een minst beschadigde positie van de bakboord kabel een dwarsdoorsnede gemaakt (figuur 41). De kabel was daarbij geklemd met een slangenklem om de draden bij elkaar te houden waarna het kon worden doorgeslepen. Het smeervet kon vervolgens niet volledig worden verwijderd met ultrasoon trillen in wasbenzine. Hierdoor kon het materiaal waarmee de kabel werd ingebed niet goed uitharden. Hierdoor zijn niet alle draden niet op hun plek gebleven.

De 6 buitenste strengen hadden ieder 36 draden en de kern had 49 draden volgens de configuratie 1-7-7-+7-14 in specificatie EN 12385-4.

Tussen de strengen van een schijnbaar onbeschadigd deel van de bakboordkabel zijn afgevlakte draden waargenomen (figuur 42). Een enkele streng had een significant kleinere doorsnede door lokale materiaalafname door corrosie (figuur 43).

Op een microscopische schaal was aantasting zichtbaar (figuur 44). De zinklaag was afwezig op 95% van de geanalyseerde oppervlakken. De zinklaag was erg dun op de plekken waar de beschermende zinklaag nog wel aanwezig was (figuur 45). In de EN 12385-4 standaard was geen minimale dikte voor de zinklaag gespecificeerd.

De doorsnede is geëts met Nital waarna een ontlaten martensitische microstructuur werd waargenomen (figuur 46). Er heeft geen selectieve aantasting van fasen plaatsgevonden.

De aantasting van de strengdraden van de stuurboord kabel nabij de breuk was ook putvormig (figuur 47). Het zink bedekte het onderliggende staal van de geanalyseerde doorsnede voor ongeveer 5%. De gemeten zinklaag was tot circa 7 µm dik (figuur 48).

Er zijn geen verschillen in microstructuur waargenomen tussen de kern van een draad, rand van de draad en verschillende draden van de stuur- en bakboord kabel (figuur 49).

3.4 Mechanische beproeving

Uit de ruim bakboord kabel is een deel geslepen en voor een trekproef bij een extern laboratorium getest. Dit stuk kabel is geselecteerd om een beeld te krijgen van de resterende mechanische sterkte sinds de kabel lichte beschadigingen had en gebruikt is geweest. Specificaties en eisen van het materiaal type zijn gespecificeerd in EN 12385-4. Deze trekproef valt buiten de Raad van Accreditatie en dient daarmee ter indicatie van de treksterkte. De resultaten worden weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Kabel trekproef bij kamertemperatuur

Monster	Doorsnede [mm]	Meetlengte [mm]	Breukkracht [kN]
Ruim bakboord kabel	27,5	3000	601,33
Eisen* voor 28 mm kabel volgens			≥ 547
Eisen* voor 32 mm kabel volgens			≥ 715

* Eisen volgens EN 12385-4 type 6x36WS (stalen kern)

De gemeten breukkracht was boven de waarde van 547 kN die voor een kabel van 28 mm (vermoedelijk de oorspronkelijke diameter van de hier onderzochte kabel) verwacht mag worden. De sterkte van de kabel was ruim voldoende om de helft van het testgewicht van 258 kN (26.000 kg) in de oorspronkelijke load test (Lloyd's certificaat) te dragen.

De gemeten breukkracht van de kabel was lager dan de 715 kN voor de gespecificeerde 32 mm kabel.

3.5 Chemische analyse middels Energie Dispersieve röntgenmicroanalyse (EDX)

De chemische samenstelling is bepaald van de producten die aanwezig waren op de kerndraden van de bakboord kabel, ruimzijde (figuur 36) en op de vlakke gereinigde breuken van de strengdraden (figuur 40). De chemische analyse is uitgevoerd met een energie dispersief röntgen microanalyse systeem (EDX) wat een semi-kwantitatieve meting betreft. De chemische analyses zijn uitgevoerd met een versnelspanning van 20 keV. De chemische samenstelling in tabel 2 zijn een gemiddelde van 5 metingen.

Tabel 2. Chemische samenstelling corrosieproducten draden (massa %)*

monster / element	C	O	Cl	Ca	Fe	Zn
Op kerndraden	weinig	27	2	<0,5	3	68
Op breukvlak	weinig	25	1	<0,5	14	60

Op de kerndraden van de ruim bakboordkabel is voornamelijk zink (Zn) en zuurstof (O) gemeten. Dit duidde op de aanwezigheid van (witte) zinkoxides, het lage ijzergehalte duidde erop dat ter plaatse van de meting overwegend een zinklaag aanwezig is geweest. Opmerkelijk is het lage koolstof percentage op de kerndraden. Dit kan wijzen op de afwezigheid van smeervet (koolwaterstofverbindingen) op de kerndraden. Op het breukvlak, ofwel de stalen kern van de draad werd slechts 14 massa % ijzer (Fe) gemeten, en eveneens verder zink en zuurstof (corrosie van Fe en Zn) . Na breuk is significante vervuiling van het breukvlak opgetreden door verdere corrosie, leidende tot een afzetting van zinkoxides op het breukvlak. De lage percentages chloor (Cl) en mogelijk calcium (Ca) impliceerden dat elementen uit zeewater de draden bereikt heeft.

De corrosieproducten zoals rijkelijk aanwezig op de wielen zijn met dezelfde methode chemisch geanalyseerd. De resultaten van beide wielen zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Chemische samenstelling corrosieproducten wielen (massa %)*

monster / element	C	O	Si	Cl	Ca	Mn	Fe
Bakboord wiel	weinig	36	<0,5	1	<0,5	1	64
Stuurboord wiel	weinig	33	1	1	-	1	64

De corrosieproducten bevatten voornamelijk ijzer (Fe) en zuurstof (O). De elementen silicium (Si) en mangaan (Mn) zijn net zoals ijzer waarschijnlijk afkomstig uit de legering van de wielen. Sporen van chloor (Cl) en mogelijk calcium (Ca) wijzen op een vervuiling van zeewater.

***) Opmerking:**

EDX (EDS, energie-dispersieve röntgen-microanalyse) is een semi-kwantitatieve analysemethode. De detectielimiet hangt af van het te meten element, de samenstelling van de omringende matrix en de gebruikte versnelspanning. In het algemeen kan worden gesteld dat de detectielimiet 0,1 tot 0,5 massa% bedraagt. De nauwkeurigheid van de resultaten hangt eveneens af van element en matrix, en bedraagt enkele tienden van een procent tot enkele procenten. EDX-analyse wordt uitgevoerd op een relatief klein oppervlak. Dit houdt in dat lokale verschillen in chemische samenstelling relatief grote invloed kunnen hebben op het analyseresultaat. Middels EDX kan het koolstofgehalte niet bij benadering met enigszins redelijke nauwkeurigheid worden bepaald. Koolstofgehalten worden daarom afgeschat op basis van ervaring, gebaseerd op de relatieve grootte van de koolstofpiek in het EDX-spectrum, of aangeduid in termen van bijvoorbeeld "veel" of "weinig". Bij de berekening van de overige percentages (waarbij het totaal als 100% wordt genomen) is het aandeel van koolstof hierdoor niet inbegrepen. Bij grote hoeveelheden koolstof kan dit significante invloed hebben op de berekende percentages van de andere elementen.

4 Samenvattende discussie

De gemeten diameter van de kabels, op een minst beschadigde locatie, was tussen de 27,0 en 27,5 mm. Dit was significant minder dan de 32 mm die werd aangegeven in de ontvangen handleiding van de luikenwagen. Volgens EN 12385-4 mag de diameter van de kabel nergens kleiner dan de opgegeven diameter zijn en maximaal 5% groter zijn. Volgend uit de trekproef werd geconcludeerd dat een deel van de bakboord kabel niet voldeed aan de breukkracht van een 32 mm kabel volgens specificatie EN 12385-4. De bakboord kabel voldeed wel aan de 28 mm diameter kabel die het waarschijnlijk van origine was voor het falen. De configuratie van de kabel, 6 strengen van ieder 36 draden en een stalen kern van 7x7 draden, kwam overeen met de specificatie.

De afvlakkingen over de volledige lengte van de kerndraden en de versmeringen zoals waargenomen op de strengen wezen op slijtage van de kabels. De gebruikte kabeldiameter was kleiner dan de gespecificeerde diameter in de handleiding. Helaas was de veiligheidsfactor van de kabels niet gespecificeerd.

De markeringen op de kabel en op de wielen konden niet worden herleid naar de geleverde handleiding of andere vrij beschikbare informatie en daarmee of de juiste kabel en loopvlak diameter gebruikt is. Het is daarmee onbekend of de gebruikte combinatie van kabeldiameter en loopvlakdiameter van het wiel juist is geweest.

Uit de ontvangen foto's is geconcludeerd dat beide kabels zijn gebroken ter plaatse van de wielen op het moment van het ongeluk. De bakboord kabel was nauwelijks ontrafeld aan de ruimzijde en had het minste aantal (14%) ingesnoerde draden. De stuurboord kabel had 51 draden (19%) die ingesnoerd waren nabij de breuk. Microscopische taaie breukkenarakteristieken bevestigden de taaie overbelasting van de draad waarmee insnoering is ontstaan. Het is waarschijnlijk dat de bakboordkabel door een kleinere dragende kabeldoorsnede (86% van de draden waren reeds gebroken) eerst gebroken is en kort erna de stuurboordkabel, met een grotere hoeveelheid intacte draden (81%).

Het in het ruim gevallen deel van de bakboordkabel was sterk genoeg om de proeflast te kunnen dragen, getuige de trekproef. Echter voldeed de sterkte van dit kabeldeel niet aan specificatie EN 12385-4 voor een 32 mm kabel die in de handleiding was voorgeschreven.

Op aangetaste posities van de kabeldelen zijn veel beschadigde, gescheurde en gebroken draden aangetroffen, gepaard gaande met putcorrosie. Een deel van deze schade duidt op onvoldoende smering met vet van de kabels (opgetreden corrosie). Bij het corrosieproces kan atomair waterstof vrijkomen waardoor er kleine scheurtjes in het harde materiaal van de draden kunnen ontstaan. Anderzijds kunnen er draden zwaarder belast zijn door het tekort aan vet in de kabel. Een vermoeiingsmechanisme heeft hierbij waarschijnlijk een rol gespeeld.

Door de lokaal slechte conditie van de kabel op de wielen is de lokale sterkte significant lager geweest vergeleken met de resultaten uit de trekproef. Uiteindelijk is tijdens het hijsen overbelasting opgetreden, de gebruikte last is echter niet bekend.

Beide wielen zijn zwaar gecorrodeerd ondanks de coatings die zijn aangebracht. De gele verf was over het vet en de corrosieproducten aangebracht. Echter leek het dat deze gele verf gemorst was op de wielen toen men het frame van de luikenwagen geel verfde. Daarmee kan worden gesteld dat de wielen, sinds de laatste verfbeurt van het gele luikenwagen frame, niet meer volledig ontdaan zijn van het vet. Een goede inspectie was namelijk enkel mogelijk door het vet van de wielen te verwijderen en zo de loopvlakken vrij te maken. Echter kon ook voor het verwijderen van het vet de slechte conditie van de wielen al worden geconcludeerd. De dusdanig slechte conditie van de wielen is niet enkel in het laatste jaar ontstaan en had in de voorgaande jaarlijkse controle opgemerkt kunnen worden.

Op de buitenste draden van de bakboord kabel is een zijwaartse slijtage waargenomen. De grotere *cirkel* van het loopvlak van het bakboord wiel (1 mm) dan de diameter van de kabel maakte de beweging van de kabel mogelijk. Dit kon bijvoorbeeld door het veranderen van de hoek van de kabel richting de lier of door de beweging van de last t.o.v. het schip tijdens hijswerkzaamheden. Beide kon tot versnelde slijtage geleid hebben van de bakboordkabel. De maat van het loopvlak van het stuurboord wiel kwam redelijk overeen met de gemeten kabeldiameter.

De wang van de wielen vertoonde een aantal golven mogelijk door deformatie van het materiaal. Helaas kon niet worden vastgesteld hoe deze vormen ontstaan waren. De gegolfde wangen, corrosie en versleten lagers van de wielen maakte deze wielen rijp voor vervanging.

De langdurige blootstelling van de coatings op die wielen aan de zee en zon heeft niet voldoende bescherming gegeven tegen corrosie van het onderliggende staal. Hierdoor kwamen corrosieproducten van de wielen in het kabelvet terecht waardoor de smering en corrosiebescherming voor de kabel verslechterde.

Het bruine oppervlak van de draden en de putjes in het oppervlak van de draden van de bakboord en stuurboord kabel zijn bewijs dat het staal van de draden is aangetast. De corrosiebescherming van de kabels kwam, door de veelal afwezige zinklaag, neer op de bedekking met het smeervet. Uit een chemische analyse van de corrosie op de kerndraden en breukvlakken kon een zeemilieu worden opgemaakt. De corrosieve omgeving is dus tot de kern doorgedrongen en heeft daar de meeste schade aangericht. Dit geeft aan dat het gebruikte vet de kern onvolledig heeft beschermd. Het vet was erg stug en teerachtig waardoor het mogelijk niet ver genoeg de kabel in drong. Afgeschuurde draden tussen de strengen in de kabels wijst op het gebrek aan voldoende smering binnenin de kabel.

In de microstructuur zijn geen onregelmatigheden waargenomen die een mogelijk verband met het falen van de kabels hadden.

Het faalmechanisme van beide kabels wordt omschreven door de volgende chronologische gebeurtenissen: Door corrosie over een langere periode zijn er in de meeste draden kleine scheurtjes ontstaan waardoor deze onder de wisselende buigende plus trekbelasting over het wiel al konden breken. De uiteinden van de meeste gebroken draden zijn door blijvend gebruik afgeplat of omgeslagen tussen het loopvlak van de kabel en de kabel zelf. De overgebleven draden van de kabel konden de last niet meer dragen en zijn door overbelasting gebroken. Het is de verwachting dat de knikken in de bakboordkabel, ruimzijde, ontstaan zijn na het breken van de kabel doordat er een luik op is gevallen.

5 Conclusies

De gebruikte kabels waren kleiner in diameter dan gespecificeerd, echter was het geteste stuk kabel dat niet over het wiel liep, voldoende sterk voor het testgewicht van 26.000 kg.

De kabels waren door onvoldoende onderhoud niet adequaat door het smeervet beschermd.

De gecorrodeerde staat van de wielen heeft bijgedragen aan de versnelde slijtage van de kabels.

Aanhoudend gebruik van de verzwakte kabels zorgde voor afplatting en verder breken van draden door de wisselende buiging bij de wielen.

De nog intacte draden (<20%) in de kabel zijn vervolgens tijdens het hijsen door overbelasting gebroken waarschijnlijk bij een nominale last. De bakboord kabel brak eerst en vervolgens de stuurboord kabel.

De wielen waren door corrosie in een dusdanig slechte conditie dat dit in de voorgaande jaarlijkse controle opgemerkt had kunnen worden.

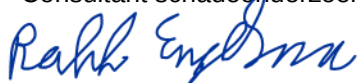
De slechte staat van de kabels had opgemerkt kunnen worden indien men de kabels gereinigd had bij de jaarlijkse inspectie.

Alle specifieke kenmerken van het (de) bovengenoemde object(en) zijn, voor zover toegankelijk en relevant, geverifieerd door Element Materials Technology Rotterdam B.V. (Element). Overige informatie is aangeleverd door de opdrachtgever. Deze informatie is voor zover mogelijk geverifieerd en verder ongewijzigd in dit rapport overgenomen. Element draagt geen verantwoordelijkheid voor de correctheid van deze aangeboden informatie. Wij verklaren dat de onderzoeksresultaten correct zijn weergegeven en dat het (de) bovengenoemd(e) onderzoeksobject(en) is (zijn) onderzocht conform de eisen van de opdrachtgever en/of de bovengenoemde procedure(s) en/of code(s)/specificatie(s). In voorkomende gevallen wordt door Element onderzoek uitbesteed, onder vermelding van het accreditatienummer van de uitvoerende partij. Interpretaties, meningen, conclusies en adviezen zijn deels gebaseerd op de onderzoeksresultaten en deels op de door de opdrachtgever aangeboden informatie. Rechtsgeldigheid hebben slechts de rapporten die voorzien zijn van een geautoriseerde ondertekening. Als, bij reproductie, slechts delen van dit rapport worden gekopieerd, draagt Element geen enkele verantwoording voor inhoud, strekking en conclusies in desbetreffende kopie.

De onderzoeksobjecten zullen 2 maanden bewaard blijven, ingaande op de rapportdatum zoals vermeld op het titelblad. Indien wij voor het verstrijken van deze periode van de opdrachtgever geen andersluidende instructies hebben ontvangen, nemen wij aan dat deze er geen bezwaar tegen heeft dat de betreffende objecten daarna op een door Element te bepalen moment zullen worden vernietigd.

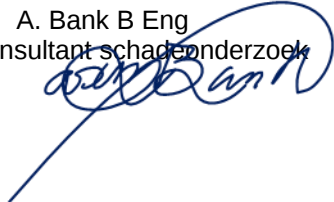
Amsterdam, 7 augustus, 2020

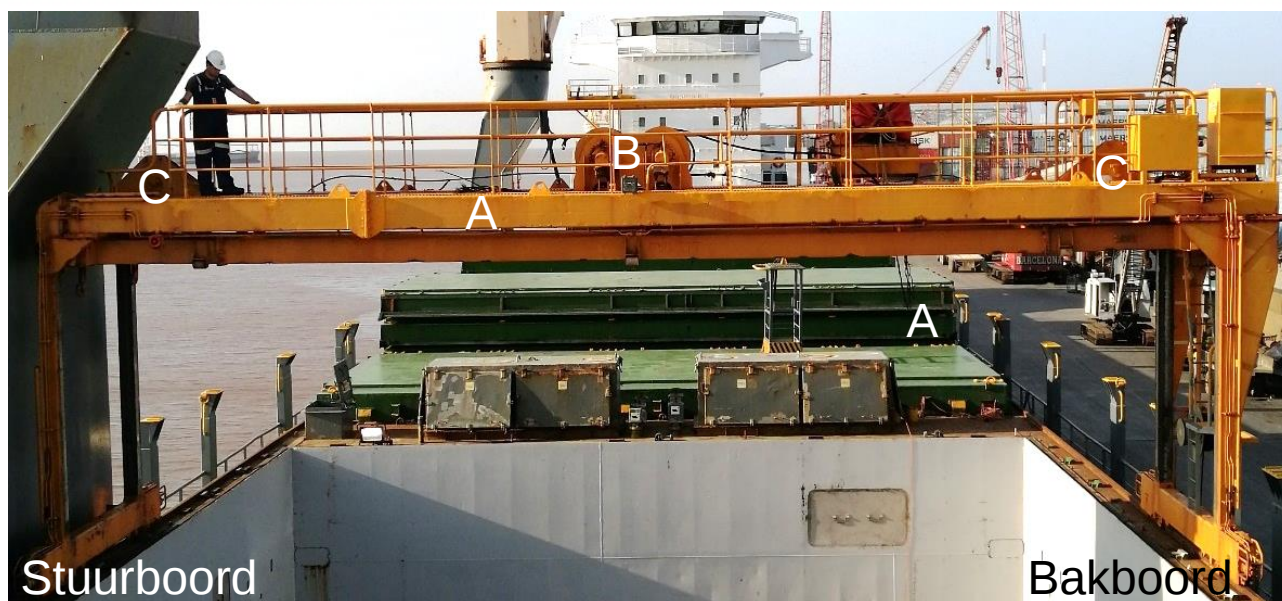
Auteur: ing. R. Engelsma
Consultant schadeonderzoek



Geautoriseerd door: dr.ir. J.P. van Houten IWE
Groepsleider Schadeonderzoek NL

i.o. A. Bank B Eng
Consultant schadeonderzoek





Figuur 1. De luikenwagen op het schip met de 2 gebroken kabels (A). De kabels liepen vanaf de lieren (B) over een wiel (C) naar het luik. (foto via NFI van de Politie ontvangen)



Figuur 2. De ontvangen delen voor onderzoek bevatte de staalkabels, wielen, hijstoebehoren en veiligheidsmiddelen.



Figuur 3. Het kabeldeel dat in het ruim was gevallen aan de bakboordzijde bevatte een aantal knikken (pijlen).



Figuur 4. Het gebroken uiteinde van de bakboord kabel in het ruim was nauwelijks ontrafeld.



Figuur 5. Een bruine plek was aanwezig op de bakboord kabel in het ruim op 3,8 meter van de breuk.



Figuur 6. Op 2,6 meter van de breuk waren een aantal losse draden waargenomen op de bakboord kabel in het ruim.



Figuur 7. De strengen waren over 1,5 meter ontrafeld van de bakboord kabel die aan de luikenwagen hingen.



Figuur 8. De bakboord kabel, luikenwagen zijde, bevatte nabij de breuk een wit/geel gekleurde kern.

Kabeldeel luikenwagen bakboord



Figuur 9. Op de schoongemaakte strengen zijn brede (A) en smalle (B) herhalende beschadigingen zichtbaar op de bakboord kabel uit de luikenwagen.

Kabeldeel luikenwagen bakboord



Figuur 10. De brede beschadigingen op de strengen hebben een versmeerd uiterlijk waarbij sommige draden zijn gebroken van de bakboord kabel aan de luikenwagen zijde.



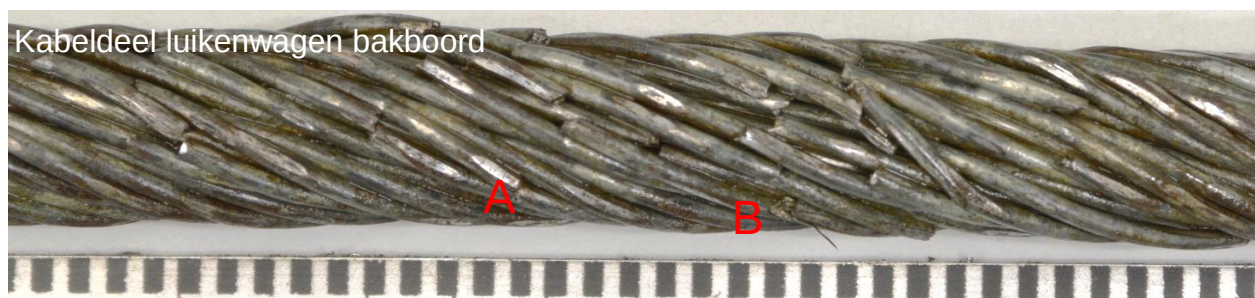
Figuur 11. De brede beschadigingen op de strengen van de bakboord kabel, luikenwagenzijde, hebben een haakse richting (pijlen) op de draden.



Figuur 12. De beschadigingen op de ruimzijde van de bakboord kabel was in een mindere mate aanwezig. Wel waren er veel putjes in de strengdraden aanwezig met een donkerbruine kleur van het oppervlak.



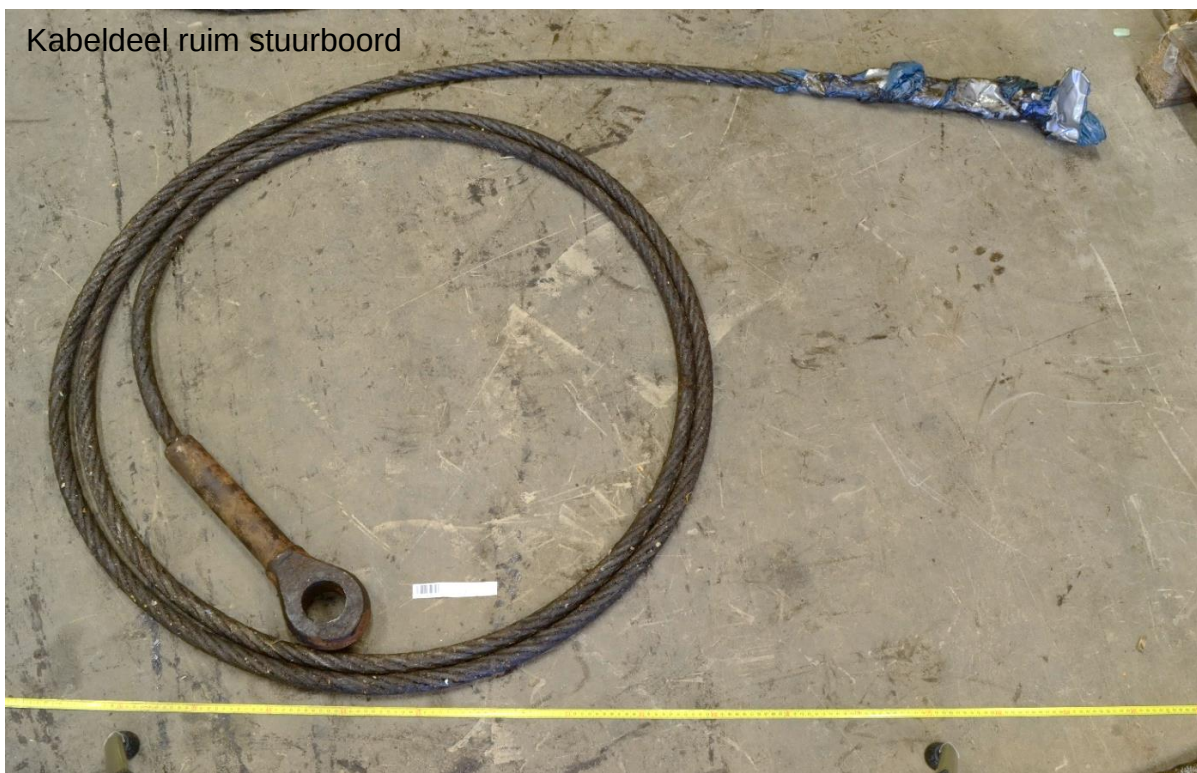
Figuur 13. Veel streng draden van de bakboord kabelbreuk zijn afgeplat voor deze gebroken zijn.



Figuur 14. Veel van de kerndraden van de bakboord kabel waren aan de luikenwagen en ruim zijde gebroken. Draad afvlakkingen (A) en donkerbruine plekken (B) zijn waargenomen.



Figuur 15. Er zijn scheurtjes (pijlen) haaks op de draad waargenomen nabij bruine vlekken op de kern draden van de bakboord kabel. Langwerpige afvlakkingen zijn aangegeven met pijlen.



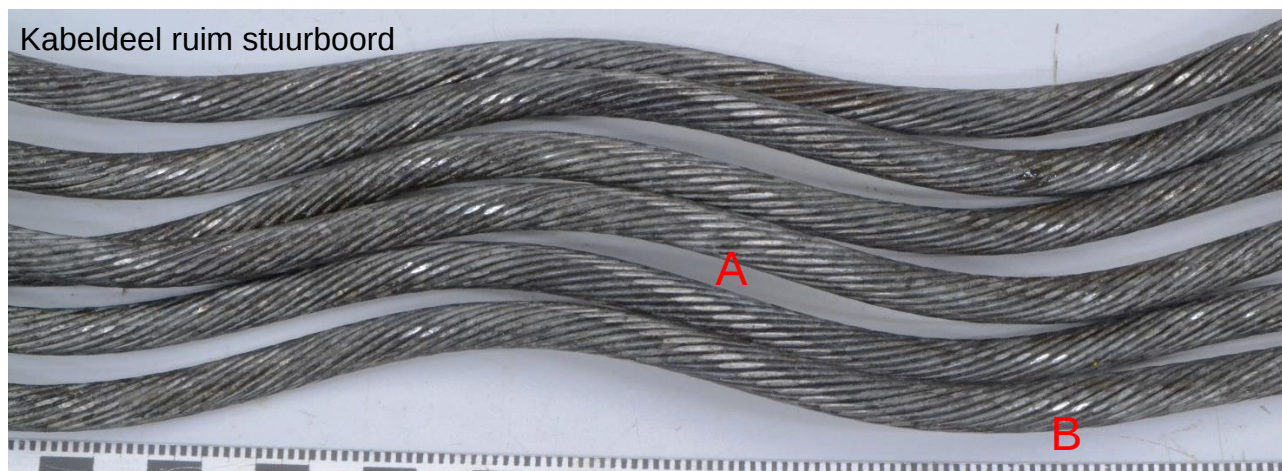
Figuur 16. Het kabeldeel dat in het ruim was gevallen aan de stuurboordzijde.



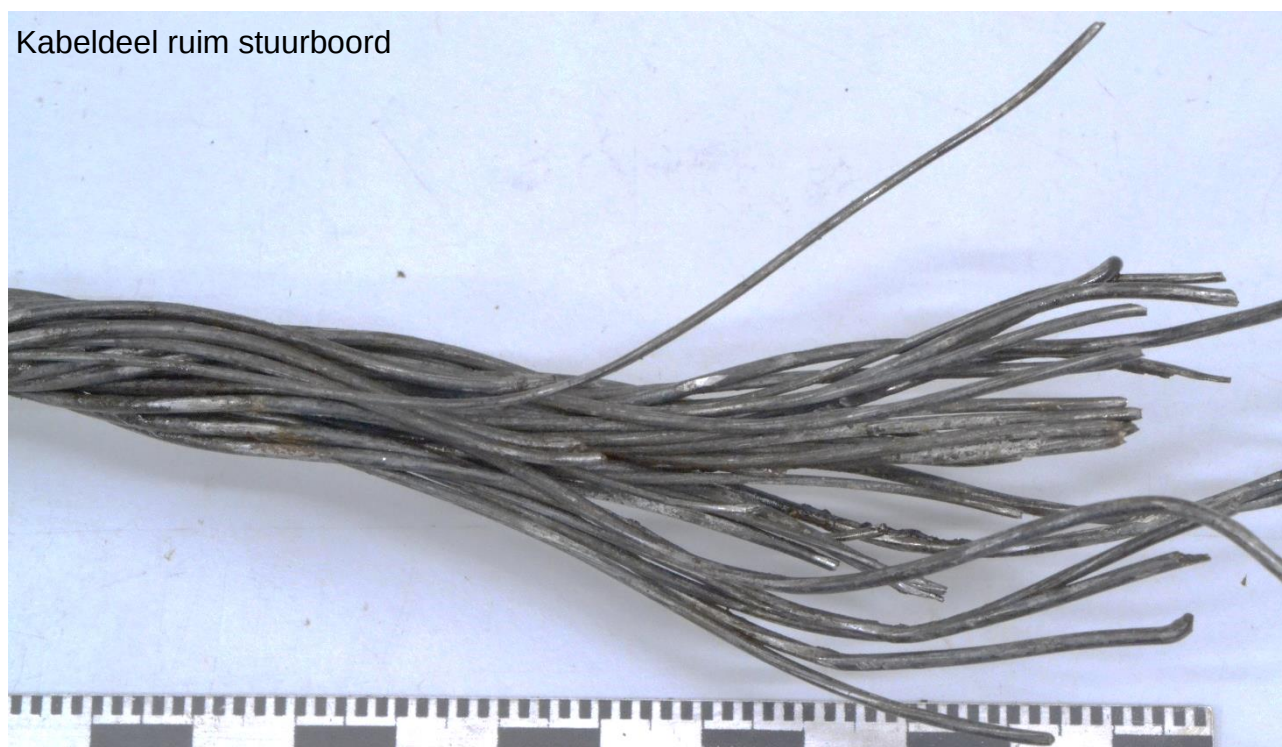
Figuur 17. Een wit/geel product was aanwezig in de strengen en op de kern van de stuurboord kabel nabij de breuk (ruimzijde).



Figuur 18. De draden van de stuurboord kabel, luikenwagenzijde, waren verder ontrafeld vergeleken met de bakboord kabel.



Figuur 19. Op de schoongemaakte strengen zijn brede (A) en smalle (B) herhalende beschadigingen zichtbaar op de stuurboord kabel, ruimzijde.



Figuur 20. De grijze draden van een streng van de stuurboord kabel, ruimzijde.

Kabeldeel ruim stuurboord



Figuur 21. Er waren veel putjes in de strengdraden van de stuurboord kabel, ruimzijde, aanwezig met een donkerbruine kleur van het oppervlak.

Kabeldeel ruim stuurboord



Figuur 22. De diameter van de meeste strengdraden van de stuurboord kabel nabij breuk is afgenomen, als gevolg van insnoering.

Kabeldeel ruim stuurboord



Figuur 23. De kern van de stuurboordkabel, ruimzijde, was voornamelijk donkergrijs met soms een oppervlak dat wit of bruin van kleur was.

Kabeldeel ruim stuurboord



Figuur 24. In een detail van de gecorrodeerde kerndraden van de stuurboord kabel zijn de bruine vlekken direct naast de witte vlekken aanwezig.

Wiel stuurboord



Wiel bakboord



Figuur 25. De wielen waren onevenredig bedekt met een teerachtig vet. Grote stukken van gecorrodeerd metaal lieten los van het stuurboord wiel. Van beide wielen was deze ongemarkeerde zijde het meest aangetast.

Wiel stuurboord



Wiel bakboord



Figuur 26. De wielen zijn ontdaan van het smeervet waarna een rode, witte en gele coating zichtbaar is geworden op de ongemarkeerde zijde (gegraveerd door Element).

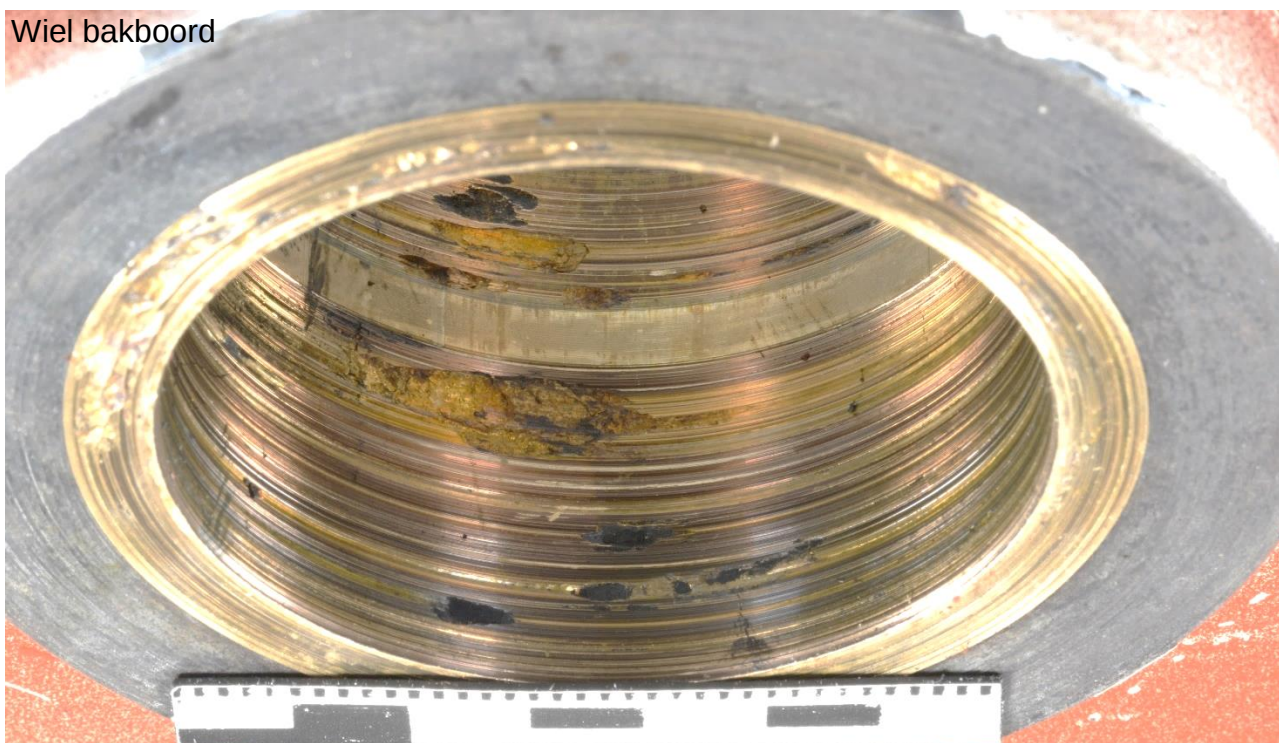
Wiel stuurboord

Wiel bakboord



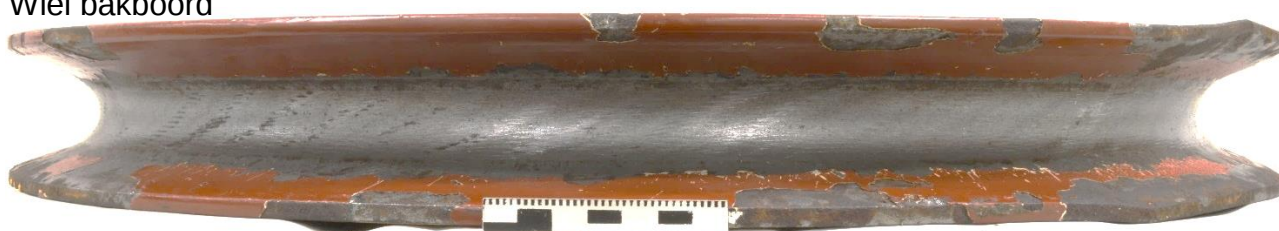
Figuur 27. De zijde met de ingeslagen markeringen van de wielen was enkel bij de wangen aangetast.

Wiel bakboord



Figuur 28. Stukjes van het glijlager materiaal zijn uitgebroken in het wiel van de bakboordzijde.

Wiel bakboord



Figuur 29. In het loopvlak van het bakboord wiel waren de afdrukken zichtbaar van de staalkabel.

Wiel bakboord



Figuur 30. De wang van het loopvlak is zwaar aangetast van het bakboord wiel aan de niet gegraveerde zijde.

Wiel bakboord



Figuur 31. Het materiaal is lokaal erg dun waardoor lokaal vervormingen en kleine gaten aanwezig zijn.

Wiel bakboord



Figuur 32. De gegraveerde zijde van het bakboord wiel was minder aangetast. Een kleine knik was in de wang aanwezig (pijl).

Wiel stuurboord



Figuur 33. De vorm van 3 kabelwindingen zijn in het loopvlak van het stuurboord wiel gecorrodeerd.

Wiel stuurboord

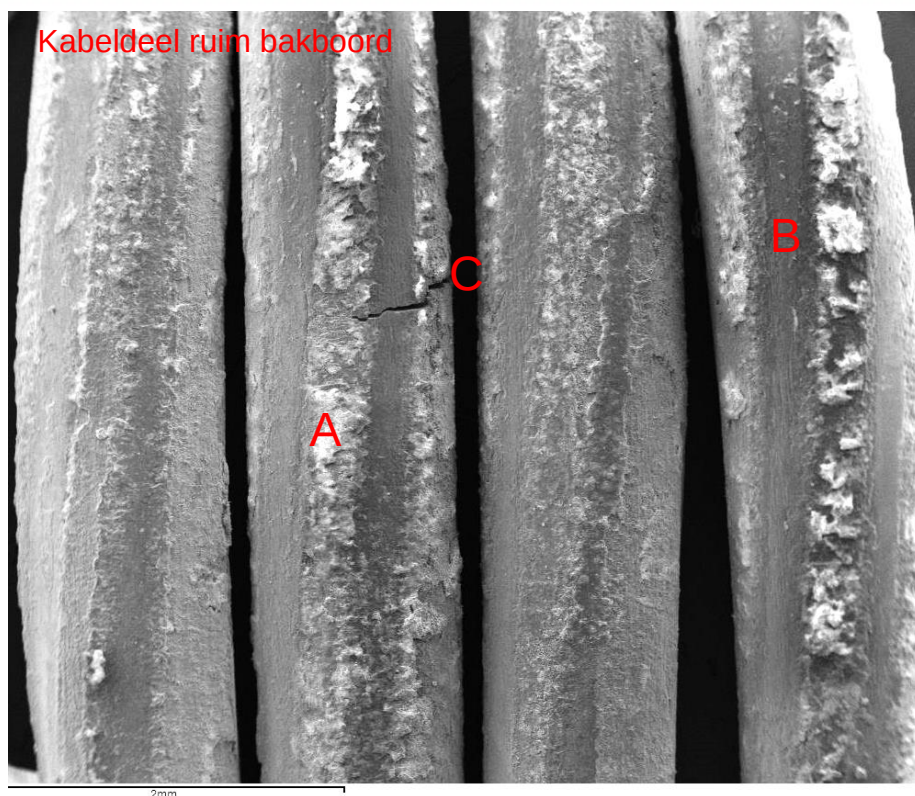


Figuur 34. Kleine indrukkingen (pijlen) in het loopvlak wijzen op gebruik van de kabel nadat al enkele draden gebroken waren.

Wiel stuurboord



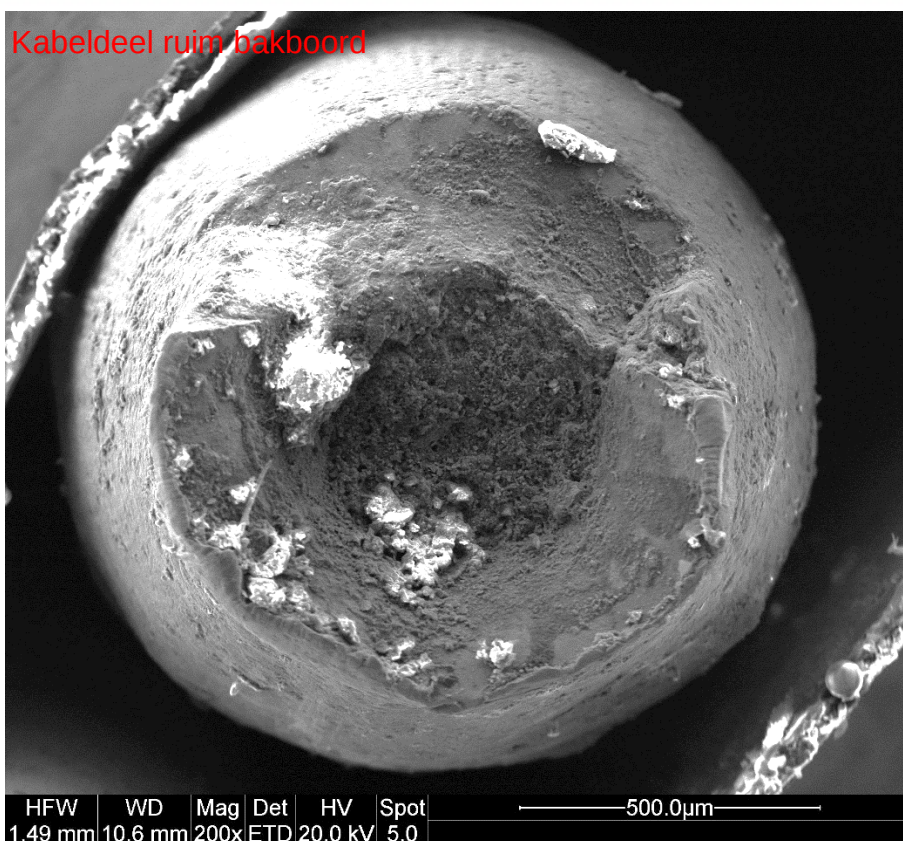
Figuur 35. De maximaal passende *cirkel* is in het loopvlak van het stuurboord wiel gemeten. In het loopvlak zijn 2 sporen (pijlen) waargenomen die de randen van het gebruikelijke loopvlak markeerden.



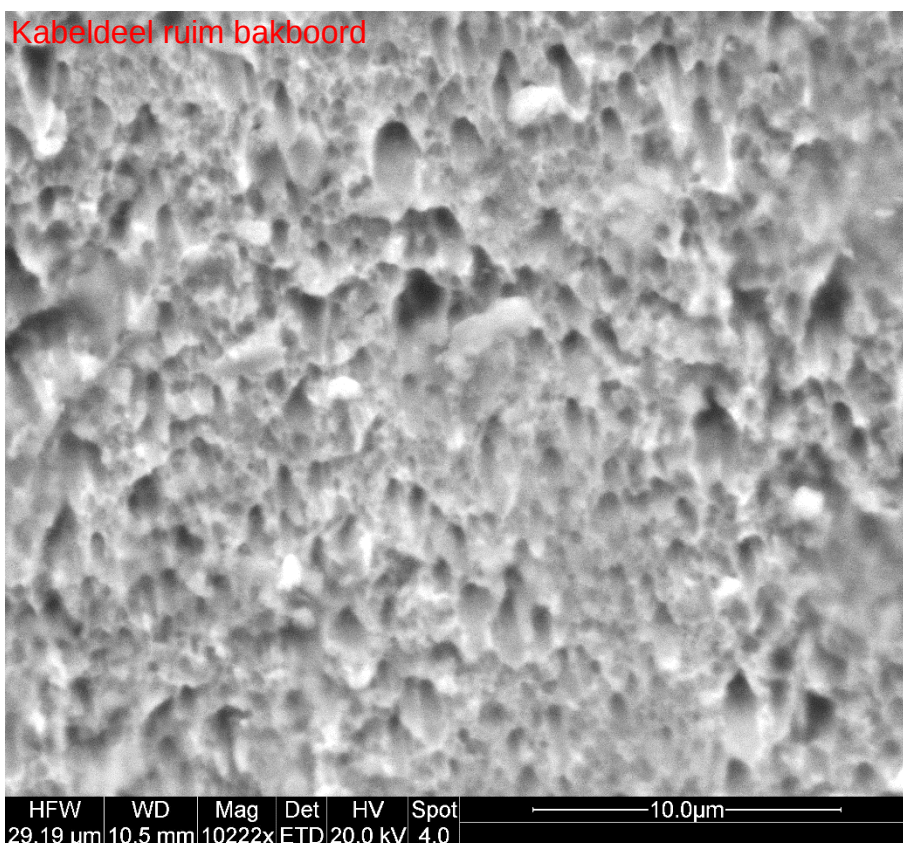
Figuur 36. De kerndraden van de bakboord kabel bevatten corrosieproducten (A) tussen de afvlakkingen (B) van de draden. Een aantal scheuren zijn in de draden waargenomen (C).



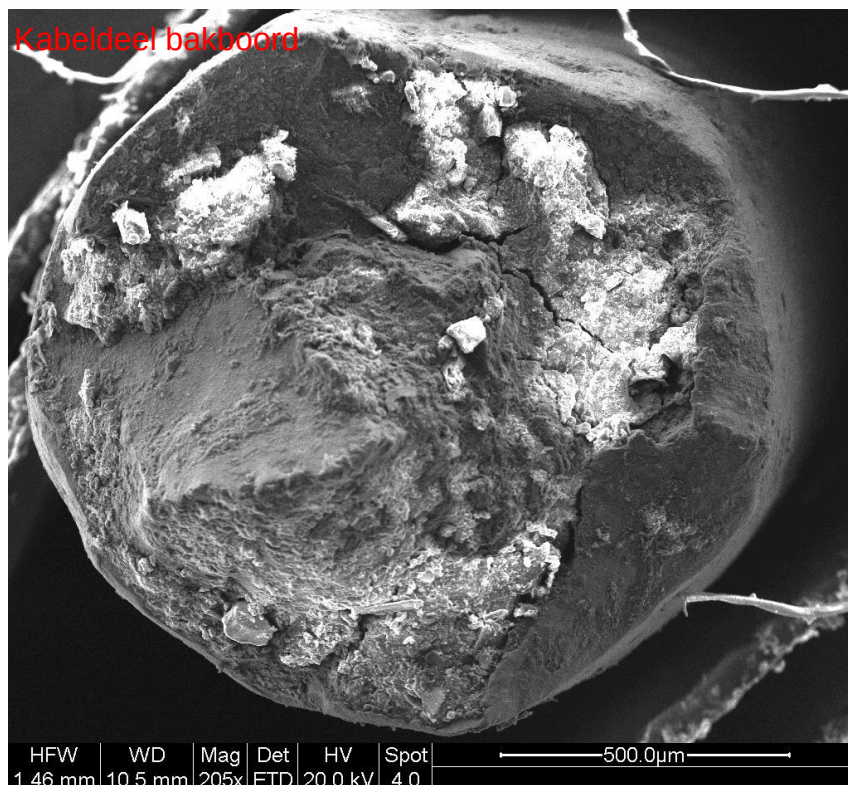
Figuur 37. Op de strengdraden van de bakboord kabel zijn scheuren in het gecorrodeerde oppervlak waargenomen.



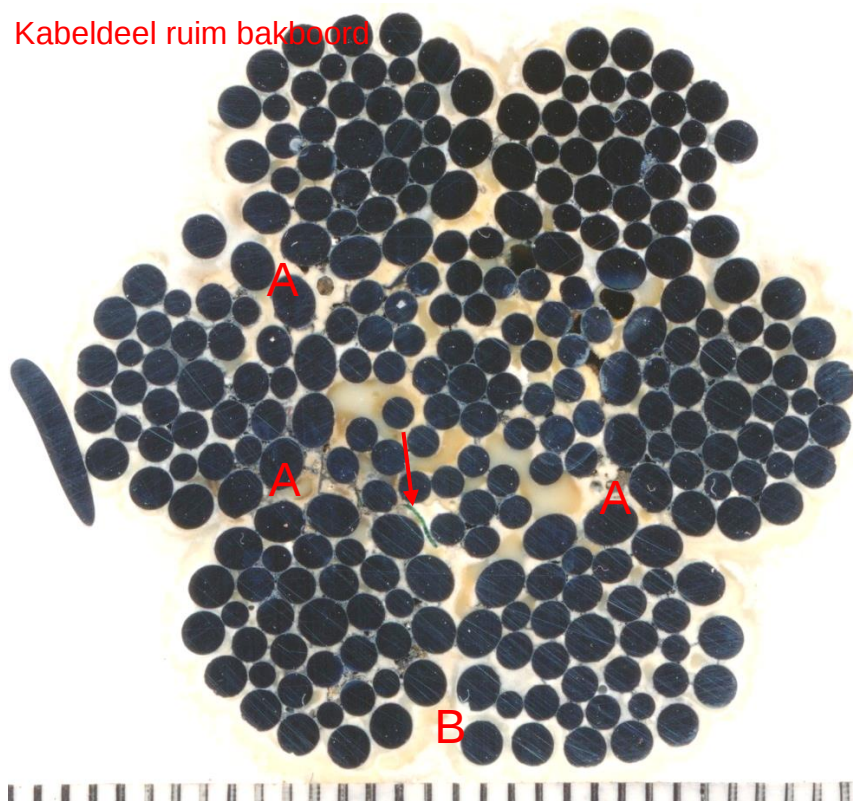
Figuur 38. Een strengdraad van een bakboord kabel was ingesnoerd en gebroken.



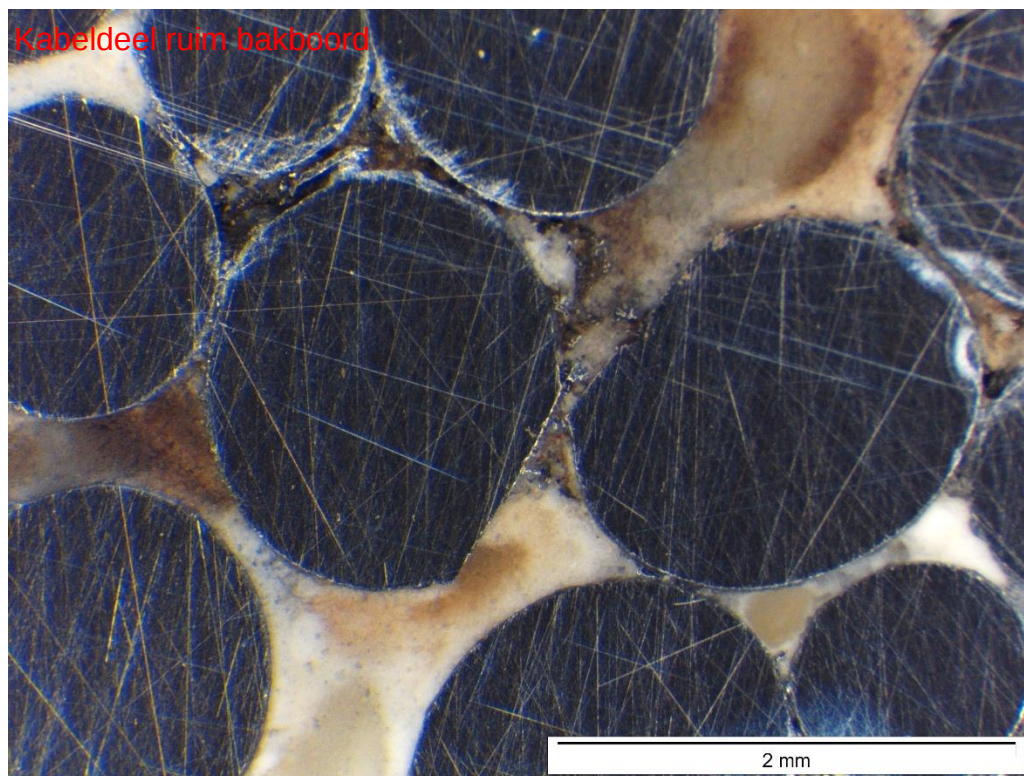
Figuur 39. Detail van figuur 38; kleine putjes, dimpels waren aanwezig op het breukvlak.



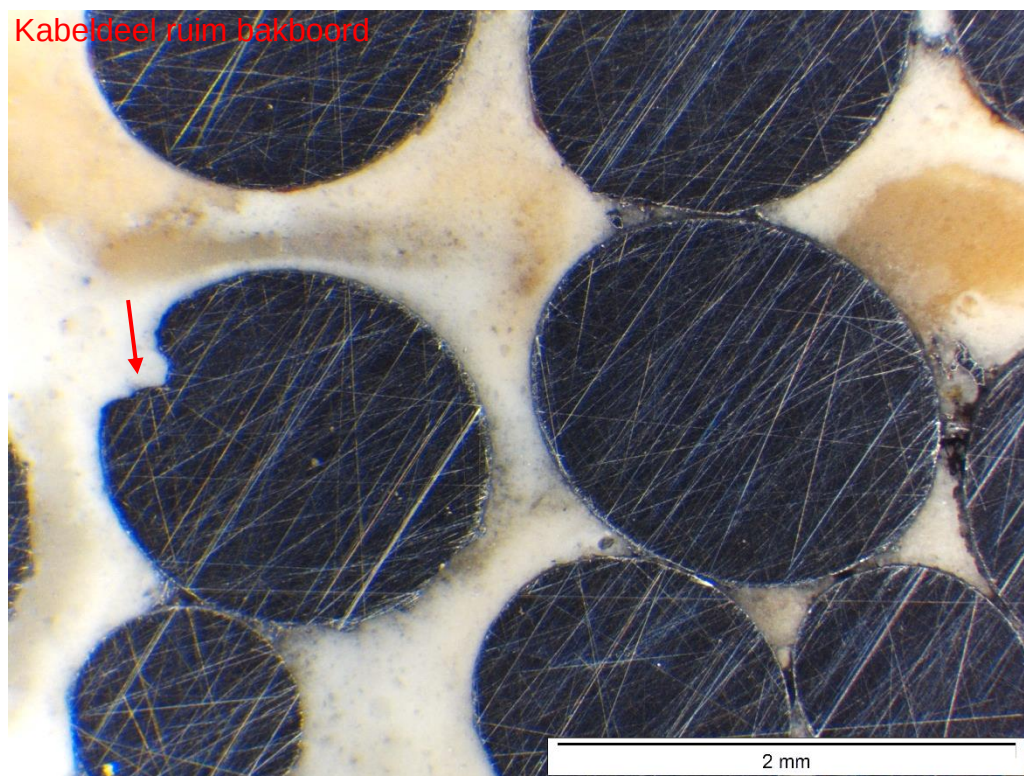
Figuur 40. Een breukvlak dat haaks op de draad staat van een strengdraad heeft geen waarneembare breukkenmerken meer door corrosie en versmering.



Figuur 41. Een doorsnede van de bakboord kabel die in het ruim gevallen was op 3,8 meter van de breuk. Het groene lint met de markering was tussen de strengen en de kern aanwezig (pijl).

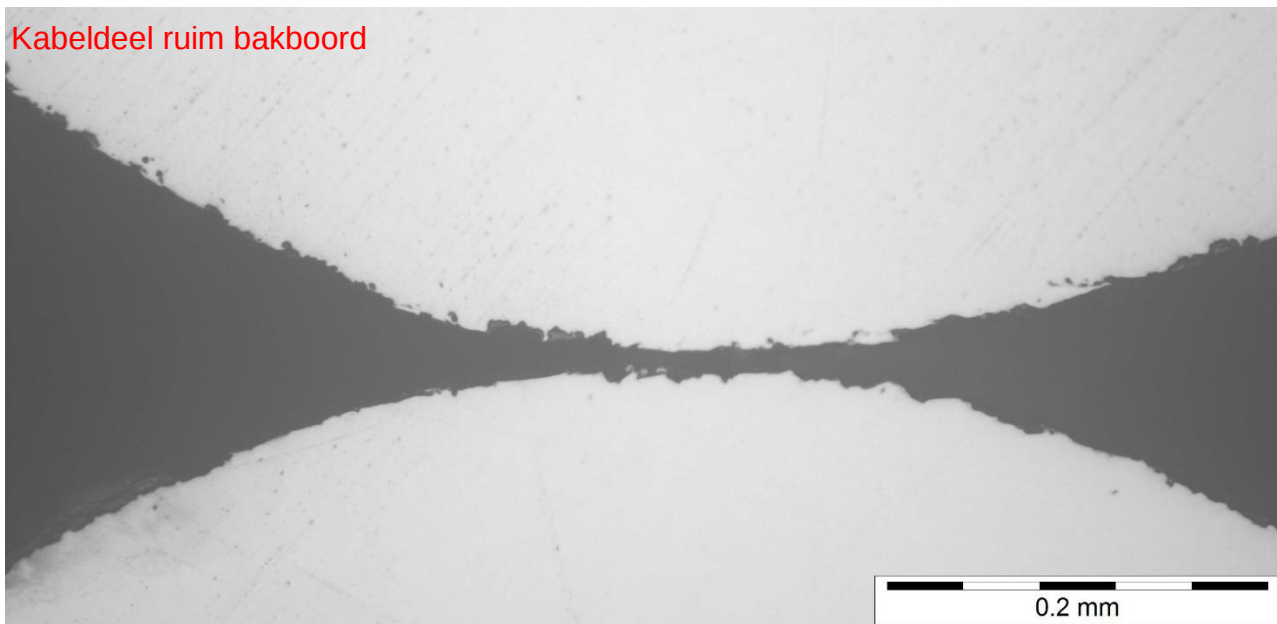


Figuur 42. In detail A van figuur 41 zijn afgevlakte draden in het raakvlak tussen 2 strengen waargenomen.



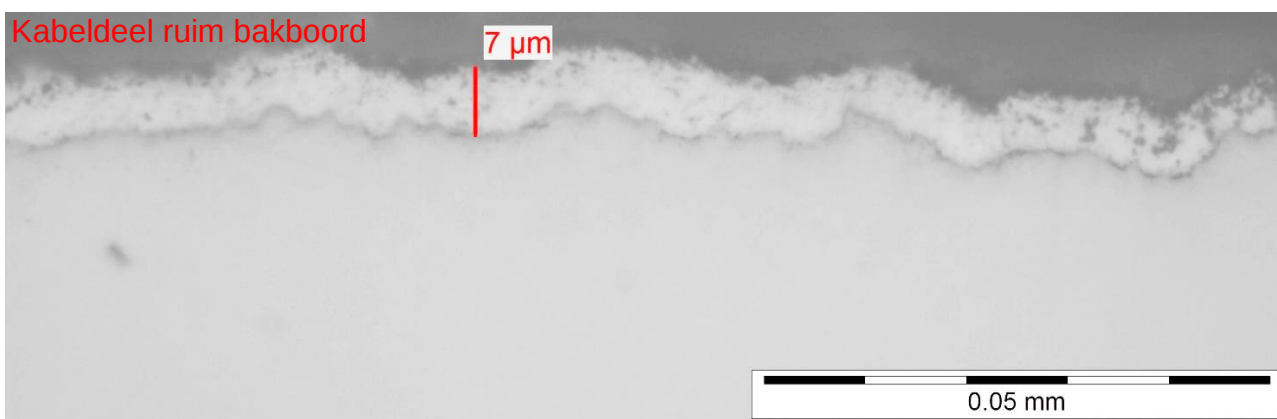
Figuur 43. Detail B figuur 41; een gecorrodeerde draad (pijl) was aanwezig aan de rand van een streng.

Kabeldeel ruim bakboord



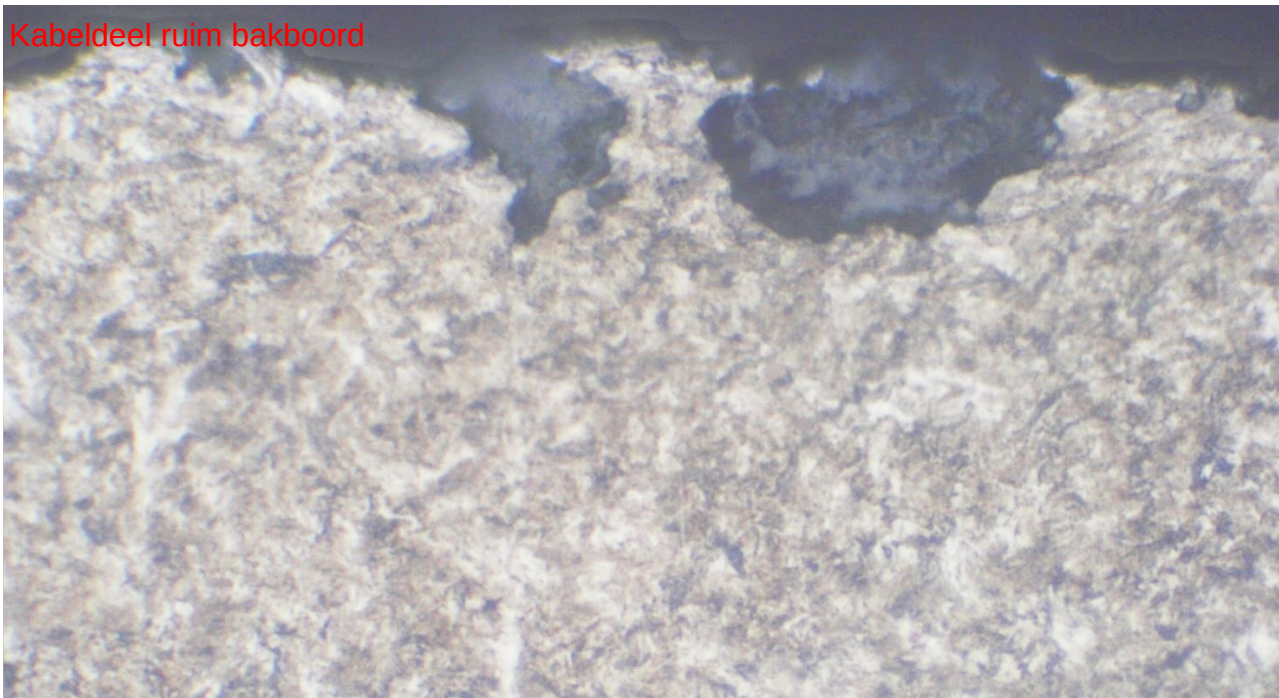
Figuur 44. Doorsnede bakboord kabel; de strengen van de bakboord kabel waren aangetast en een zinklaag was op de meeste oppervlakken niet aanwezig.

Kabeldeel ruim bakboord



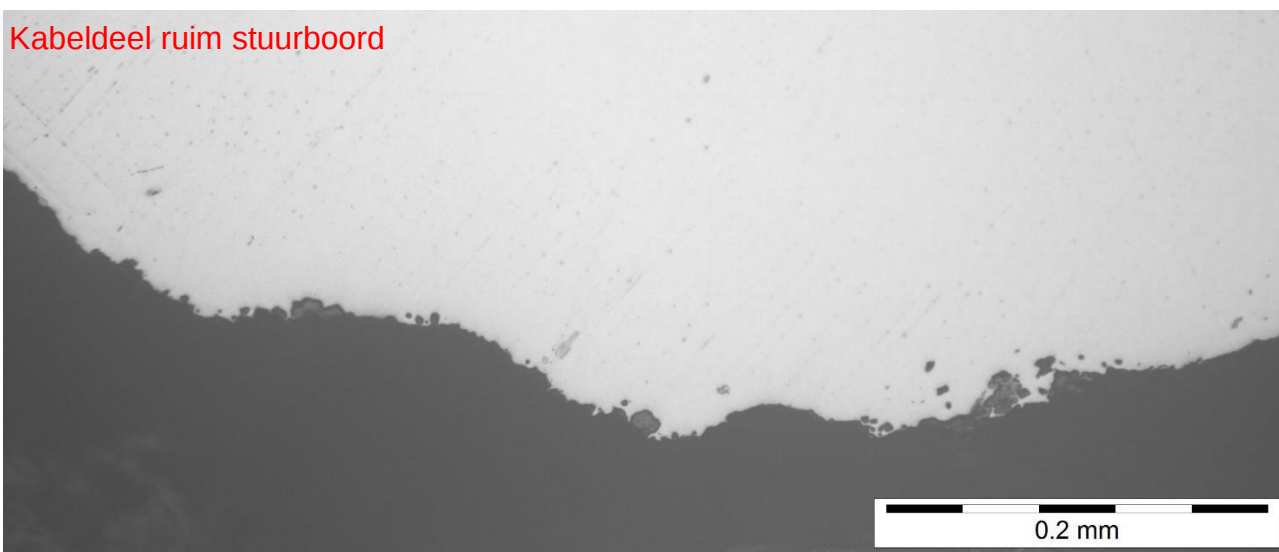
Figuur 45. Doorsnede bakboord kabel; de zinklaag was erg dun op de plekken waar deze nog aanwezig was in de doorsnede.

Kabeldeel ruim bakboord



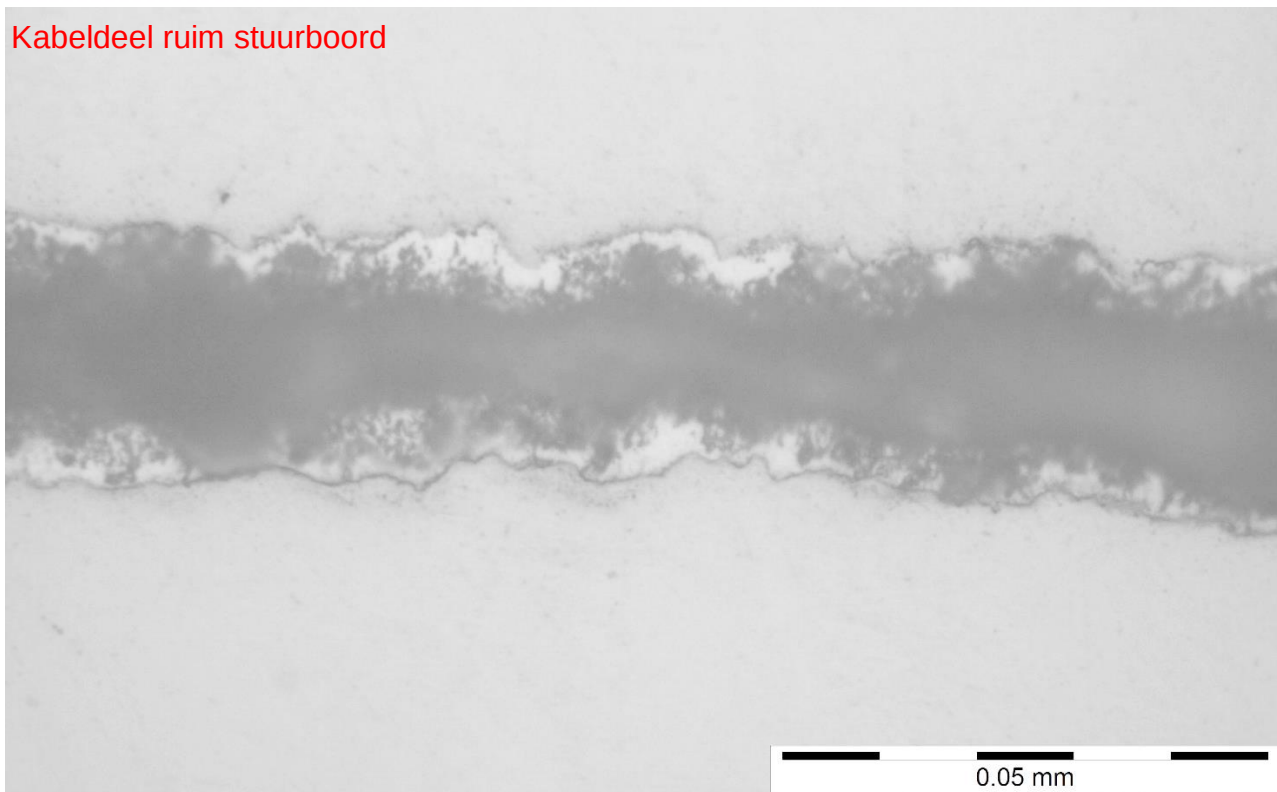
Figuur 46. Doorsnede bakboord kabel; een algemene aantasting van het oppervlak heeft putjes in de ontlaten martensitische microstructuur achtergelaten.

Kabeldeel ruim stuurboord



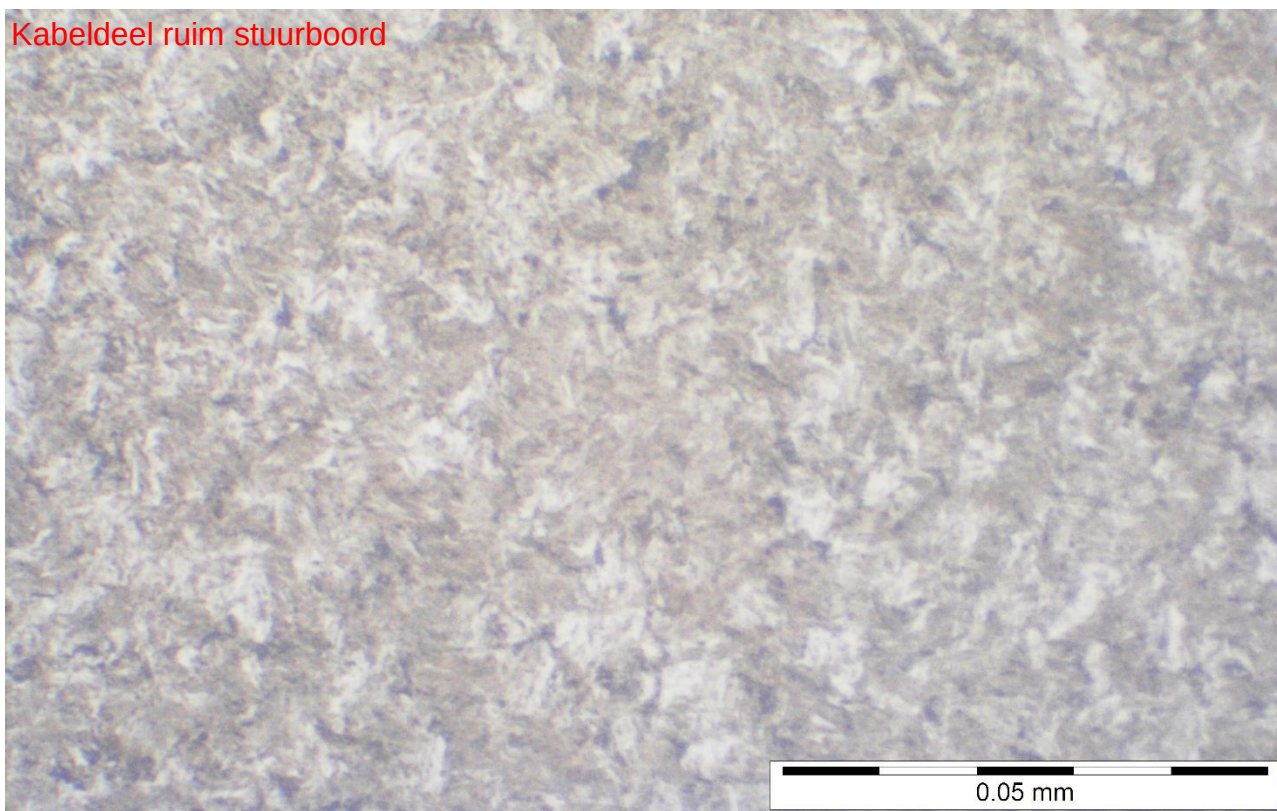
Figuur 47. In de doorsnede van een draad nabij de breuk van de stuurboord kabel is putvormige aantasting waargenomen.

Kabeldeel ruim stuurboord



Figuur 48. Doorsnede stuurboord kabel; de zinklaag tussen 2 strengdraden is aangetast en geeft nog een minimale galvanische bescherming voor het onderliggende staal.

Kabeldeel ruim stuurboord



Figuur 49. De microstructuur in de kern van de stuurboord draden was een ontlaten martensiet.