Element Materials Technology
Voorerf 18-20
4824 GN Breda
NL

info.breda@element.com
element.com

P: +31 (0) 76 542 4300

Bank: ABN AMRO, Amsterdam
Account No: NL74ABNA0529117738
Sort Code: ABNANL2A
VAT No: NL805695333B01
Company Reg: 24170257

RAPPORT

(KORTE) INSPECTIE VAN DE RVS BASSINWANDEN IN HET OVERDEKTE ZWEMBAD DE WATERLINIE TE CULEMBORG - INCLUSIEF (BEPERKT) DESTRUCTIEF VERVOLGONDERZOEK

© Auteursrecht Element Materials Technology Rotterdam B.V. Alle rechten voorbehouden.

Dit rapport (inclusief eventuele bijlagen en bijlagen) is opgesteld voor het exclusieve gebruik en ten behoeve van de geadresseerde(n) en uitsluitend voor het doel en onder de voorwaarden van het contract waarvoor het is verstrekt. Behoudens uitdrukkelijke voorafgaande schriftelijke toestemming mag geen enkel deel van dit rapport worden gereproduceerd, verspreid, gecommuniceerd, gebruikt of ingeroepen door derden. Wij aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid, plicht of verantwoordelijkheid (contractueel, uit onrechtmatige daad (inclusief nalatigheid) of anderszins) jegens enige andere persoon dan de met name genoemde geadresseerde(n) van dit rapport. De inhoud van dit rapport mag niet worden gebruikt in enig ander document, circulaire of verklaring of worden gebruikt in een rechtszaak zonder onze voorafgaande schriftelijke toestemming.

Opdrachtgever	: IV-Consult B.V.
Ref. opdrachtgever	: COPA220313-SZC-RVS onderzoek Zwembad de Waterlinie
Element Project	: ERO039711P
Rapportnummer	: ERO039711 Rev. 0
Onderzoeksperiode	: 16 februari - 24 februari, 2023
Datum rapport	: 01 maart, 2023
Datum revisie	:
Onderzoeker/Auteur	: [redacted]
Classificatie	: ---
Verdeling	: IV-Consult B.V. [redacted] (pdf)
	: Element, archief (pdf)

TESTING RvA L 063 Element Breda is een handelsnaam van Element Materials Technology Rotterdam B.V. Tenzij nadrukkelijk anders is overeengekomen, zijn op al onze aanbiedingen en overeenkomsten de "Algemene voor uitvoering van werkzaamhedendoor Element Materials Technology Rotterdam b.v.", van toepassing.

1 Introductie en achtergrondinformatie

De roestvast stalen (rvs) bassinwanden van binnenzwembad ‘De Waterlinie’ te Culemborg vertoonde aan de zijde van de technische ruimte aantasting door corrosie.

De volgende informatie is door IV-Consult B.V. (“IV-Consult”), in opdracht van de beheerder van het zwembad, aangeleverd aan Element Materials Technology Rotterdam B.V. (“Element”, locatie Breda):

Zwembad De Waterlinie betreft één enkel bassin met een lengte van ca. 25 meter en een breedte van ca. 22 meter en is in 2014 nieuw opgeleverd. De vloer van het bassin is gemaakt van gewapend beton. Dit geldt ook voor de onderste helft van de bassinwanden. Het bovenste deel van de bassinwanden is echter gemaakt van roestvast staal (rvs) en deze is op de betonnen bassinwand-delen bevestigd middels chemische ankers. Rondom het gehele bassin is een technische ruimte aanwezig met als plafond de vloer waarop het publiek toegang heeft tot het bassin. De waterzijde van de rvs-bassinwanden is bedekt met een waterdichte folie. Terzijde van de technische ruimte is het rvs onbedekt, juist aan deze zijde is enige aantasting (corrosie, roest) van het rvs opgetreden. Ten behoeve van desinfectie wordt er chloor gedoseerd aan het zwembadwater. Het chloor (opgelost Cl_2 bijvoorbeeld in de vorm van actieve chloorverbindingen waaronder natriumhypochloriet NaOCl en hypochloorzuur HOCl) wordt verkregen door elektrolyse van een waterige oplossing van zuiver natriumchloride (NaCl).

Volgens Artikel 5.12 zwembaden (ingevoegd bij wijziging in 2016 met betrekking tot de veiligheid van zwembaden) van de Regeling Bouwbesluit 2012 is het gebruik van ‘niet-resistent’ roestvast staal niet toegestaan in een ‘zwembadomgeving’, het gaat daarbij om dragende constructies in het gebied direct rondom en ook boven het bassin (gebied A). De reden hiertoe is dat het gebruik van bepaalde typen rvs in zwembaden in het verleden tot plotseling bezwijken van constructieve elementen heeft geleid waarbij slachtoffers zijn gevallen of hadden kunnen vallen. Specifiek gaat het hier om scheurvorming in austenitisch rvs door chloride spanningscorrosie (Cl-SCC), waarbij eventueel bezwijken kan optreden zonder dat zich dit visueel aankondigt. De hiervoor benodigde condities betreffen een voldoende hoge temperatuur, austenitisch rvs in contact met een vochtig milieu met voldoende hoog chloridengehalte (allen aanwezig in een zogenoemde ‘zwembadomgeving’), en trekspanningen in het rvs (vrijwel altijd lokaal aanwezig, al dan niet als residuele spanningen). De in het bouwbesluit benoemde wél toegestane rvs typen betreffen enkel de materiaal typen 1.4529, 1.4547 en 1.4565. Deze rvs soorten staan ook (onder andere) vermeld in NEN-EN 1993-1-4 (Eurocode 3, design of steel structures) voor mogelijke toepassing onder zwembadcondities, het betreft allen hoog gelegeerde austenitische CrNiMo roestvast stalen die gezien hun relatief hoge nikkelgehalte (Ni) in behoorlijke mate bestand zijn tegen Cl-SCC (maar niet immuun, zie de discussie).

Element is gevraagd om op locatie een korte opname te maken van de corrosieschade aan de bassinwanden en op basis van een steekproef te bepalen welke typen rvs gebruikt zijn. Element is tevens gevraagd een 6-tal in de bassin-wand gebruikte en representatieve door corrosie aangetaste bouten uit te wisselen. Om te bepalen welke typen corrosie (waaronder mogelijk Cl-SCC) zijn opgetreden en wat de mate van aantasting is, zijn de uitgehaalde bouten meegenomen voor onderzoek naar het laboratorium van Element te Breda. Element is verzocht het onderzoek in eerste instantie te beperken tot visueel, macroscopisch en beperkt microscopisch onderzoek.

2 Uitgevoerd onderzoek

De bassinwand is op locatie visueel onderzocht. Positieve materiaal identificatie (PMI) van de verschillende gebruikte rvs wand-elementen van één enkel vak is uitgevoerd middels röntgenfluorescentieanalyse (XRF). Van aangetroffen corrosieproducten en zoutafzettingen zijn samples genomen voor eventuele verdere analyse in het laboratorium mocht hier in een later stadium om gevraagd worden. Op verscheidene posities zijn door Element bouten gedemonteerd en meegenomen voor onderzoek in het laboratorium.
In het laboratorium zijn de bemonsterde bouten visueel en stereomicroscopisch onderzocht. Van een 6-tal bouten zijn doorsneden gemaakt en geprepareerd voor macro- en microscopisch onderzoek.

3 Resultaten en discussie

3.1 Onderzoek op locatie (Zwembad de Waterlinie – Culemborg)

3.1.1. Algemene beschrijving technische ruimte opbouw wandelement:

De technische ruimte betrof een brede strook (variërend tussen ca 1 en 3.5 meter) rondom het bassin met toegang tot de vier bassinwanden. De vier bassinwanden zijn door Element benoemd met wand A, B, C en D. Zie bijlage 1 voor de door Element gemaakte indeling ter oriëntatie. Eén van de lange zijden (zijde D) was enkel ingericht als loopruimte. In de andere lange zijde, evenals in de twee korte zijden, waren daarnaast ook installaties aanwezig voor onder andere zuivering, desinfectie, en opslag (buffering) van bassinwater. Tevens was er aan zijde C opslag van de drijvende zwembaan-markeringen welke na gebruik in principe ‘nat’ in een niet afgesloten bak worden opgevangen.
Het klimaat in de technische ruimte voelde zeer warm en vochtig aan (er zijn geen metingen gedaan). Er was tevens een duidelijke ‘zwembadlucht’ (chloor) aanwezig.

De onderste 1,5 meter van de bassinwanden was opgetrokken uit beton. Op deze betonnen wanddelen waren rvs-wanddelen gemonteerd opgebouwd uit verschillende aan elkaar gekoppelde vakken. (De totale hoogte van de wanden inclusief beton was ca. 3 meter. De wanden van de twee lange zijden (zijde B en D) waren ieder opgebouwd uit 30 vakken, de wanden van de kortere zijden (A en C) waren ieder opgebouwd uit 26 vakken. Deze vakken zijn door Element als zodanig genummerd, zie bijlage 1.
Zie figuur 1.

Hoewel de breedte van de vakken niet overal gelijk was, was de opbouw per vak in grote lijnen steeds hetzelfde. Hieronder volgt een beschrijving van de opbouw van vak D-30, een vak dat qua opbouw representatief was voor de meeste andere vakken. Hoewel verre van volledig geeft de beschrijving het benodigde inzicht van de bij herhaling toegepaste constructieve details en de daar uit voortkomende risico’s op corrosie. In dit rapport wordt op deze details nader ingegaan. Zie figuren 1 t/m 5 voor details.
De hieronder gemelde types rvs (de AISI nummercode) zijn met XRF analyse (zie sectie 3.1.2 PMI) vastgesteld.

Op de betonnen wand was een U-profiel (t ~2 mm) van type 446 ferritisch rvs gemonteerd met de rug naar de waterzijde. Hierop was een dunne wandplaat (t ~2 mm) van type 446 ferritisch rvs gemonteerd. Deze wandplaat had aan de onderzijde een haakse zet-rand richting technische zijde, welke op de bovenzijde van het U-profiel aansloot. De twee lagen (U-profiel en zet-rand wandplaat) waren op regelmatige afstanden met boutverbindingen van type 304 austenitisch rvs tegen elkaar geklemd (waarbij in sommige vakken de rvs bouten ter verankering door liepen tot in de betonnen vloer – dit gecombineerd met een kleine schuine schoor). Zie figuur 2.
Op ongeveer 0,5 meter hoogte ten opzichte van het betonnen wanddeel, was een horizontale uitsparing aanwezig richting de technische ruimte: een loopgoot voor de zwembadgangers. Deze was aan beide lange zijden B en D over de volle lengte aanwezig. De hierboven beschreven onderste wandplaat liep hier middels een overlapverbinding over in een bovenste wandplaat (type 430 ferritisch rvs) welke geheel doorliep tot aan het plafond. De twee boven elkaar geplaatste wandplaten vormden de feitelijk afscheiding met het bassin. De

korte zijden A en C waren niet uitgerust met een loopgoot, hier bestond de wand uit één enkele plaat welke vanaf het U-profiel geheel doorliep tot aan het plafond (figuur 1).

De opgaande randen van de wandplaat waren eveneens voorzien van een haakse (verticale) zet-rand richting technische ruimte. De verticale zetranden van twee belendende vakken waren vervolgens, samen met een zware verticale verstevigingsplaat (t~5 mm) van type 446 ferritisch rvs, met regelmatig gepositioneerde rvs boutverbindingen (304) tegen elkaar geklemd. Zie figuur e.g. 3.
De folie welke aan de bassinzijde op de wandplaat geplakt was liep door over de zet-rand aan zowel de onderzijde als de twee verticale zijden met als resultaat een afdichting door samendrukking van twee delen folie (geholpen door een afvullende 'kitnaad' aan de bassinzijde). In de technische ruimte was deze folie steeds zichtbaar op de kopse kanten van de zetranden. Tussen het U-profiel en de onderste zet-rand van de wandplaat was eveneens folie zichtbaar. Het was echter niet goed zichtbaar of er een tweede laag aanwezig was van het U-profiel. Een detaillering van de afdichting vanaf de bassinbodem-zijde naar de wand was niet beschikbaar.
In de loopvloer van de zwembadgangers naar het bassin toe (vanuit de technische ruimte gezien het plafond) liep kort langs de rand van het zwembad een overloopgoot voor zwembadwater, afgedekt met roosters. Deze goot van type 430 ferritisch rvs was vanuit de technische ruimte van onderaf zichtbaar en was opgebouwd uit een gezette plaat (t ~ 2 mm) met daarop weer de folie aan de waterzijde. De overloopgoot was met een overlapverbinding op de bovenste zet-rand van de wandplaat (rvs 430) geklemd met boutverbindingen (rvs 304). Ieder gootdeel eindigde met zet-randen die met boutverbindingen aan de zet-randen van het belendede gootdeel geklemd zat (met daartussen weer twee lagen folie opeengeklemd).

Tussen de 'verticalen' aan weerszijden van ieder vak (opgebouwd uit zetranden van de wandplaten en de verstevigingsplaat), waren meerdere horizontale liggers van type 446 ferritisch rvs gemonteerd met behulp van boutverbindingen (type 304). De liggers bestonden uit twee mm dik plaatmateriaal met rondom zetranden. (De zetranden aan de kopse zijden waren voorzien van boutgaten.) Eén zet-rand van iedere ligger aan de lange zijde zat tegen de wandplaat aan en ondersteunde deze tegen de zijwaartse waterdruk vanuit het bassin. Deze liggers hadden dus geen directe functie in waterdichting. Zie e.g. figuur 4.
Net iets onder de loopgoot waren schoren van type 446 ferritisch rvs op de 'verticalen' geplaatst die - de technische ruimte in lopend - in de betonnen vloer waren verankerd (chemisch). Al deze constructieve elementen waren middels boutverbindingen van type 304 austenitisch rvs aan elkaar verbonden. Zie e.g. figuur 3.

Aan de onderzijde was iedere 'verticaal' middels een vijftal M16 bouten bevestigd aan een voetstuk. Dit voetstuk was samengesteld uit meerdere plaatdelen welke verbonden waren door middel van lassen. Het voetstuk was met 2 draadeinden in het beton verankerd (chemisch). Het gehele voetstuk was gemaakt van type 304 austenitisch rvs. De M16 bouten evenals de draadeinden waren eveneens van type 304 austenitisch rvs. Zie figuur 5.

De met folie beplakte onderdelen van de wand (en plafond) zijn weliswaar loskoppelbaar maar kunnen in principe niet vervangen worden zonder het bassin lek te maken. Indien toch nodig moet het bassin geheel leeggepompt worden en zullen de afdichtingen aan de waterzijde herstelt moeten worden. De overige delen dienen een louter constructief doel en kunnen in theorie deel voor deel vervangen worden (afgezien van kans op ontwrichting).

3.1.2. Positieve materiaal identificatie (PMI):
In vak D-30 is positieve materiaal identificatie (PMI) middels röntgenfluorescentieanalyse (XRF) uitgevoerd op alle individuele (metallische) wand-elementen. Hieruit bleek dat alle bouten, moeren en carrosserie-ringen, evenals de ankerbouten in het beton van een austenitisch rvs-materiaal type 304(L[1]) waren. Dit komt overeen met de aanduiding op de koppen van de bouten: “A2 – 70”, waarbij de 70 een standaard sterkteklasse aanduidt (treksterkte~700MPa). Ook de voetstukken onder de verticale verstevigingsribben waren gemaakt van een rvs-materiaal type 304(L). De bovenste wandplaat en de geprofileerde overloopgoot waren van ferritisch rvs type 430. Alle overige wand-elementen (inclusief de schuine schoren) waren van ferritisch rvs type 446.
De andere vakken zijn niet gecontroleerd.

3.1.3. Beschrijving conditie van de wand:
De 446/430 wandplaten waren in de meest vakken aan de technische ruimte zijde bedekt met een dunne transparante plastic folie (vermoedelijk vanuit de fabriek, aangebracht ter bescherming tijdens transport en installatie).

Een beperkt deel van de wandelementen was bedekt met een dunne film van een of ander tectylachtig bruin-transparant product. Op eerder gecorrodeerde bouten toonden dit product enigszins zwart. Dit product is aldus IV-Consult in het verleden ter conservering aangebracht nadat men in een eerdere poging heeft geprobeerd toen reeds aanwezige roestvorming weg te halen (er waren hier en daar nog slijp-/polijstsporen zichtbaar). Dit conserveringsmiddel leek enigszins willekeurig en met weinig oog voor detail aangebracht.

De loopvloer van de zwembadgangers naar het bassin was, op het laatste stuk na, gemaakt van beton. Naast de rvs 430 overloopgoot lag verzonken in het beton een kleinere afvoergoot rondom het gehele bassin om ‘vuil’ water vanaf de loopvloer af te voeren naar het riool. De doorvoeren hiervan waren uitgevoerd in standaard PVC pijpen en liepen verticaal door het beton om uit het ‘plafond’ van de technische ruimte naar beneden te komen. Vanuit verschillende van deze doorvoerposities waren leksporen zichtbaar van geel/wit product. Op de laagste punten vormden deze leksporen hier en daar stalactieten. In het verlengde van deze stalactieten waren op het onderliggende materiaal ophopingen van product en spatresten zichtbaar. Soortgelijke lekkages waren zichtbaar bij de doorvoerposities van de rvs-overloopgoot op de eveneens PVC afvoerpijpen. Ook op de overlapnaad tussen het U-profiel en de wandplaat waren in verschillende vakken leksporen met zoutafzettingen zichtbaar. Op de korte zijde C rondom vak 15 lag zelfs een ruime waterfilm op het onderliggende beton, zeer waarschijnlijk - gezien de significante hoeveelheid zoutafzettingen en corrosieproduct rondom de overlapnaad - afkomstig uit deze naad. Zie figuur 6.

De zoutafzettingen lieten zich vrij eenvoudig verwijderen waaronder veelal een metallische ogend, visueel nog intact oppervlak tevoorschijn kwam. Er kon niet worden vastgesteld of de lekposities allemaal nog ‘actief’ waren.

Op de lager gelegene delen van de rvs-wanden en met name op en rond het U-profiel toonden zich afzettingen van zouten vermengt met roestkleurig product (niet te verwarren met het bruinige conserveringsproduct wat eveneens hier en daar aanwezig was). Zie e.g. figuur 7 en 10. Na voorzichtig wegkrabben toonde het onderliggende materiaal op het oog oppervlakkig aangetast maar zonder zichtbare significante wanddikteafname. Dit was op vele posities in het merendeel van de vakken het geval en betrof visueel het grootste deel van de gevonden aantastingen in de technische ruimte.

[1] Opmerking: Laag/hoog koolstof kwaliteit (L- resp. H-) kan niet worden bevestigd. Het koolstofgehalte (en stikstofgehalte) kan niet worden gemeten. De gebruikte apparatuur is ontworpen voor het uitvoeren van legering verificatie. Het rapporteren van element samenstellingen (percentages) is mogelijk. Men dient zich er wel van bewust te zijn dat deze percentages het resultaat zijn van een semi-kwantitatieve analyse, en met de nodige voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd. Voor semi-kwantitatieve metingen met het gebruikte instrument moet rekening worden gehouden met een meetonzekerheid tot 10%. (voor lassen 12.5%). Deze is onder meer afhankelijk van factoren als oppervlaktecondities kromming en afmetingen.

Echter, ook op posities zonder zichtbare zoutafzettingen toonden zich duidelijk roestkleurige afzettingen. Dit gold voor de wandplaten alsook de puur constructieve wandelementen. Ieder vak toonde in meer of mindere mate afzettingen van roestproduct. Dit gold ook voor nagenoeg alle aanwezige bouten. Een deel van de bouten toonde dof wit uitgeslagen (e.g. figuur 13 en 22), de meeste bouten toonden echter de nodige roestspikkels (e.g. figuur 16 en 19). Gezien de algemeen aanwezige aantasting lijkt de bevochtiging die nodig is voor de corrosie op de meeste posities eerder het gevolg te zijn geweest van algehele bevochtiging door condensvorming dan door direct lekwater. De roestafzettingen lieten zich redelijk gemakkelijk grotendeels afvegen. Het materiaal eronder oogde aangetast zij het op het oog redelijk algemeen en oppervlakkig. Deze algehele aantasting was niet algemeen verspreid over de technische ruimte. Zo was de lange zijde D in mindere mate bedekt met roestafzettingen dan de overige wanden. Het lijkt erop dat hier het klimaat af heeft geweken van andere posities in de technische ruimte. (Mogelijk door afwezigheid van waterbehandelingsinstallatie e.d. maar hier is geen verder onderzoek naar uitgevoerd.)

Een representatieve selectie van de visueel aangetaste bouten (rvs 304) is uit de wandconstructie verwijderd en meegenomen naar het laboratorium voor verder onderzoek. (De weggenomen bouten/moeren zijn meteen vervangen door nieuwe – opnieuw rvs 304 kwaliteit.) Het verwijderen van de bouten ging, met uitzondering van de bouten tussen U-profiel en wandplaat, relatief gemakkelijk.

3.2 Visueel en stereomicroscopisch onderzoek in het laboratorium (Breda)

De verwijderde en meegenomen bouten toonden alle in meer of mindere mate aangetast door corrosie. Hier en daar waren restanten van een corrosie-werend product aanwezig. De meerderheid van de bouten toonden over het blootgestelde deel in meer of mindere mate bedekt met roestproduct dat zich deels gemakkelijk liet verwijderen. Het afgedekte deel van deze bouten (een deel van de draadgang en de onderzijde van de boutkop) toonde – met uitzondering van de bouten tussen U-profiel en wandplaat – grotendeels metallisch blank met nauwelijks afzetting van roestproduct. De bouten tussen U-profiel, allen uitgenomen uit zijde C, waren over het gehele oppervlak in meer of mindere gelijke mate aangetast. Zie figuren 7 tot en met 25.

3.3 Macroscopisch en microscopisch onderzoek

Op basis van het visueel en stereomicroscopisch onderzoek is een 6-tal bouten over de lengte door gezaagd waarbij de doorsnede is geprepareerd voor macroscopisch en microscopisch onderzoek:

- Bout 1: M12 bout afkomstig uit vak C13. Deze was gepositioneerd als verbinding tussen het U-profiel en de wandplaat. Zie figuur 7.
- Bout 2: M12 bout afkomstig uit vak C12. Deze was eveneens gepositioneerd als verbinding tussen het U=profiel en de wandplaat. Zie figuur 10.
- Bout 3: M12 bout afkomstig uit vak B15-B16. Deze was gepositioneerd tussen de twee bovenste wandplaten van beide vakken en gedeelde verticale verstevigingsplaat, ter hoogte van de loopgoot. Zie figuur 13.
- Bout 4: M16 bout afkomstig uit vak A14-A15. Deze was één van de 5 bouten waarmee de verticale verstevigingsplaat bevestigd zat aan het samengestelde voetstuk. Het materiaal rondom de bouten was in een eerder stadium niet geborsteld maar wél behandeld met een (vermoedelijk) corrosiewerend product. Zie figuur 16.
- Bout 5: M16 bout afkomstig uit vak A15-A16. Deze was één van de 5 bouten waarmee de verticale verstevigingsplaat bevestigd zat aan het samengestelde voetstuk. Het materiaal rondom de bouten was in een eerder stadium zowel geborsteld als behandeld met een (vermoedelijk) corrosiewerend product. Zie figuur 19.
- Bout 6: M8 bout afkomstig uit vak A15-A16. Dit was een van de bouten waarmee de 3e horizontale ligger van onderen vastgemaakt zat aan de verticale verstevigingsplaat. Zie figuur 22.

In de gepolijste maar ongeëtste conditie toonde het materiaal van de bouten op alle 6 doorsneden vrij schoon met slechts kleine non-metallische insluitingen verspreid over het oppervlak. Na etsen met V2A werd een austenitische structuur met tweelingen zichtbaar, met sliplijnen en macro-deformatielijnen parallel aan het schroefdraadoppervlak. Een dergelijks microstructuur is gebruikelijk voor koud gerold rvs type 304(L) boutmateriaal.
Alle 6 bouten toonden overeenkomstige vormen van corrosieve aantasting, zij het in verschillende mate. Het beeld van aantasting was tweeledig:

- Op verschillende posities van de tanden maar ook aan de kop van de bout toonde zich aan het oppervlak geïnitieerde scheurvorming met uitbreiding door de tand of kop. Op sommige posities waren delen van tanden geheel ondermijnd. De uitbreiding verliep deels transkristallijn en was (deels fijn) vertakt waarbij de vertakkingen veelal, maar niet alleen, de deformatiebanen in het materiaal volgden. De scheurvorming beperkte zich vooralsnog enkel in de tanden (en in de kop van de bout) en niet door de diameter van de bout zelf. Het beeld van scheurvorming duidt op spanningscorrosie.
- Veelal rondom de scheurvorming maar ook op andere geïsoleerde posities – waaronder de neus van de bout -, toonde het materiaal een op verschillende posities zeer dicht netwerk van selectieve aantasting van de microstructuur langs de deformatie- en sliplijnen waarbij het boutmateriaal totaal poreus en ondergraven was geworden.

Bout 6 toonde het sterkst aangetast waarbij alle tanden en delen van de kop en de neus in enige mate scheurvorming en/of selectieve aantasting toonden. Bouten 1, 2 en 3 toonden een aan elkaar vergelijkbaar schadebeeld, zij het minder ver gevorderd dan dat van bout 6. Bout 4 (niet geborsteld) en bout 5 (wél geborsteld) toonden een aan elkaar vergelijkbaar schadebeeld, waarbij slechts enkel draadtoppen aangetast toonden en met minimale aantasting van de kop en neus van de bout. Voor alle 6 bouten gold dat de mate van aantasting significant kleiner was onder het afgedekte deel (deel draadgang en onderzijde boutkop) maar dat deze niet geheel afwezig was.

4 Samenvattende discussie en aanbevelingen

Het klimaat in de technische ruimte van het zwembad voelde aan als warm en vochtig en rook naar chloor. De chemische samenstellingen van zoutafzettingen en roestproducten aangetroffen in de technische ruimte zijn echter niet geanalyseerd (beperkt onderzoeksbudget). Gezien de omstandigheden en de aangetroffen lekposities wordt echter aangenomen dat de afzettingen en product significante concentraties chloriden bevatten.
De combinatie van warmte, vochtigheid en chloriden maakt dat er in de technische ruimte sprake was van zogenaamde ‘zwembadomstandigheden’. Dat betekent dat behalve lekwater ook neerslag (condensatie) van chloorhoudende dampen, bv. vluchtige chlooramines, een rol kan hebben gespeeld in de chlooroverdracht leidende tot een chloridenhoudend condensaat aan het rvs oppervlak (ook daar waar geen direct lekvocht aanwezig is geweest). Onder deze omstandigheden kunnen de austenitische roestvast stalen door lokale vormen van corrosie, zoals chloride put- en spleetcorrosie, aangetast worden. Met name de lager nikkel-gelegeerde austenitische typen roestvast staal (rvs) zoals type 304(L) zijn daarnaast ook gevoelig voor scheurvormige corrosie (chloride spanningscorrosie, Cl-SCC) en kunnen daardoor geheel bezwijken, vaak zonder dat daarbij van tevoren een duidelijke ‘aankondiging’ zichtbaar is.
De ferritische typen roestvast staal zijn evenals de austenitische roestvast stalen onder dergelijke condities gevoelig voor lokale vormen van corrosie, zoals chloride put- en spleetcorrosie. De ferritische roestvast stalen zijn echter in het geheel niet gevoelig voor scheurvormende Cl-SCC.

Alle bouten in de gehele bassinwandconstructie evenals een beperkt deel van de constructieve elementen van de bassinwand (de samengestelde voetstukken) waren van een austenitisch roestvaststaal materiaaltype 304, een voor Cl-SCC gevoelige kwaliteit. Alle onderzochte bouten vertoonden reeds, zij het in verschillende mate, scheurvorming. Uit het uiterlijk van de scheuren (transkristallijn, vertakt), en de veronderstelde chloriden in de corrosieproducten, wordt afgeleid dat deze scheuren Cl-SCC betreffen. Aan de scheuren (en de deformatiestructuur van de bouten) was verdere specifieke aantasting van de deformatiestructuur opgetreden

in contact met het chloriden houdend vocht. De voetstukken zijn niet verder onderzocht. De aanwezige restspanningen in de voetstukken lokaal ten gevolge van het lassen (normaliter gelijk aan de vloeispanning van het materiaal) maken het echter aannemelijk dat ook hierin vroeg of laat scheurvorming door CL-SCC zal optreden dan wel reeds aanwezig is.

Een vochtig en chloriden houdende omgeving maakt veel rvs materiaal typen ook gevoelig voor chloride put- en spleetcorrosie. Dit geldt voor een austenitsch rvs materiaal type 304, maar ook voor nagenoeg alle ferritische rvs materiaaltypen waaronder typen 430 en 446. Spleetcorrosie, maar voornamelijk putcorrosie, geeft over het algemeen goed zichtbare lokale bruine afzettingen die bij verdere ontwikkeling samengroeien en het oppervlak geheel bedekken met roest. Afgezien van de bouten en de voetstukken waren alle elementen van de bassinwand gemaakt van ferritisch rvs type 430 of type 446. Deze typen ferritisch rvs zijn beide niet gevoelig voor Cl-SCC maar wél voor put- en spleetcorrosie. De bassinwandelementen (ferritisch rvs) vertoonden – visueel – in beperkte mate aantasting door vermoedelijk put- en spleetcorrosie. Voor de sterkte van de plaatdelen heeft dat, ook op termijn, weinig consequenties. Wel kunnen plaatdelen van de zwembadwand op termijn als gevolg van voortschrijdende putcorrosie lekkage gaan vertonen. In dit opzicht lijkt de aantasting van de ferritisch rvs bassinwand elementen visueel controleerbaar (voor zover visueel toegankelijk).

Uit het bovenstaande komt Element tot de volgende aanbevelingen om de bestaande bassinwand voor langere tijd te behouden:

- Uit oogpunt van directe veiligheid dienen alle rvs typen 304 bouten, moeren en carrosserieringen, evenals de rvs type 304 voetstukken verwijderd te worden en vervangen door materiaaltypen die niet gevoelig zijn voor Cl-SCC. Het ‘passief’ laten staan van 304 onderdelen waarbij deze constructief worden opgevangen door aanvullende elementen wordt afgeraden omdat dit over de jaren heen tot vergissingen kan leiden. De kleine steekproef middels positieve materiaal identificatie (PMI) welke in dit onderzoek op locatie is uitgevoerd dient uitgebreid te worden.
  Als mogelijk alternatief materiaal voor het materiaal type 304 van bouten en constructieve elementen worden volgens de eerder besproken Regeling Bouwbesluit 2012 (na de wijziging in 2016) enkel het gebruik van de hoog nikkelhoudende austenitisch rvs typen 1.4529 (Alloy 904L), 1.4547 (254SMO, F44) en 1.4565 toegestaan. Bij de wijziging van de Regeling Bouwbesluit 2012 in 2016 is in de staatskrant nr. 33491 onder andere verwezen naar NEN-EN 1993-1-4 (Eurocode 3) en TNO rapport R11051 uit 2013.
  De drie genoemde materialen zijn in veel sterkere mate bestand tegen (maar niet volledig ongevoelig voor) Cl-SCC dan een rvs type 304, maar het gebruik van deze voorgeschreven materialen leidt tot aanzienlijk hogere materiaalkosten. Er zijn echter ook andere materiaalkeuzen mogelijk, die helaas door het bouwbesluit uitgesloten worden. In het TNO rapport wordt overigens wel de mogelijkheid van gecoat (verzinkt) staal beschreven (R11051, sectie 6.10).
  In de NEN-EN 1993-1-4 staan echter wel alternatieve toepasbare typen roestvast stalen genoemd. Bovendien wordt in NEN-EN 1993-1-4 nog eens specifiek gemeld: *”Alternative which have been shown to have equivalent resistance to stress corrosion cracking in these atmospheres may also be used.”* Element leidt hieruit af dat er mogelijkheden tot gebruik van alternatieve materialen zijn die niet worden genoemd in de Regeling Bouwbesluit.
  Zo kan er voor zowel de bouten als de voetstukken gedacht worden aan:
  - verzinkt koolstofstaal voorzien van een aanvullende coating (een zogenaamde duplex bescherming). De beschermlagen zullen het materiaal langdurig kunnen beschermen tegen algemene corrosie. Mocht het materiaal alsnog aangetast raken dan is dit visueel zichtbaar ruim voordat bezwijken optreedt. Bovendien is koolstofstaal, ook onder zwembadomstandigheden, in het geheel niet gevoelig voor Cl-SCC. Wel zal rekening gehouden moeten worden met galvanische corrosie, waardoor koolstofstalen bouten in contact met rvs versneld aantasten. Om dat te voorkomen dienen deze dan elektrisch geïsoleerd (isolerende mantel en ringen) toegepast te worden, hetgeen veel oog voor detail vereist bij ontwerp en uitvoering en daardoor sterk kostenverhogend is.

- ferritische rvs typen, bijvoorbeeld 430, 446 of 444. Deze zijn zoals koolstofstaal ongevoelig voor scheurvormende Cl-SCC, en bovendien weinig gevoelig voor algemene corrosie. Pas bij significante aantasting door put- en/of spleetcorrosie kan er een bedreiging voor de constructieve veiligheid ontstaan. Dergelijke mate van aantasting is echter goed zichtbaar. **Element ziet constructief gezien dan ook geen redenen om de gebruikte ferritische rvs bassinwand-elementen te vervangen, tenzij het delen betreft waarbij er al duidelijk sprake is van significante aantasting.**
  Verder betekent dit dat behalve plaatdelen ook bouten vervaardigd uit ferritisch roestvast staal gebruikt zouden kunnen worden. Onderling gebruik van ferritisch en austenitisch rvs leidt niet tot galvanische corrosie.

- Alle blijvende bassinwand elementen dienen schoongemaakt te worden en ontdaan van zoutresten, chloride houdende afzettingen en roest. Daar waar mogelijk dienen licht aangetaste onderdelen na schoonmaken weer voorzien te worden van een goed herstelde oxidehuid (beitsen/passiveren). Al aanwezige putten blijven echter onder gelijkblijvende condities gevoelig voor verdere uitgroei. Delen die te zeer aangetast zijn dienen vervangen te worden. Na het herstel is het wellicht een optie om de oppervlakken te voorzien van een aanvullende doorzichtige beschermlaag (e.g. een wax), zodat het materiaal beschermd wordt maar het onderliggende metaal zichtbaar blijft met het oog op monitoring/controle.

- Het 'klimaat' in de technische ruimte dient drastisch en structureel aangepast te worden. Dit betreft zowel het aanbod van lekkagevocht van het bassin, als een hoge luchtvochtigheid met de aanwezigheid van chloorhoudende dampen. Hierbij moet gedacht worden aan de toevoer van lekkagevocht en dampen maar ook aan de afvoer hiervan.
  Dit betekent ook het stoppen van de huidige lekkages (daarbij dient uiteindelijk ook de oorzaak van de huidige lekkages onderzocht en vastgesteld te worden, zie laatste alinea van deze paragraaf), en een actieve luchtbehandeling. Het is hierbij belangrijk om grenswaarden te stellen (bv temperatuur en luchtvochtigheid) en hier continu op te monitoren.

- De conditie van de wand dient na reiniging en herstel regelmatig gecontroleerd te worden. Het ontwerp van de bassinwand blijft immers kwetsbaar. Bij alsnog optredende corrosie dienen steeds tijdig passende maatregelen genomen te worden (e.g. herhaling van bovenstaande aanbevelingen).

Bij bovenstaande aanbevelingen worden enkele kanttekeningen geplaatst:

- De aanbevelingen dienen állemaal opgevolgd te worden.

- Waar mogelijk gebruikmaken van ongelegeerd stalen bouten met duplex coating (Zn/polymeer) of van ferritische roestvast staal voor bouten en plaatdelen. Dit staat echter in het bouwbesluit niet als mogelijkheid vernoemd. Het wordt daarom aangeraden om, indien gewenst, op basis van dit rapport, mogelijke ontheffing voor het gebruik van deze materialen te bespreken. In deze zal TNO een belangrijke inbreng hebben.

- Element kan niet inschatten of de aanbevelingen en materiaalalternatieven economisch afwegen tegen verdergaande alternatieven (e.g. volledig betonnen bassinwanden).

- Enkel de conditie van de bassinwand aan de zijde van de technische ruimte is onderzocht. Aan de waterzijde is door Element geen onderzoek verricht. Indien aan de waterzijde water met chloriden in direct contact met het rvs van de wandplaten kan komen (falende polymeercoating), dan gaan bovenstaande aanbevelingen niet beschermen tegen waterzijdige put- en spleetcorrosie. (Dit zou echter niet leiden tot spanningscorrosie.)

- Wat betreft de lekkages zal onderzocht moeten worden in hoeverre ontwerp- of uitvoeringsfouten (boutverbindingen, aanzetmoment, stijfheid plaatdelen en dikte folie) of veroudering (eventueel verlies van elasticiteit van folie of kit, scheuren in beton) een rol hebben gespeeld. Zonder bekende oorzaak kan er na reinigen en het op voorspanning brengen van de plaatverbindingen nieuwe lekkage(s) niet uitgesloten worden.

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. Iedere vorm van "witnessing" en conclusies door derden wordt niet door de RVA accreditatie L063 gedekt en is geen onderdeel van de Element rapportage. 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).
Indien in het rapport een conformiteitsverklaring wordt afgegeven met betrekking tot het voldoen aan een specificatie of norm dan is deze alleen van toepassing om het (de) onderzochte product(en). Bij deze beoordeling wordt de beslisregel toegepast die ervanuit gaat dat de uitgebreide meetonzekerheid niet in de beoordeling wordt meegenomen. Tenzij anders vermeld in de testnorm of de accreditatieregels, wordt de afrondingsregel volgens ISO 80000-1 Annex A regel B toegepast. 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 dat kopie.
De onderzoeksobjecten van materiaal testen en niet relevante delen van schadeonderzoek zullen 2 maanden, relevante delen van schadeonderzoek zullen 2 jaar en replica's zullen 5 jaar 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 opdrachtgever er geen bezwaar tegen heeft dat de betreffende objecten daarna op een door Element te bepalen moment zullen worden vernietigd.

Breda, 01maart, 2023

Auteur: [redacted]
Consultant schadeonderzoek

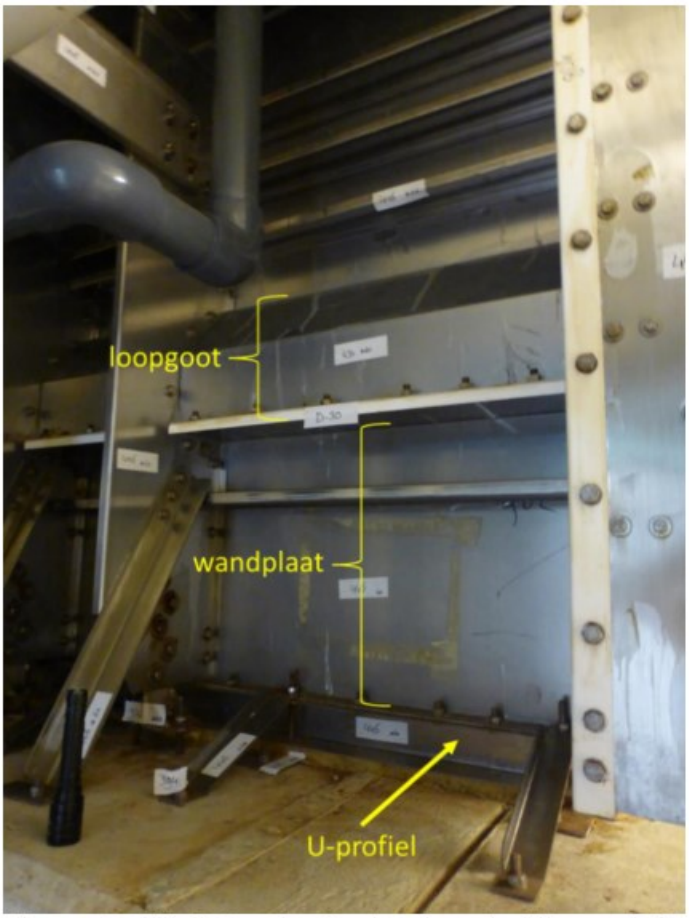
Geautoriseerd door: [redacted]
Groepsleider Schadeonderzoek NL

[redacted]

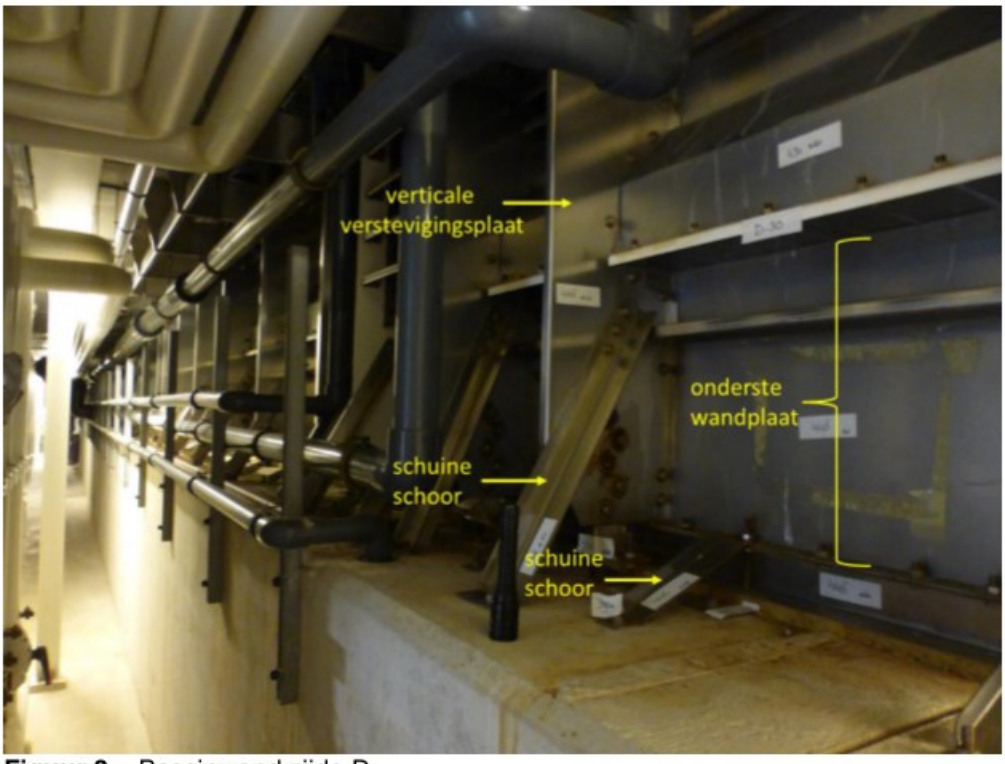
[redacted]



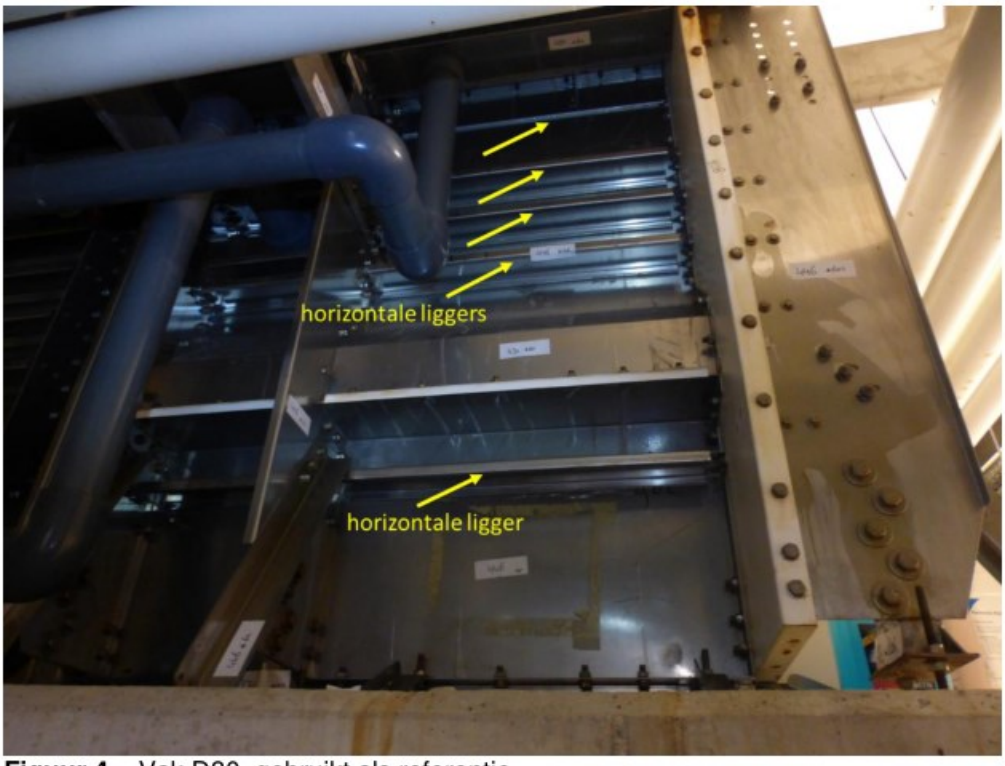
Figuur 1. Bassinwand zijde A. De onderste 1,5 meter van de bassinwanden was opgetrokken uit beton. Op deze betonnen wanddelen waren rvs-wanddelen gemonteerd opgebouwd uit verschillende aan elkaar gekoppelde vakken.



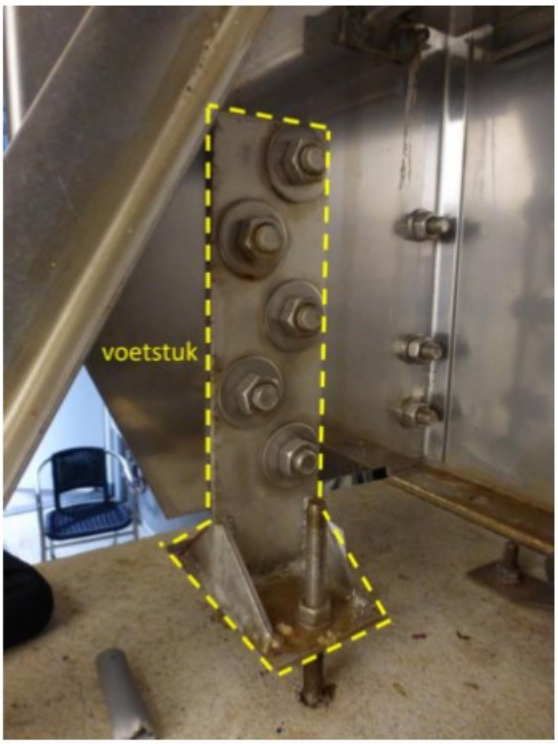
Figuur 2. Vak D30, gebruikt als referentie. Hier op de foto met stickers voorzien van de van toepassing zijnde materiaalcodes (type RVS).



Figuur 3. Bassinwand zijde D.



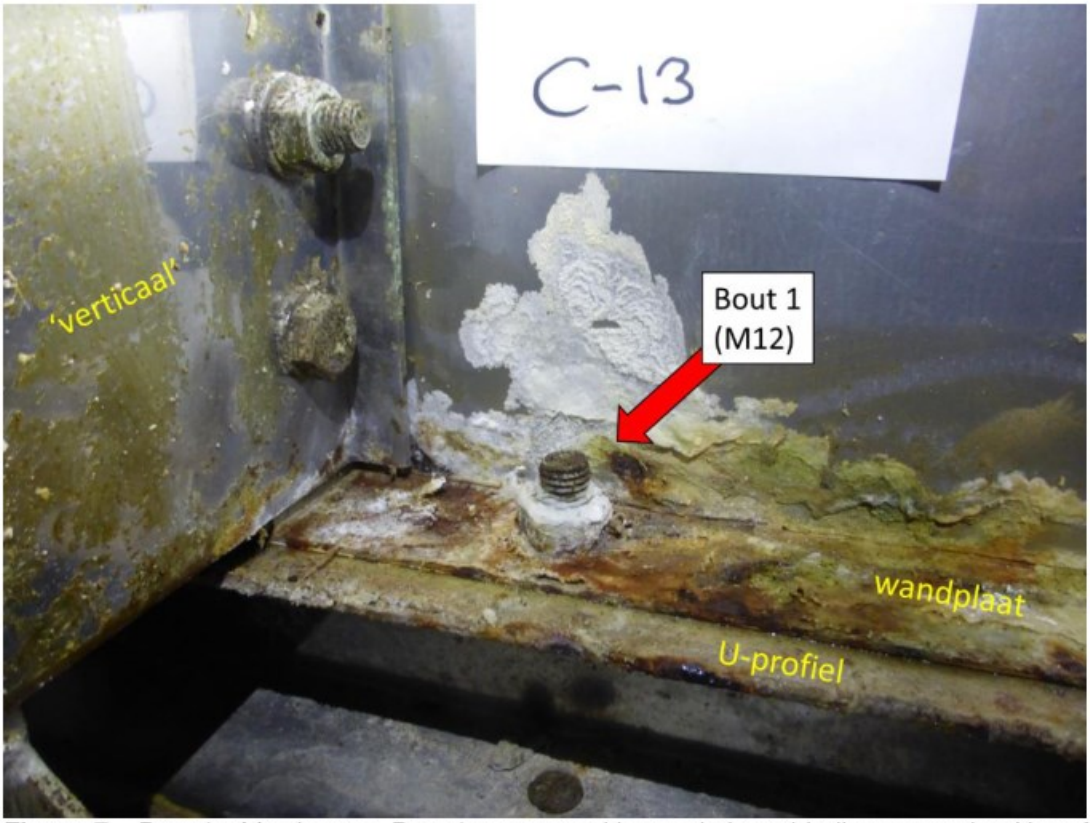
Figuur 4. Vak D30, gebruikt als referentie.



Figuur 5. Aan de onderzijde was iedere 'verticaal' middels een vijftal M16 bouten bevestigd aan een voetstuk gemaakt van RVS materiaal type 304. Dit voetstuk was samengesteld uit meerdere plaatdelen welke verbonden waren door middel van lassen. Het voetstuk was met 2 draadeinden in het beton verankerd (chemisch).



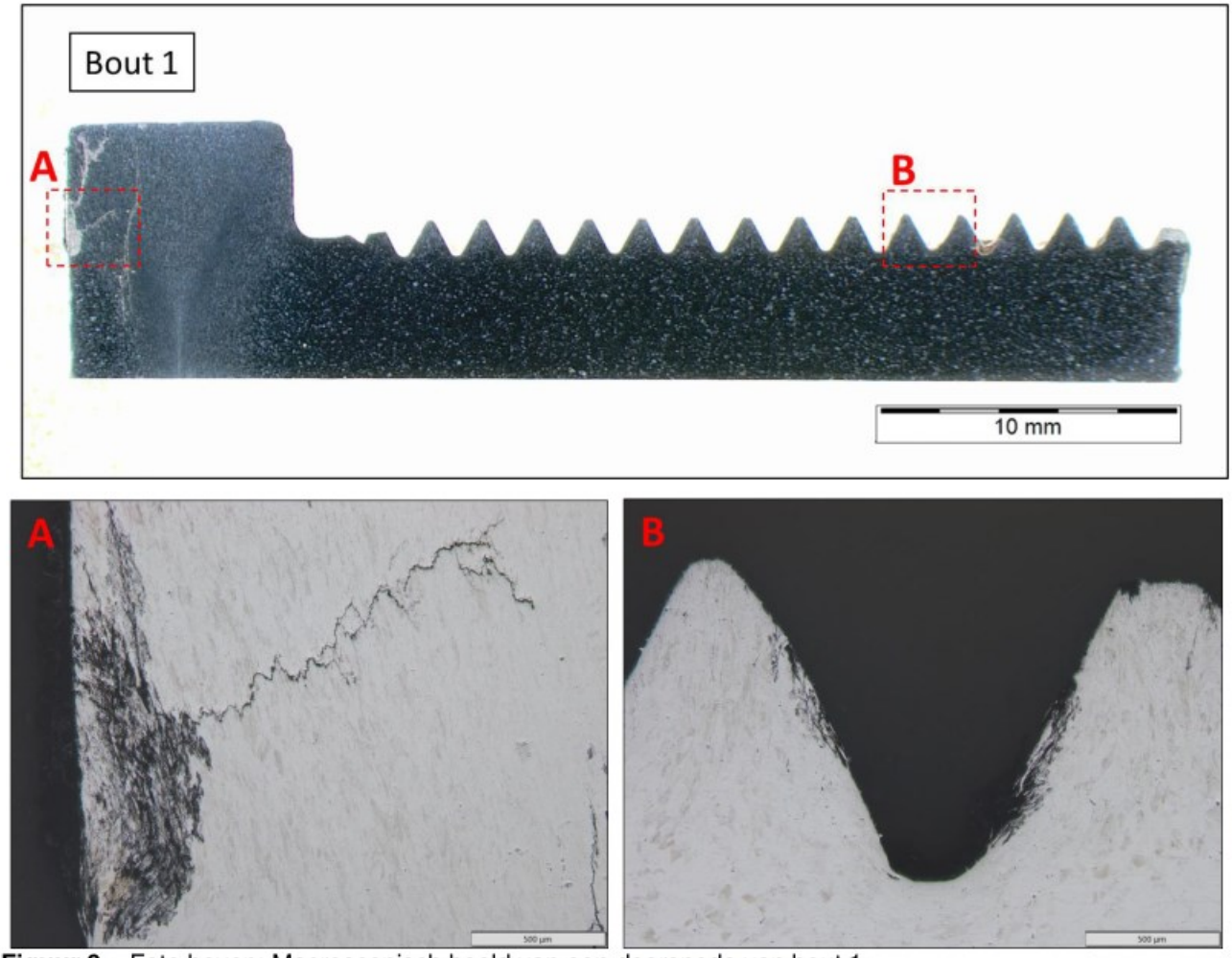
Figuur 6. Op de korte zijde C rondom vak 15 lag een ruime waterfilm op het beton onder het U-profiel. Het U-profiel evenals de bouten in het U-profiel toonden hier (visueel) relatief zwaar aangetast.



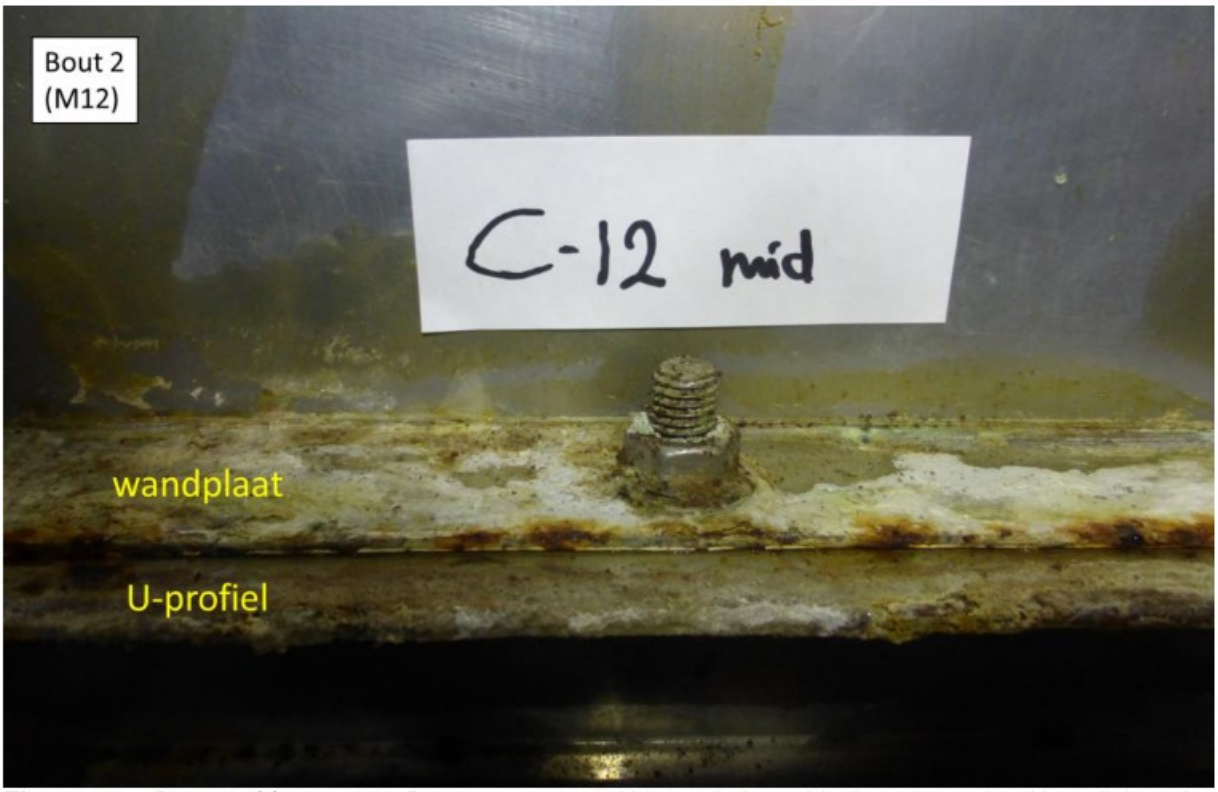
Figuur 7. Bout 1 vóór uitname. Bout 1 was gepositioneerd als verbinding tussen het U-profiel en de wandplaat in een hoek van vak C13.



Figuur 8. Stereomicroscopische opname van bout 1. Bout 1 toonden (visueel) over het gehele oppervlak – ook op het deel wat bedekt was – aangetast door corrosie.



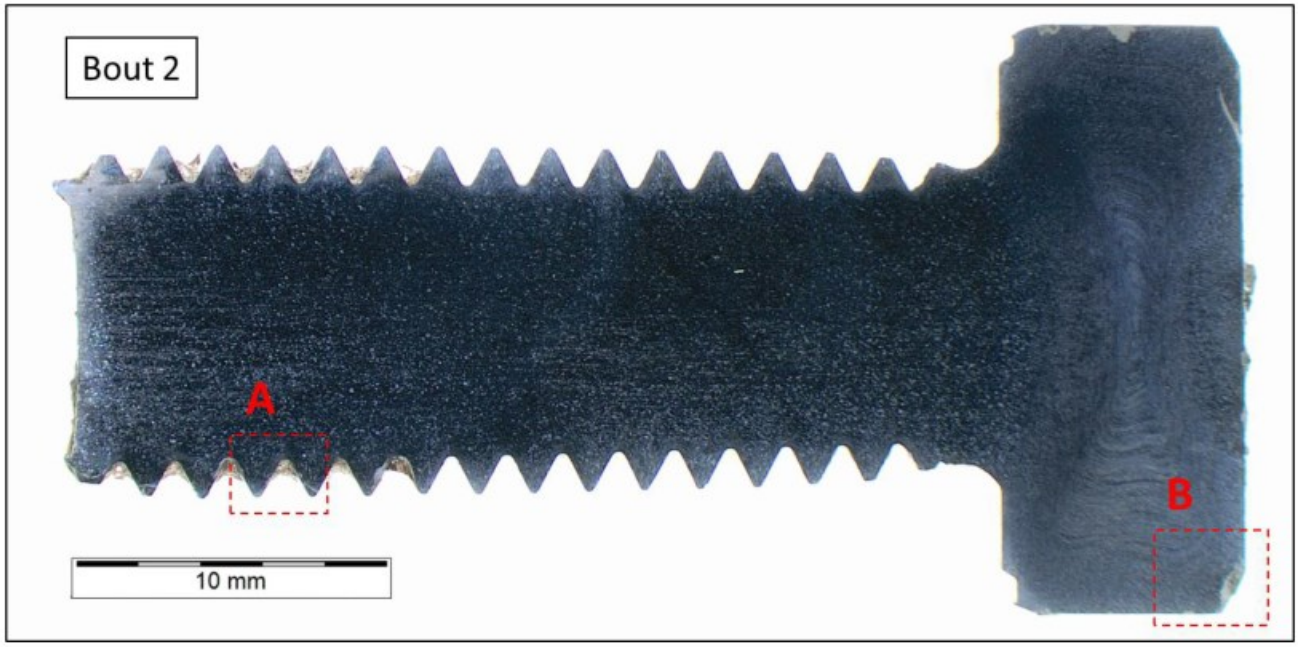
Figuur 9. Foto boven: Macroscopisch beeld van een doorsnede van bout 1.
Foto's onder: Microscopische detailfoto's van enkele van de vele aangetaste posities in bout 1. De foto's tonen zowel scheurvorming als selectieve aantasting van de microstructuur langs de deformatie- en sliplijnen.
Beide foto's: etsing met V2A.

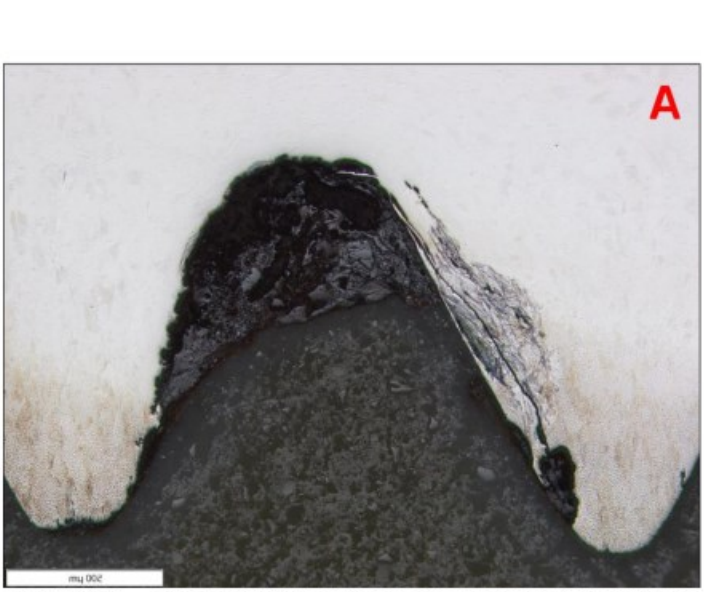


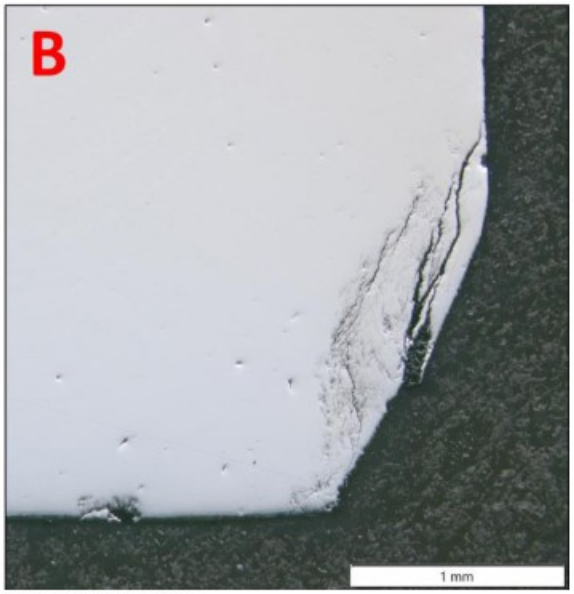
Figuur 10. Bout 2 vóór uitname. Bout 2 was gepositioneerd als verbinding tussen het U-profiel en de wandplaat ongeveer in het midden van C12.



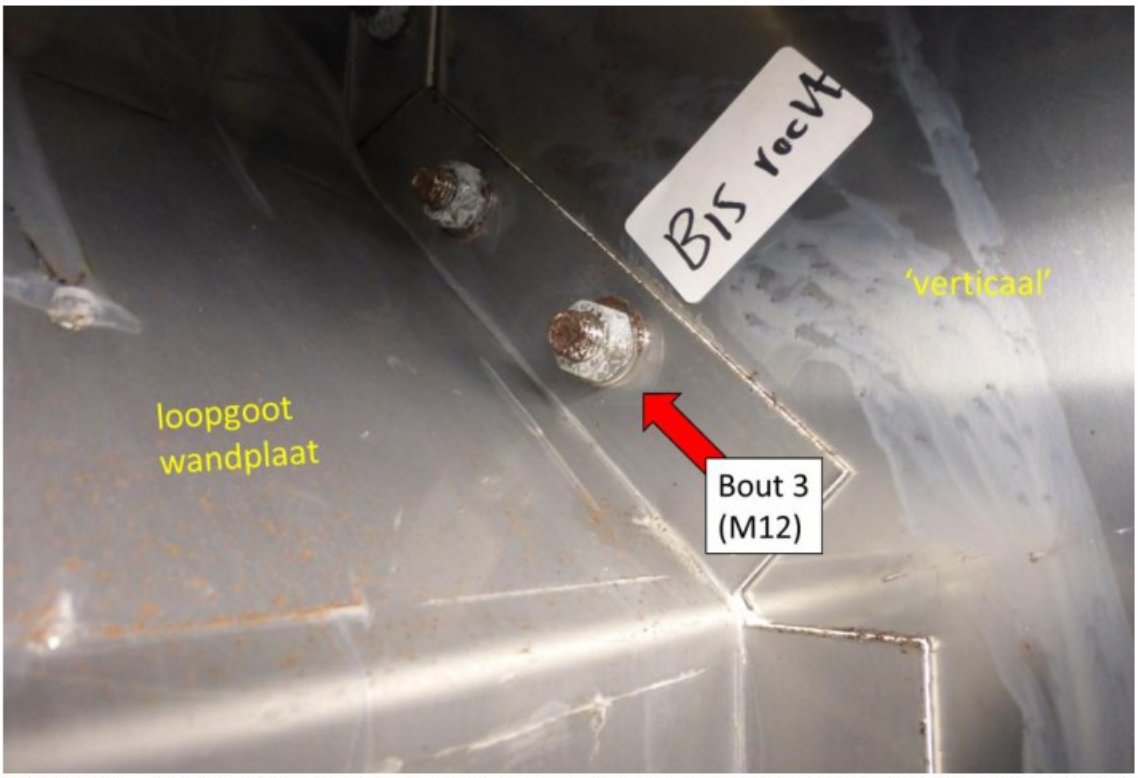
Figuur 11. Stereomicroscopische opname van bout 2. Bout 2 toonde evenals bout 1 (visueel) over het gehele oppervlak – ook op het deel wat bedekt was – aangetast door corrosie.



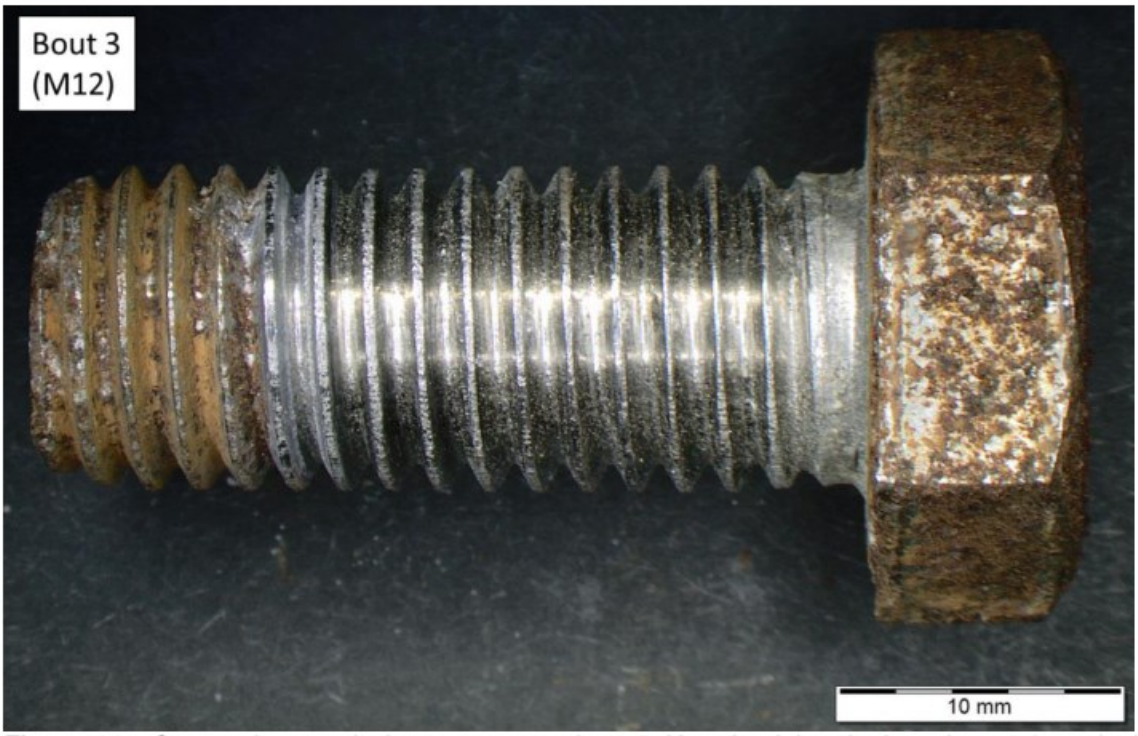




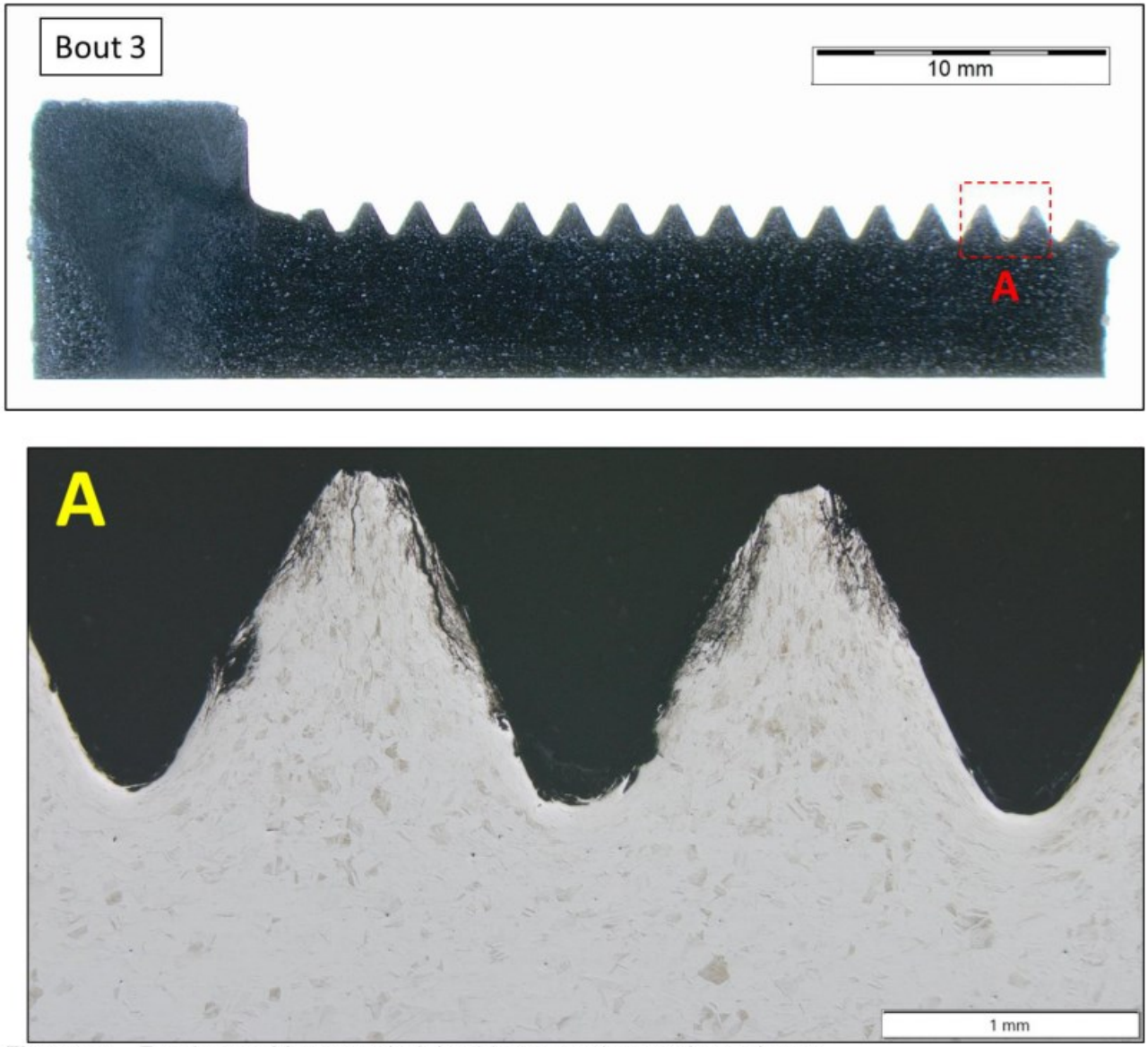
Figuur 12. Foto boven: Macroscopisch beeld van een doorsnede van bout 2.
Foto's onder: Microscopische detailfoto's van enkele van de vele aangetaste posities in bout 2. De foto's tonen zowel scheurvorming als selectieve aantasting van de microstructuur langs de deformatie- en sliplijnen. Foto links: etsing met V2A. Foto rechts: in gepolijste, ongeëtste toestand.



Figuur 13. Bout 3 vóór uitname. Bout 3 was gepositioneerd tussen de twee bovenste wandplaten van vakken B15 en B16 en gedeelde verticale verstevigingsplaat, ter hoogte van de loopgoot.



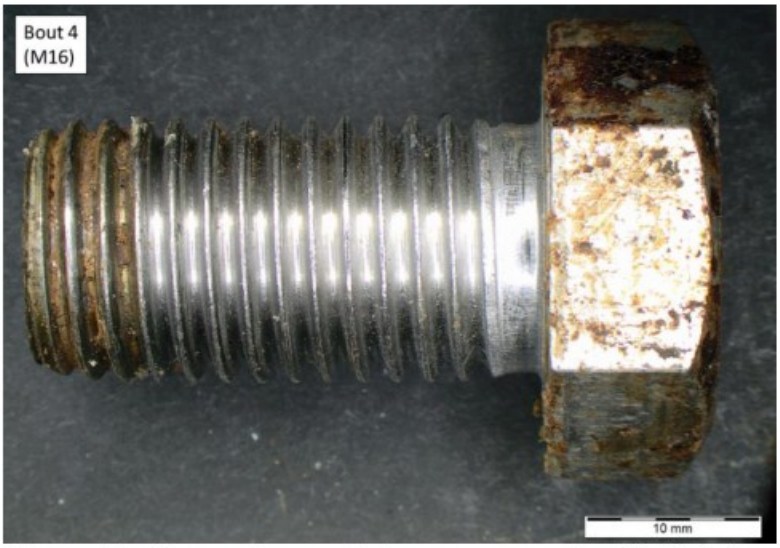
Figuur 14. Stereomicroscopische opname van bout 3. Het afgedekte deel van bout 3 (een deel van de draadgang en de onderzijde van de boutkop) toonde niet of nauwelijks afzetting van roestproduct.



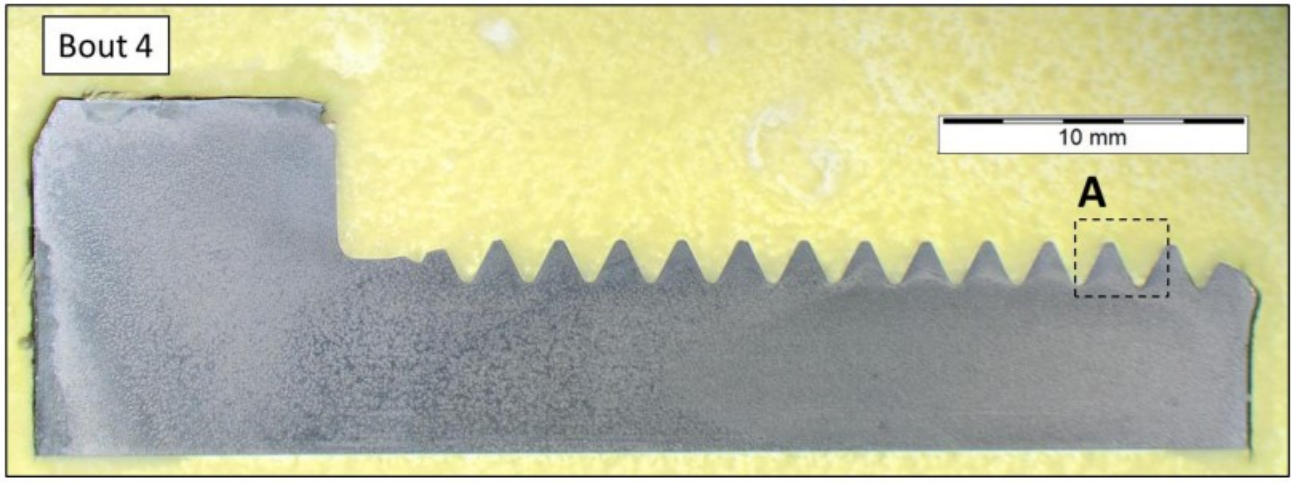
Figuur 15. Foto boven: Macroscopisch beeld van een doorsnede van bout 3.
Foto onder: Microscopische detailfoto van een aangetaste positie in bout 3. De foto toont zowel scheurvorming als selectieve aantasting van de microstructuur langs de deformatie- en sliplijnen. Etsing met V2A.

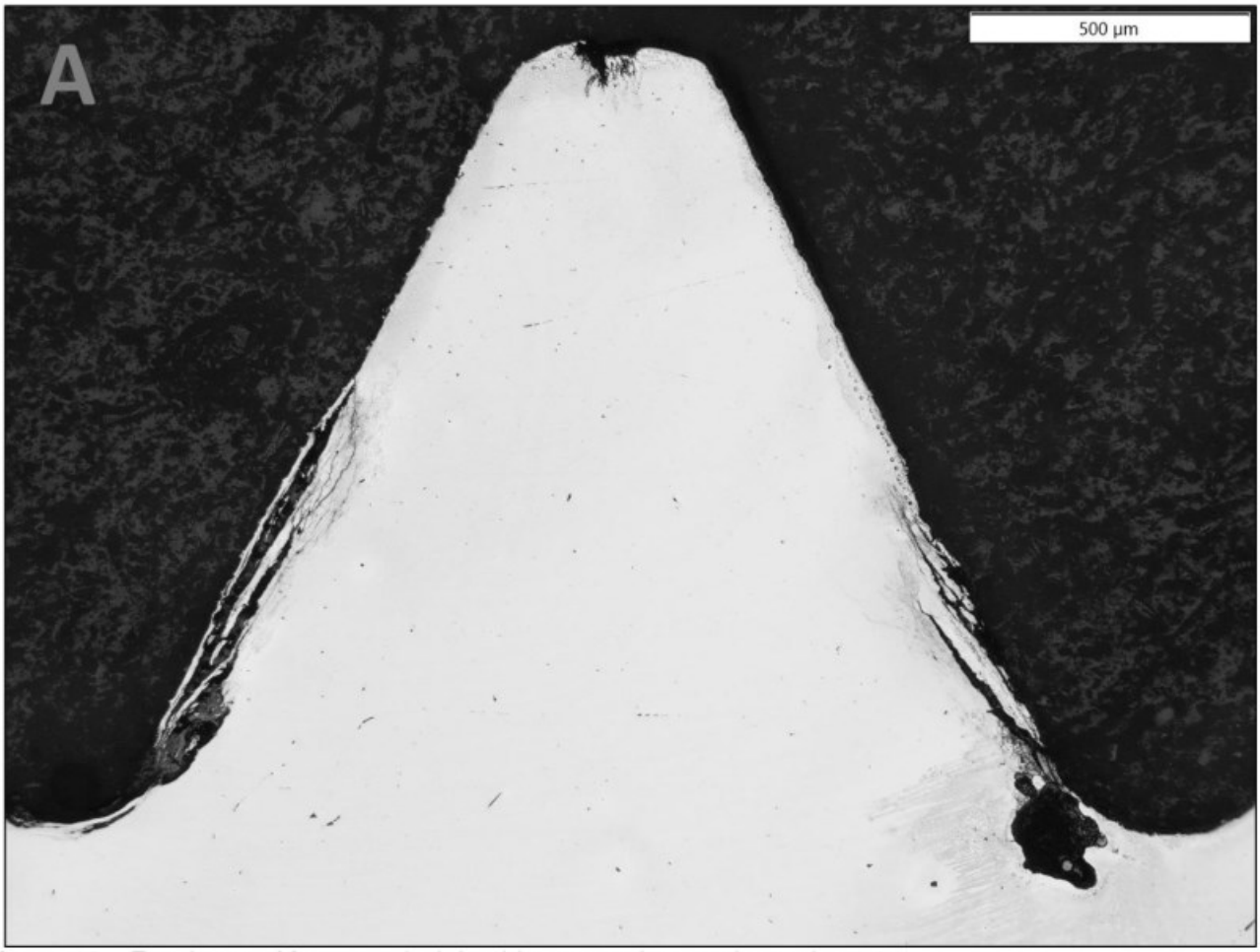


Figuur 16. Bout 4 vóór uitname. Bout 4 was één van de vijf bouten waarmee de verticale verstevigingsplaat tussen vak A14 en vak A15 bevestigd zat aan het samengestelde voetstuk. Het materiaal rondom de bouten was in een eerder stadium niet geborsteld maar wél behandeld met een (vermoedelijk) corrosiewerend product.

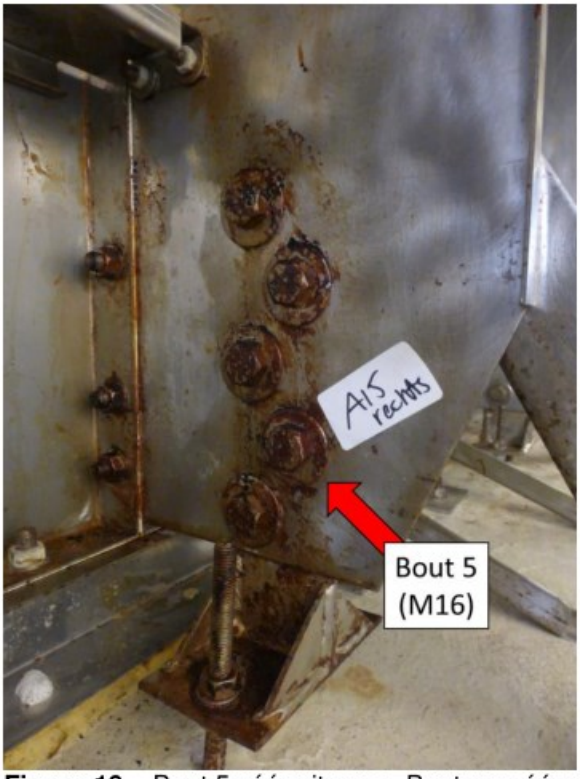


Figuur 17. Stereomicroscopische opname van bout 4. Het afgedekte deel van bout 4 (een deel van de draadgang en de onderzijde van de boutkop) toonde niet of nauwelijks afzetting van roestproduct.

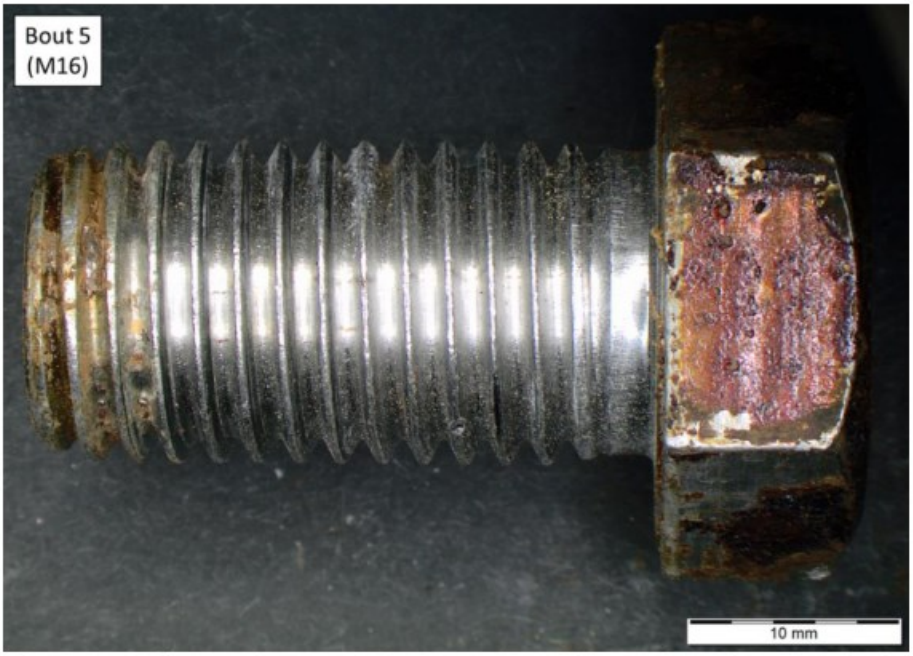




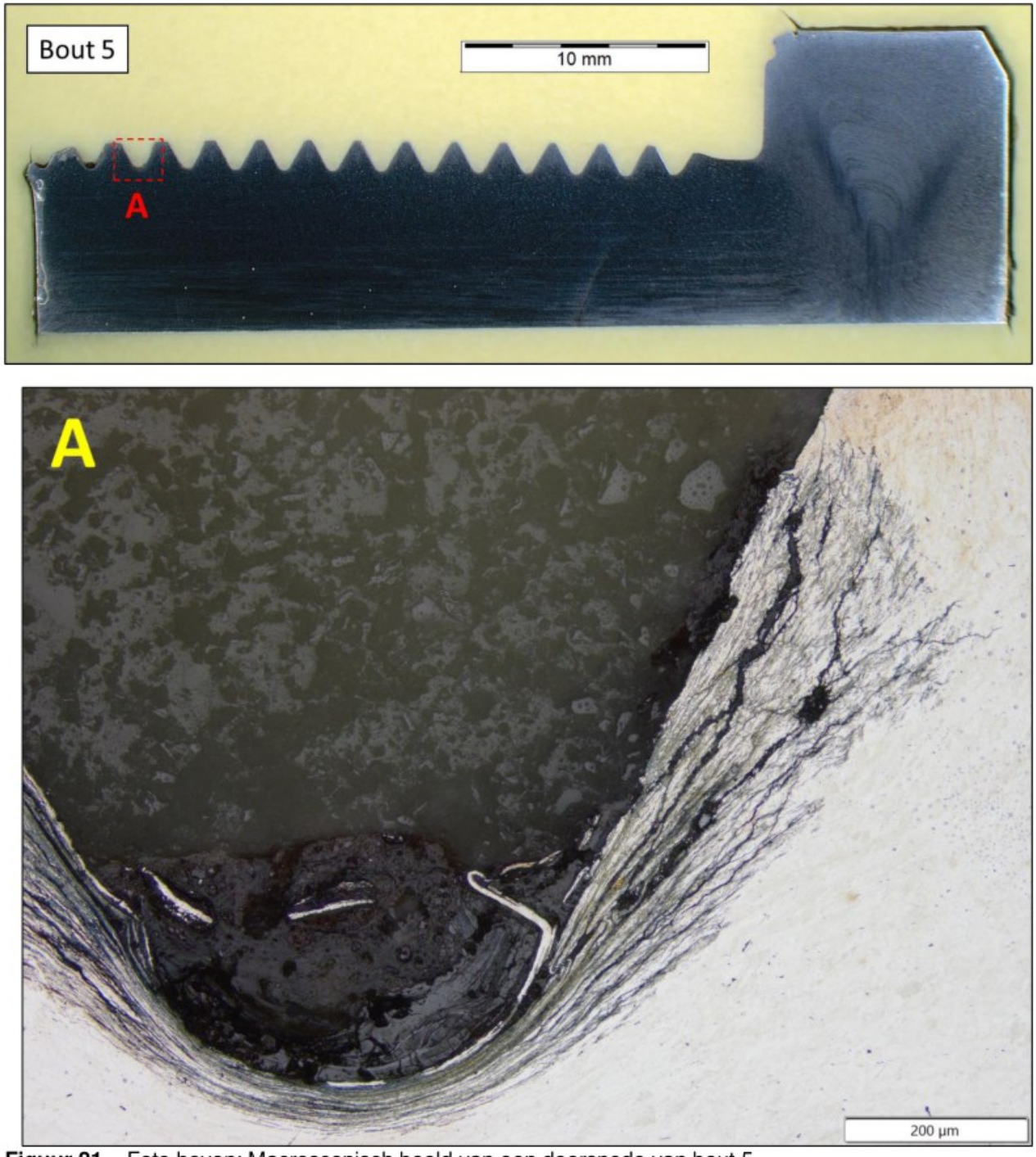
Figuur 18. Foto boven: Macroscopisch beeld van een doorsnede van bout 4.
Foto onder: Microscopische detailfoto in gepolijste, ongeëtste toestand van enkele aangetaste posities in een van de onbedekte tanden van bout 4. De foto's tonen zowel scheurvorming als selectieve aantasting van de microstructuur langs de deformatie- en sliplijnen.



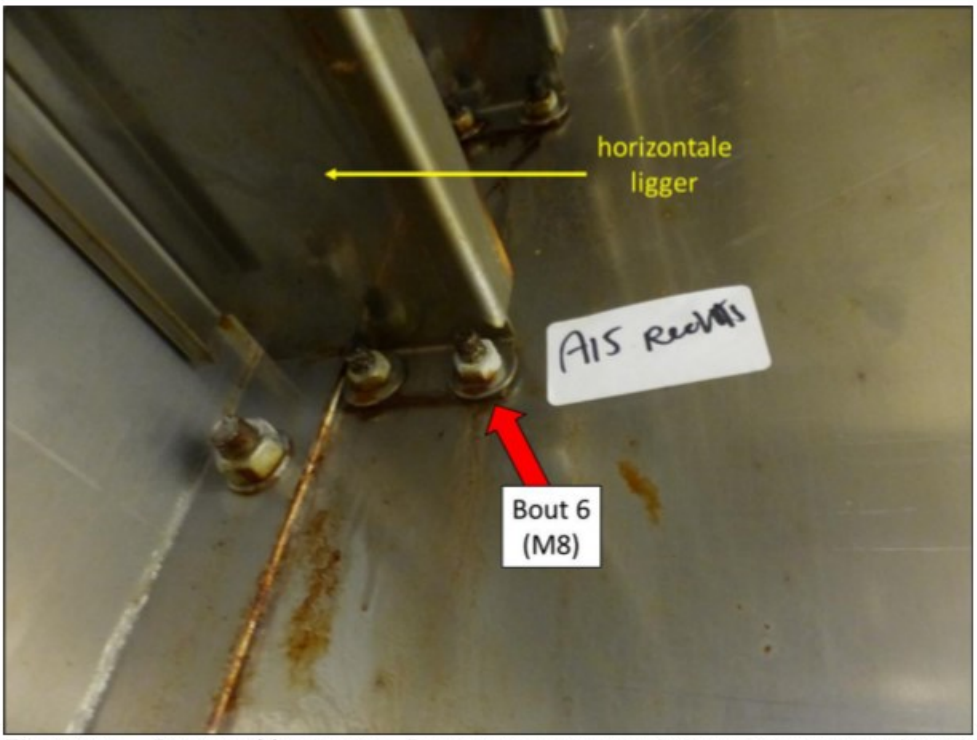
Figuur 19. Bout 5 vóór uitname. Bout was één van de vijf bouten waarmee de verticale verstevigingsplaat tussen vak A15 en vak A16 bevestigd zat aan het samengestelde voetstuk. Het materiaal rondom de bouten was in een eerder stadium zowel geborsteld als behandeld met een (vermoedelijk) corrosiewerend product.



Figuur 20. Stereomicroscopische opname van bout 5. Het afgedekte deel van bout 5 (een deel van de draadgang en de onderzijde van de boutkop) toonde niet of nauwelijks afzetting van roestproduct.



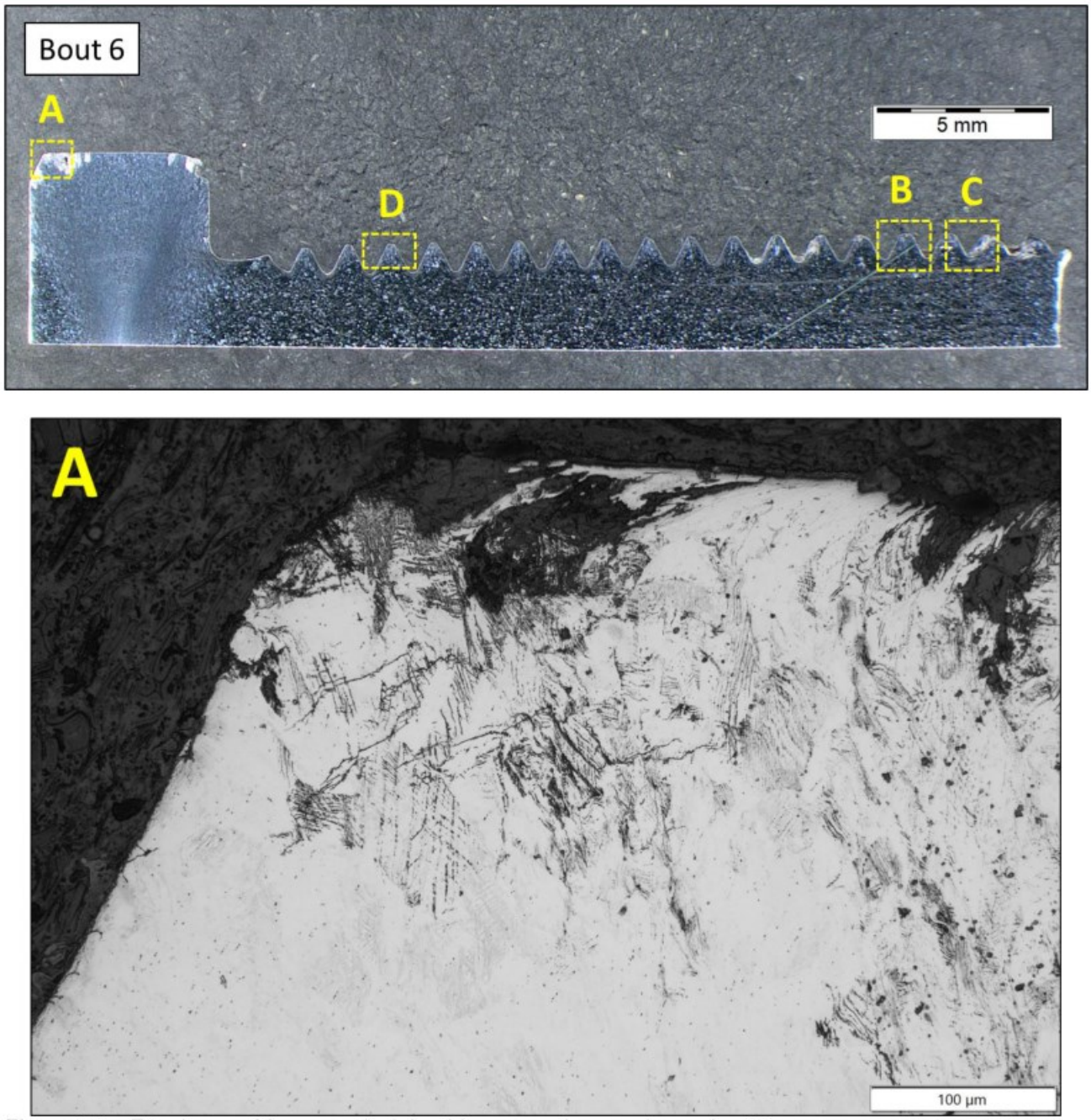
Figuur 21. Foto boven: Macroscopisch beeld van een doorsnede van bout 5.
Foto onder: Microscopische detailfoto van een van de aangetaste posities in bout 1 tussen de twee niet afgedekte tanden. De foto toont zowel fijn vertakte scheurvorming als selectieve aantasting van de microstructuur langs de deformatie- en sliplijnen.



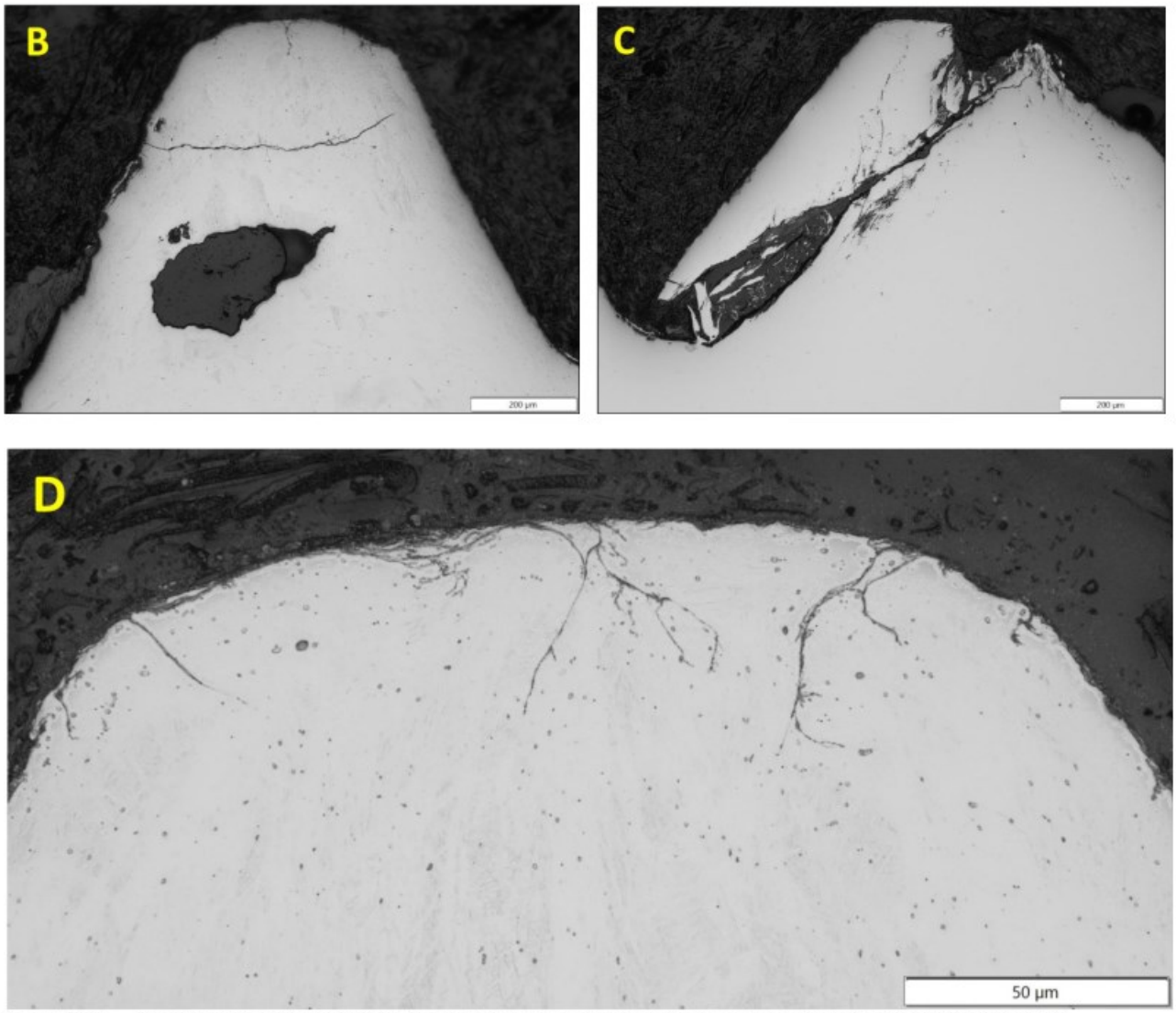
Figuur 22. Bout 6 vóór uitname. Bout 6 was een van de bouten waarmee de 3e horizontale ligger van onderen vastgemaakt zat aan de verticale verstevigingsplaat tussen vak A15 en vak A16



Figuur 23. Stereomicroscopische opname van bout 6. Het afgedekte deel van bout 6 (een deel van de draadgang en de onderzijde van de boutkop) toonde – visueel – niet of nauwelijks afzetting van roestproduct.



Figuur 24. Foto boven: Macroscopisch beeld van een doorsnede van bout 6.
Foto onder en foto's figuur 25: Microscopische detailfoto's van enkele van de vele aangetaste posities in bout 6. De foto's tonen zowel scheurvorming als selectieve aantasting van de microstructuur langs de deformatie- en sliplijnen. Foto onder: etsing met V2A.



Figuur 25. Microscopische detailfoto's van drie aangetaste draadtoppen van bout 6 met duidelijke scheurvorming. Zie figuur 24 voor oriëntatie. Foto D toont beginnende scheurvorming in een van de draadtoppen welke geheel afgedekt was.
Foto's linksboven en onder: etsing met V2A. Foto rechtsboven: gepolijste maar ongeëtste toestand.

Appendix 1: benummering bassinwand (door Element)

