

ONDERZOEK NAAR DE CONDITIE VAN  
ONDERDELEN VAN EEN 'WILDEN'  
PERSLUCHT MEMBRAANPOMP.

Opdrachtgever : De Onderzoeksraad Voor Veiligheid

Ref. opdrachtgever : Ing. R. Smits MSHE

Rapport nummer : SL 11.9064

Datum rapport : 7 oktober 2011

Onderzoeker/auteur : Dr.ir. J.P. van Houten

Verdeling : De Onderzoeksraad Voor Veiligheid  
Ing. R. Smits MSHE (2x)

Schielab b.v., archief (1x)

## **Inleiding.**

Een drietal delen van een “Wilden” perslucht membraanpomp, met brandschade en mogelijk andere schade, zijn voor onderzoek aangeboden aan Schielab.

Schielab is gevraagd om middels metaalkundig onderzoek een aantal vragen over de conditie van de delen te beantwoorden. Deze vragen staan letterlijk weergegeven in bijlage 1, met verwijzing naar een vijftal bijbehorende fotobladen (bijlage 2).

De volgende delen zijn in opdracht van De Onderzoeksraad Voor Veiligheid (OVV) door de sectie Forensische Opsporing, Politie Midden en West-Brabant (proces-verbaal no. 2011003557) voor onderzoek aangeboden. De delen waren afzonderlijk in gesloten enveloppen verpakt, gemarkeerd met een witte politie/justitie sticker voorzien van een SIN letter-cijfer combinatie:

- SIN AABL3663NL  
In deze envelop zat een sectie van een 2” pijpstuk. Dit pijpstuk was middels een schroefdraadverbinding aan het verdeelstuk perszijde van de membraanpomp gemonteerd. Het pijpstuk is uitgenomen en de betreffende sectie is bemonsterd door het Nederlands Forensisch Instituut (NFI).  
Behalve het reeds vermelde SIN nummer, toonde de verpakking van het pijpstuk (een dichtgeniete beige envelop) de rode stiftmarkering “2011003557 598967”.
- SIN AADB9325NL  
In deze envelop zat een deel van een melkkoppeling (PD).  
Behalve het reeds vermelde SIN nummer, toonde de verpakking van de melkkoppeling (een met plakband gesloten beige envelop) de rode stiftmarkering “2011003557 497733”.
- SIN AADB9324NL  
In deze envelop zat een kniestuk (PD) dat vast zou hebben gezeten aan de melkkoppeling.  
Behalve het reeds vermelde SIN nummer, toonde de verpakking van de melkkoppeling (een met plakband gesloten beige envelop) de rode stiftmarkering “2011003557 497740”.

In dit rapport zullen door Schielab de delen met hun naam en de vier cijfers uit de SIN letter-cijfer combinatie worden aangeduid.

De volgende vragen zijn door OVV aan Schielab gesteld (zie bijlagen 1 en 2):

1. het vaststellen van de legeringtypen van de drie aangeboden delen.
2. vaststellen of pijpstuk 3663 middels een las verbonden is geweest met melkkoppeling 9325.
3. het vaststellen van mogelijke corrosie of erosieschade van kniestuk 9324, opgetreden voorafgaande aan de vervolgschade (brand).
4. vaststellen of het kniestuk 9324 mechanisch beschadigd is.

### **Uitgevoerd onderzoek.**

De voor onderzoek aangeboden delen zijn visueel onderzocht.

Het kniestuk is nader onderzocht op schadekenmerken middels stereomicroscopie met vergrotingen tot ca. 25x.

De materiaalsamenstelling van de delen is vastgesteld met chemische analyse middels Optische Emissie Spectrometrie (OES).

Doorsneden van de drie delen zijn geprepareerd voor macroscopisch en microscopisch onderzoek.

De geprepareerde doorsneden van pijpstuk 3663 en melkkoppeling 9325 zijn middels een Energie-Dispersieve Röntgenmicro-analyse (EDX) probe in een raster elektronen microscoop (REM) onderzocht op lokale verschillen in chemische samenstelling, teneinde de mogelijke aanwezigheid van lasmetaal vast te stellen.

Tevens is een EDX analyse uitgevoerd aan oxidisch product bemonsterd van het binnenoppervlak van de bocht van kniestuk 9324.

### **Resultaten en discussie.**

*Visueel onderzoek.*

pijpstuk 3663 (zie figuur 1):

Het pijpstuk betrof het door NFI bemonsterde einde (zie bijlage 2, fotobladen 1 en 2) van het pijpdeel dat gemonteerd was in het verdeelstuk aan de perszijde van de pomp.

Het pijpstuk had een lengte van ca. 27mm. Het snijvlak was in de gepolijste toestand.

Het pijpstuk was enigszins ovaal vervormd en had een buitendiameter van ca. 60,3mm en ca. 58,1mm ter plaatse van het snijvlak, en een diameter van ca. 65mm bij de verbrande lip en een diameter van ca. 60mm ter plaatse van het breukvlak. De wanddikte ter plaatse van het breukvlak was 2 tot 3 mm.

Met name aan het inwendige van de pijp, en bij de lip (zowel aan binnen- als aan het buitenoppervlak), was een dikke zwarte korst van oxiden aanwezig, plaatselijk tot wel 3,5mm dik. De oxiden werden door een magneet aangetrokken en betroffen zodoende deels magnetiet  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , een oxide dat bij hoge temperatuur gevormd wordt. Het oppervlak dat niet of niet meer door korst was bedekt had een zwart geblakerd uiterlijk.

De wanddikte, zoals zichtbaar op het gepolijste snijvlak, verliep van 2,2mm tot 3,9mm. De oorspronkelijke wanddikte heeft vermoedelijk ca. 4mm bedragen. Ter plaatse van de afgenomen wanddikte bleek de korst van oxiden aan het binnenoppervlak dikker te zijn. De wanddikte afname bleek zodoende duidelijk gerelateerd te zijn aan de opgetreden oxidevorming.

Het pijpmateriaal werd niet door een magneet aangetroffen.

#### melkkoppeling 9325 (zie figuur 2):

De melkkoppeling had een lengte van ca. 57mm. De diameter van de 22mm hoge sluitring bedroeg 92mm.

De posities van de drie delen van de melkkoppeling (een slangeinde dat middels de sluitring op de pijpsectie met breukdeel bevestigd was) ten opzichte van elkaar waren middels boringen aan het buitenoppervlak gemarkeerd.

Ter plaatse van het breukvlak bedroeg de uitwendige diameter ca. 60 mm, en de inwendige diameter ca. 50mm.

De koppeling toonde een overwegend zwart geblakerd uiterlijk, ter plaatse van de markeringsen was het oppervlak nog enigszins bruin.

Met name aan het inwendige van de koppeling was een dikke zwarte korst van oxiden aanwezig, plaatselijk tot wel 1mm dik. De oxiden werden door een magneet aangetrokken en betroffen zodoende deels magnetiet  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , een oxide dat bij hoge temperatuur gevormd wordt. Het oppervlak dat niet of niet meer door korst was bedekt had een bruin tot zwart geblakerd uiterlijk.

De wanddikte ter plaatse van het breukvlak varieerde van ca. 3,2mm tot ca. 5mm. De oorspronkelijke wanddikte heeft vermoedelijk ca. 5mm bedragen. De opgetreden wanddikte afname bleek het gevolg van aantasting aan het inwendige (korsten van oxiden).

De vlakke onderzijde van het vastgeklemde deel is de slanginklemming geweest. Dit deel had een uitwendige diameter van 60,8mm en een inwendige diameter van 51,2mm. Het metalen deel van de slangbevestiging (zoals nog wel aanwezig aan de aansluitzijde van het kniestuk 9324, zie figuur 3) was niet meer aanwezig.

Behoudens de aangetroffen oxiden, was het materiaal van de delen van de koppeling niet magnetisch.

#### mogelijke verbinding tussen pijpstuk 3663 en melkkoppeling 9325 (zie figuur 3):

De breukdelen van het pijpstuk 3663 en de melkkoppeling 9325 leken in redelijke mate op elkaar te passen, dusdanig dat deze zeer wel mogelijk oorspronkelijk met een las aan elkaar verbonden kunnen zijn geweest. Visueel onderzoek toonde echter geen las meer.

De buitendiameter van de breukvlakken was vrijwel gelijk. Wel was een verschil in wanddikte aan het breukvlak zichtbaar: de wanddikte van de breuk van het pijpstuk was ca. 3mm, de wanddikte van de breuk van de melkkoppeling varieerde van 3,2mm tot 5mm.

kniestuk 9324 (zie figuur 4):

Het kniestuk had een geprojecteerde lengte van ca. 230mm. Het kniestuk bestond uit een met koppeling met een 22mm hoge sluitring met diameter 92mm.

De posities van de drie delen van het kniestuk ten opzichte van elkaar (een slangeinde dat middels de sluitring op de bochtsectie met breukdeel bevestigd was) waren middels boringen aan het buitenoppervlak gemarkeerd.

Het nog ingeklemde slangeinde was ca. 65mm lang. Dit einde had een uitwendige diameter van ca. 50,5mm en een wanddikte van ca. 2,2mm.

Het aan de andere zijde ingeklemde bochtdeel maakte een hoek van ca. 90°, en was aan het einde van de bocht gebroken en gedeformeerd. De buitenradius van de bocht bedroeg ~80mm, de binnenradius van de bocht was ca. 37 mm.

Het bochtdeel had een uitwendige diameter van 50,5mm. De wanddikte varieerde van 1,4mm tot 2,0 mm langs de buitenbocht, en varieerde van 2,5mm tot 3,0mm langs de binnenbocht. De verschillen in wanddikte tussen buiten- en binnenomtrek houden vermoedelijk verband met de fabricage (buigen van buis naar bocht) van het kniestuk. De spreiding in de gemeten wanddikte houdt verband met de aanwezigheid van oxidische korsten aan het binnenoppervlak.

Ter plaatse van de breuk was de resterende wanddikte 0mm tot 1,9mm.

Het geheel toonde een geblakerd uiterlijk. Met name aan het inwendige was een zwarte korst van oxiden aanwezig.

Behoudens de aangetroffen oxiden, was het materiaal van de delen van het kniestuk niet magnetisch.

*Stereomicroscopisch onderzoek van de breuk van het kniestuk 9324.*

De bocht van het kniestuk was ter plaatse van de breuk sterk gedeformeerd en plaatselijk ingescheurd (zie figuren 4 en 5). Alle scheurvlakken toonden een geblakerd uiterlijk, en er zijn geen metallisch blanke (“verse”) scheurdelen aangetroffen.

Het binnenoppervlak ter plaatse van de breuk toonde een ruw uiterlijk, als gevolg van bedekking met een ruwe korst van oxiden. De korst is bemonsterd voor EDX analyse.

De resterende wanddikte, zoals bepaald met een beugelmicrometer, was in het centrum van de bocht ca. 1,3mm aan de binnenomtrek van de bocht en 1,5 tot 1,9 mm aan de buitenomtrek van de bocht.

Verder zijn aan het scheurvlak met name langs de binnenomtrek van de bocht plaatselijk gestolde druppels metaal aangetroffen.

*Macroscopisch en microscopisch onderzoek.*

Doorsneden over de breukvlakken van het pijpstuk 3663, de melkkoppeling 9325 en het kniestuk 9324 zijn geprepareerd voor macroscopisch onderzoek. Preparatie van de bemonsterde secties bestond uit inbedden, schuren tot grit 100 en polijsten tot grit 1 micron. De doorsneden zijn vervolgens geëtst met V2A.

pijpstuk 3663 – melkkoppeling 9325:

De posities van de doorsneden over pijpstuk 3663 en melkkoppeling 9325 worden getoond in figuur 3. Om de mogelijke aanwezigheid van een las te onderzoeken zijn de doorsneden geprepareerd op schijnbaar minder verbrande posities van het breukvlak, diametraal tegenover elkaar gelegen. De geprepareerde doorsneden worden getoond in figuur 6.

De doorsneden tonen duidelijke aantasting vanaf het inwendige oppervlak. De afwijkende etsing van de zones langs het binnenoppervlak en aan de breukvlakken hield overwegend verband met (de hieronder beschreven) opgetreden oververhitting van het metaal (zie figuren 7 en 8). Slechts in de doorsnede op de 1 uur positie, aan de breuk aan de kant van de melkkoppeling 9325 (zie pijlen figuur 6), is naderhand middels EDX de aanwezigheid van lasmetaal bevestigd.

Beide delen toonden een austenitische matrix met lichte banenvorming, gebruikelijk voor pijpmateriaal van austenitisch roestvast staal.

De oververhitting van het metaal (zie figuren 7 en 8) bleek met name uit de opgetreden korrelgroei, stollingsstructuren en gevormde hoge temperatuur oxiden aan het binnenoppervlak van de beide delen. Het buitenoppervlak toonde, zoals ook bleek uit visueel onderzoek, beduidend minder thermische schade. Dit verschil in thermische schade tussen binnen- en buitenoppervlak van relatief dunwandig roestvaststaal is opmerkelijk, maar zou verband kunnen houden met opgetreden fluxvorming (verlaging van de smelttemperatuur door diffusie en opmenging in contact met de ten tijde van de brand aan het binnenoppervlak aanwezige producten.

kniestuk 9324:

De doorsneden over het breukvlak van het kniestuk zijn genomen aan de buitenbocht en aan de binnenbocht. De geprepareerde doorsneden worden getoond in figuur 9.

Het materiaal langs de buitenbocht leek beduidend minder thermisch beïnvloed te zijn dan het materiaal langs de binnenbocht, en toonde nog een vage banenvormende austenitische matrix. Beide doorsneden (zie figuren 10 en 11) toonden aanzienlijke korrelgroei, stollingsstructuren en gevormde hoge temperatuur oxiden. De stollingsstructuren en gevormde oxiden waren overwegend aan het binnenoppervlak van de beide doorsneden zichtbaar, met name langs de binnenbocht.

*Chemische analyse (OES).*

De chemische samenstelling van de delen is vastgesteld middels Optische Emissie Spectrometrie (OES). De resultaten staan vermeld in tabel 1.

**Tabel 1.** De chemische samenstelling van de drie delen, met ter vergelijking de eisen voor de samenstellingen van AISI TP304 en TP316 volgens ASTM A312 (2004), en de vrijwel overeenkomende eisen voor Werkstoff-nummers 1.4301 en 1.4401 volgens DIN 17.440 (1996).

element	pijpstuk 3663	melkkoppelin g 9325	kniestuk 9324	eisen TP304	eisen 1.4301	eisen TP316	eisen 1.4401
C	0,034	0,069	0,156	≤0,08	≤0,07	≤0,08	≤0,07
Al	<0,01	<0,01	<0,01	---	---	---	---
Si	0,62	0,36	0,42	≤1,00	≤1,00	≤1,00	≤1,00
Mn	0,97	1,47	1,47	≤2,00	≤2,00	≤2,00	≤2,00
P	0,026	0,028	0,027	≤0,045	≤0,045	≤0,045	≤0,045
S	0,011	0,030	0,008	≤0,030	≤0,015*	≤0,030	≤0,015*
Cr	16,4	17,8	17,6	18,0-20,0	17,00-19,00	16,0-18,0	16,50-18,50
Ni	10,6	8,5	8,7	8,0-11,0	8,00-10,50	11,0-14,0	10,00-13,00
Mo	2,3	0,33	0,22	---	---	2,00-3,00	2,00-2,50
Ti	<0,01	<0,01	<0,01	---	---	---	---
Nb	<0,01	<0,01	<0,01	---	---	---	---
N	0,030	0,045	0,062	---	≤0,11	---	≤0,11

\* voor smeedstukken en te bewerken delen is  $S \leq 0.030$  toegestaan.

Uit de analyses is het volgende afgeleid:

a) uit de globale samenstellingen (chromium en nikkelgehalte) wordt afgeleid dat de drie items vervaardigd zijn van austenitisch roestvast staal. Austenitisch roestvast staal is niet magnetisch, hetgeen verklaart dat geen van de materialen door een magneet werd aangetrokken.

b) het pijpstuk 3663 betreft een type AISI TP316 roestvaststaal, met een wat te laag nikkelgehalte. Indien het van materiaal volgens Werkstoff-nr. 1.4401 volgens DIN 17.440 zou zijn, voldoet het nikkelgehalte, maar is juist het chromiumgehalte iets te laag.

c) de melkkoppeling 9325 betreft een type AISI TP304 roestvast staal, ook overeenkomende met DIN Werkstoff-nummer 1.4301.

d) het kniestuk 9324 heeft een bijzonder hoog koolstofgehalte, zeer ongebruikelijk voor austenitisch roestvaststaal. Het hoge koolstofgehalte houdt vermoedelijk verband met koolstofopname bij hoge temperatuur, zoals opgetreden tijdens de brand.

Afgezien van het hoge koolstofgehalte betreft het kniestuk een type AISI TP304 roestvaststaal, ook vrijwel overeenkomend (iets te laag chroom gehalte) met DIN Werkstoffnummer 1.4301.

*EDX analyse aan de doorsneden van het pijpstuk 3663 en de melkkoppeling 9325.*

De geprepareerde doorsneden, en met name de breukvlakken van het pijpstuk 3663 en melkkoppeling 9325, zijn lokaal middels EDX analyses op chemische samenstelling onderzocht. De analyses zijn uitgevoerd bij vergrotingen van 200x en hoger teneinde de lokale samenstellingen te bepalen.

De EDX spectra van pijpstuk 3663 waren zoals verwacht voor een type AISI 316 roestvaststaal of vergelijkbaar, terwijl de EDX spectra van de melkkoppeling 9325 overeen kwamen met een type AISI 304 roestvast staal of vergelijkbaar. Een karakteristiek spectrum van het pijpstuk 3663 en de melkkoppeling 9325 worden getoond in figuur 12.

Afgezien van de aangetroffen afwijkend etsende zones in de doorsnede van de melkkoppeling 9325 ter plaatse van de 1 uur positie (zie figuur 6), toonden de breukvlakken geen afwijkende zones.

De afwijkende zones aan het breukvlak van de melkkoppeling 9325 toonden een verhoogd molybdeengehalte (zie figuur 12).

Representatieve resultaten van de EDX analyses staan vermeld in tabel 2.

**Tabel 2.** De chemische samenstelling<sup>\*)</sup> (in m%) zoals bepaald met EDX aan de doorsneden van het pijpstuk 3663, de melkkoppeling 9325 en de afwijkende zones aangetroffen aan het breukvlak van de melkkoppeling.

element	pijpstuk 3663	melkkoppeling 9325	afwijkende zone melkkoppeling 9325
C	weinig	weinig	weinig
Si	0,7	0,3	0,4
Cr	16	18	17
Mn	0,7	1,8	1,1
Fe	matrix	matrix	matrix
Ni	10,2	8,9	9,2
Mo	2,0	---	1,5

\*) Opmerking:

EDX 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 0,3 tot 0,5 massa% bedraagt. De nauwkeurigheid van de resultaten hangt eveneens af van element en matrix, en bedraagt één 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 koolstof- en stikstofgehalte niet bij benadering met enigszins redelijke nauwkeurigheid worden bepaald. Koolstof- en stikstofgehalten worden daarom ingeschat op basis van ervaring, gebaseerd op de grootte van de betreffende pieken in het EDX-spectrum, of aangeduid in termen van bijvoorbeeld "veel" of "weinig". Bij de berekening van de andere percentages (waarbij het totaal als 100% wordt genomen) is het aandeel van koolstof en stikstof hierdoor niet inbegrepen.



De aanwezigheid van molybdeen aan het breukvlak van de melkkoppeling, en ook het ter plaatse lagere chroom- en mangaangehalte en het verhoogde Si en nikkelgehalte, duiden op lasmetaal, van een las tussen een type AISI 304 (de melkkoppeling) naar een type AISI 316 roestvaststaal (het pijpstuk).

*EDX analyse van het product bemonsterd van het binnenoppervlak van het kniestuk 9324.*

De korst bemonsterd van het binnenoppervlak van het kniestuk 9324 is voorafgaande aan de EDX analyse in een vijzel fijngestampt. Het product is vervolgens vanwege de voor het onderzoek noodzakelijke elektrische geleiding op een dubbelzijdige koolstofsticker aangebracht ter analyse.

De EDX analyse is uitgevoerd met een versnelspanning van 15 kV en een vergroting van 30x (zie figuur 13). De resultaten van de analyse staan vermeld in tabel 3.

**Tabel 3.** De chemische samenstelling<sup>\*)</sup> (in m%) zoals bepaald met EDX van de korst bemonsterd aan het binnenoppervlak van het kniestuk.

element	korst van het binnenoppervlak van het kniestuk 9324
C	enig
O	22
Al	0,4
Si	0,3
S	0,5
Cr	9,4
Mn	1,0
Fe	61
Ni	5,7
Mo	---

\*) zie opmerking onder tabel 2

De korst betrof oxidisch materiaal van het type AISI 304 roestvast staal van het kniestuk. In het oxide is enig zwavel (S) en aluminium (Al) aangetroffen. Deze elementen zijn vermoedelijk afkomstig van verbrand product dat in de leiding aanwezig is geweest. Van zwavel is bekend dat het tot verlaging van het smeltpunt (fluxvorming) van roestvaststaal kan leiden.

## Samenvattende discussie en beantwoording van de gestelde vragen.

De antwoorden op de aan Schielab gestelde vragen (zie bijlagen 1 en 2), met de motivatie, zijn als volgt:

1. Op basis van de OES analyse zijn de volgende legeringstypen van de drie items vastgesteld:  
pijpstuk AABL3663NL : een type AISI TP 316 roestvaststaal of daarmee overeenkomend (b.v. Werkstoff-nummer 1.4401).  
melkkoppeling AADB9325NL : een type AISI TP 304 roestvaststaal of daarmee overeenkomend (b.v. Werkstoff-nummer 1.4301).  
kniestuk AADB9324NL : een type AISI TP 304 roestvaststaal of daarmee overeenkomend (b.v. Werkstoff-nummer 1.4301).

De delen toonden restanten van een gebruikelijke austenitische banenvormende matrix, en bleken in sterke mate door warmte te zijn beïnvloed (brand). Als gevolg hiervan zijn plaatselijk korrelgroei, smeltverschijnselen en verbranding (hoge temperatuur oxidatie) opgetreden.

De licht afwijkende samenstelling van het kniestuk, te weten een voor een type AISI TP 304 bijzonder hoog koolstofgehalte en een verhoogd stikstofgehalte, houden vermoedelijk verband van opname van deze elementen uit de verbrandingsgassen (opkoling en nitring) onder de tijdens de brand opgetreden hoge temperaturen.

2. Als gevolg van korrelgroei, smeltverschijnselen en verbranding waren de breukvlakken van het pijpstuk AABL3663NL en de melkkoppeling AADB9325NL dermate beschadigd dat oorspronkelijke breukkenmerken niet meer zichtbaar waren. De buitenomtrek van de beide delen ter plaatse van breuk kwam overeen, de breukdelen leken in redelijke mate op elkaar te passen. Restanten van lassen waren, mogelijk als gevolg van verbranding, met visueel onderzoek niet meer zichtbaar. In een van de twee geprepareerde doorsneden over de breuk is ter zijde van de melkkoppeling (TP 304) met EDX analyse duidelijk de aanwezigheid van molybdeenhoudend lasmetaal vastgesteld, duidende op een las met TP 316 roestvaststaal, hetgeen dus zeer wel mogelijk een las met het pijpstuk (TP 316) zou kunnen zijn.

Uit de gecombineerde resultaten wordt het aannemelijk geacht dat pijpstuk AABL3663NL middels een las verbonden is geweest met de melkkoppeling AADB9325NL. Als gevolg van de opgetreden vervolgschade (brand) kan de laskwaliteit niet meer beoordeeld worden.

3. Het binnenoppervlak van het kniestuk AADB9324NL was dermate door de brand beïnvloed dat mogelijke corrosie of erosieschade niet meer vastgesteld kon worden. Het waargenomen verschil in wanddikte tussen binnen- en buitenomtrek van de bocht (resp. ca. 2,5-3,0mm en 1,4-2,0 mm) houdt vermoedelijk verband met de fabricage van de bocht van het kniestuk. De positie van opgetreden breuk van het kniestuk lag aan het einde van de bocht. Indien erosie een rol had gespeeld, was de positie van breuk eerder nabij het centrum van de bocht verwacht. Met het microscopisch onderzoek zijn geen indicaties van corrosie of scheurvormige corrosie aangetroffen. Het lijkt dan ook weinig aannemelijk dat erosie of corrosie tijdens normaal bedrijf tot schade van het kniestuk hebben geleid. De aangetroffen schade betreft korrelgroei, smeltverschijnselen en verbranding van het metaal, als gevolg van de opgetreden hoge temperaturen tijdens de brand. Hierbij is uiteindelijk deformatie en scheurvorming opgetreden.
  
4. De rekgrens en treksterkte van roestvast staal, waaronder type AISI 304, zijn in sterke mate temperatuurafhankelijk. Bij kamertemperatuur bedraagt de rekgrens van AISI 304 ca. 290 MPa en de treksterkte ca. 600 MPa (afhankelijk van de fabricagegeschiedenis, met name van de mate van de resterende koudvervorming). Al bij 500°C is de rekgrens nog slechts ca. 90 MPa en de treksterkte nog slechts 120 MPa (bron: Outokumpu stainless steel data sheets). De maximum toegestane gebruikstemperatuur van type AISI 304 roestvaststaal is dan ook, mede gelet op anders optredende schadelijke uitscheidingen, in het algemeen niet hoger dan 400°C. Gezien de aangetroffen stollingsstructuren zijn de temperaturen van het kniestuk ten tijde van de brand echter tot nabij het smeltpunt van ca. 1400°C geweest. Onder dergelijke condities heeft het materiaal vrijwel geen sterkte meer en kan het onder de geringste spanningen al deformer en scheuren. De opgetreden deformatie en scheurvorming van het kniestuk AADB9324NL is zodoende al onder relatief lage belasting (bijvoorbeeld inklemspanningen, druk in de leiding of gewicht van de leiding zelf) optreden. Er is geen reden om aan te nemen dat een extra mechanische belasting tot deformatie en scheuren heeft geleid, maar dit valt ook niet meer uit te sluiten.

## Conclusies.

De drie onderzochte delen bleken van de volgende materialen:

- |               |            |  |
|---------------|------------|--|
| pijpstuk      | AABL3663NL | : een type AISI TP 316 roestvaststaal of daarmee overeenkomend (b.v. Werkstoff-nummer 1.4401). |
| melkkoppeling | AADB9325NL | : een type AISI TP 304 roestvaststaal of daarmee overeenkomend (b.v. Werkstoff-nummer 1.4301). |
| kniestuk      | AADB9324NL | : een type AISI TP 304 roestvaststaal of daarmee overeenkomend (b.v. Werkstoff-nummer 1.4301). |

Het wordt aannemelijk geacht dat pijpstuk AABL3663NL middels een las verbonden is geweest met de melkkoppeling AADB9325NL. De kwaliteit van deze lasverbinding kon echter als gevolg van de opgetreden vervolgschade (brand) niet meer vastgesteld worden.

Het lijkt weinig aannemelijk dat erosie en/of corrosie tijdens normaal bedrijf tot schade van het kniестuk AADB9324NL hebben geleid.

De opgetreden deformatie en scheurvorming van het kniестuk AADB9324NL is bij zeer hoge temperaturen, onder relatief lage belastingen (bijvoorbeeld inklemspanningen, druk in de leiding, eigengewicht), opgetreden. Er is geen reden om aan te nemen dat een extra mechanische belasting tot deformatie en scheuren heeft geleid, maar dit valt ook niet meer uit te sluiten.

Alle specifieke kenmerken van het (de) bovengenoemde object(en) zijn, voor zover toegankelijk en relevant, geverifieerd door Schielab bv. Overige informatie is aangeleverd door de opdrachtgever. Deze informatie is voor zover mogelijk geverifieerd en verder ongewijzigd in dit rapport overgenomen. 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 Schielab bv. een destructief onderzoek uitbesteed (op het rapport gemerkt met 'U'). Meninge(n), interpretatie(s) en advieze(n) weergegeven in dit rapport vallen buiten het dekkingsgebied van de huidige RvA accreditatie, maar zijn naar waarheid en eerlijkheid gegeven volgens het beste weten van het betrokken Schielab personeel. Als, bij reproductie, slechts delen van dit rapport worden gekopieerd, draagt Schielab geen enkele verantwoording voor inhoud, strekking en conclusies in dat kopie. Digitale versies van dit rapport hebben geen rechtsgeldigheid. Rechtsgeldigheid hebben slechts de rapporten die op Schielab papier zijn uitgebracht en tevens van een geautoriseerde ondertekening zijn voorzien.

Geautoriseerd, 7 oktober 2011,

Ir. L.H. Brantsma IWE IWI  
(algemeen bedrijfsleider)



**Figuur 1.** Pijpstuk 3663, in zijaanzicht (linksboven), aanzicht op het breukvlak (rechtsboven, linksonder) en aanzicht op het snijvlak (rechtsonder).



**Figuur 2.** Melkkoppeling 9325, in zijaanzicht (linksboven), in schuinaanzicht (rechtsboven), in aanzicht op de slangaansluiting (linksonder), en aanzicht op het breukvlak (foto rechtsonder).

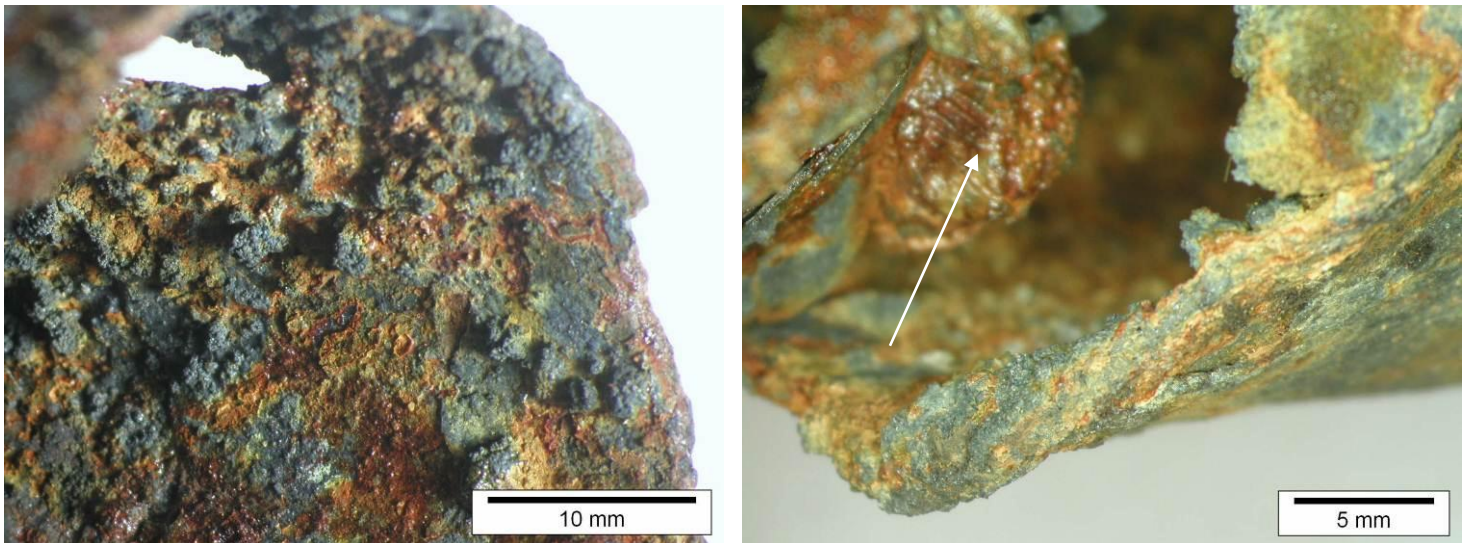


**Figuur 3.** De verbinding tussen pijpstuk 3663 en melkkoppeling 9325. De posities van de later geprepareerde doorsneden voor microscopisch onderzoek zijn met zwarte (donkere) stift als rechthoeken aangegeven. De posities lagen vrijwel diametraal tegenover elkaar.

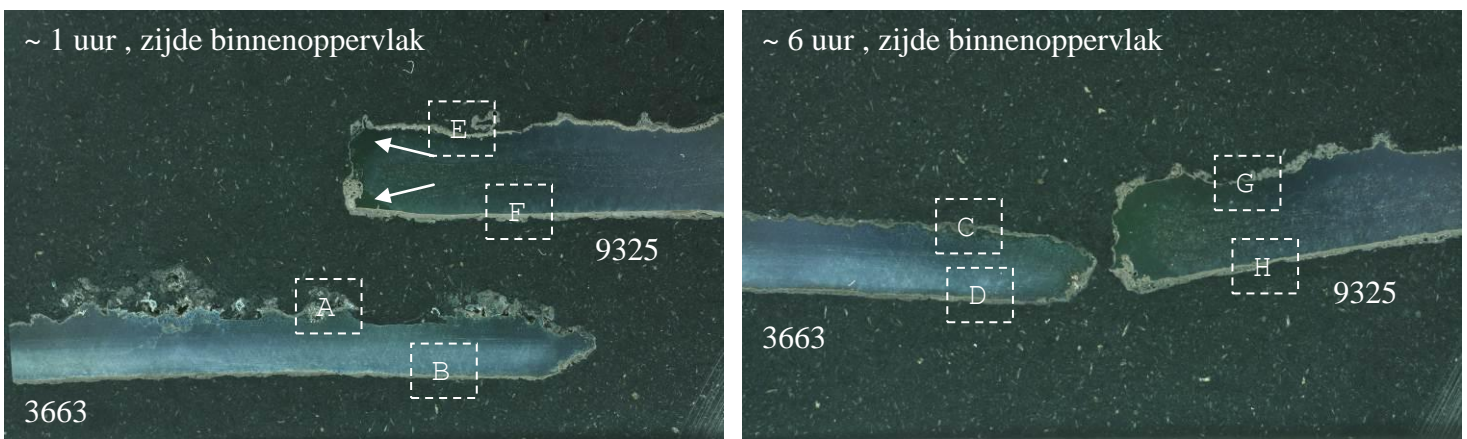


**Figuur 4.** Overzicht van het kniestuk 9324 (foto linksboven), met details van het slangeindec (foto linksonder) en het afgebroken einde (rechtsboven en rechtsonder).

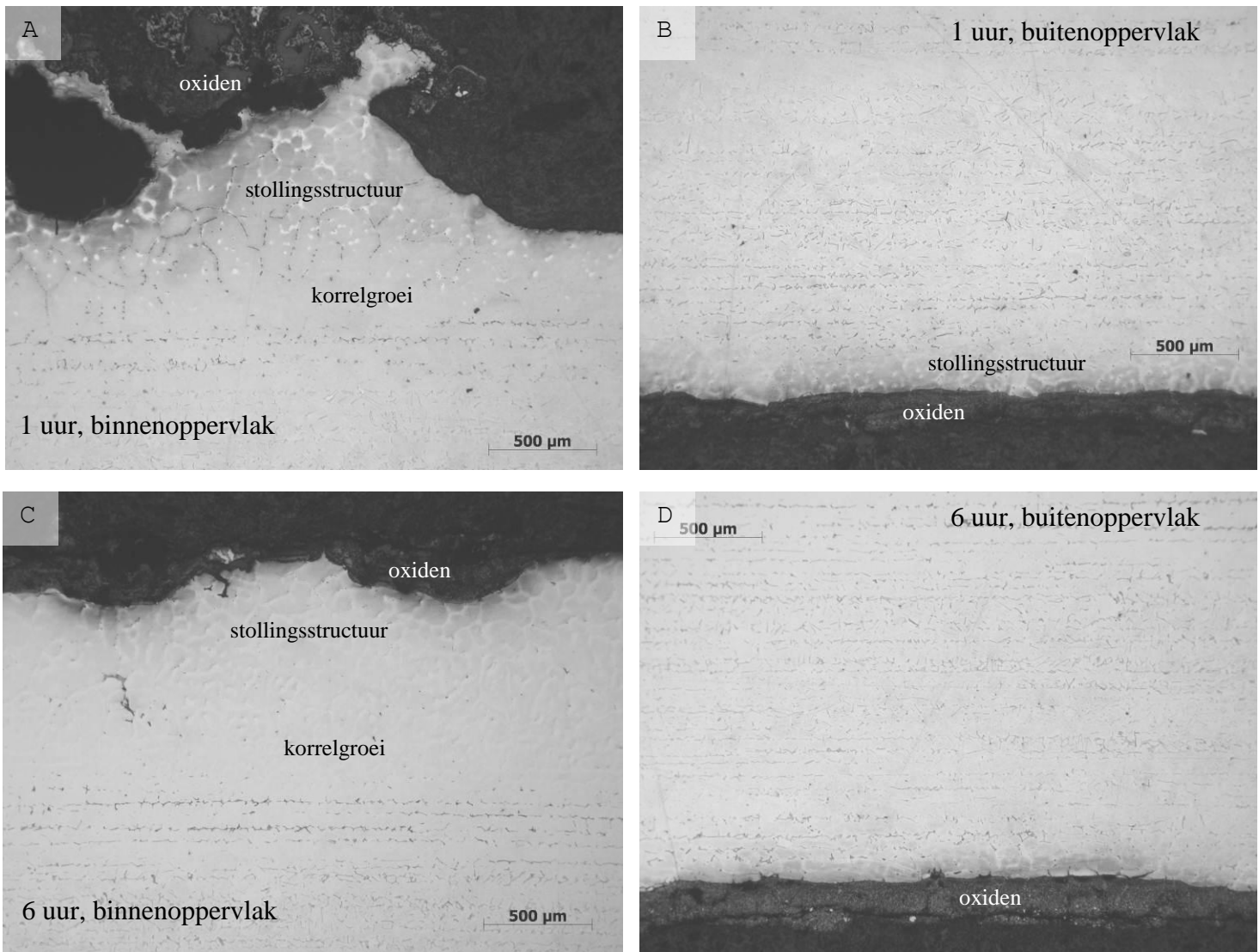




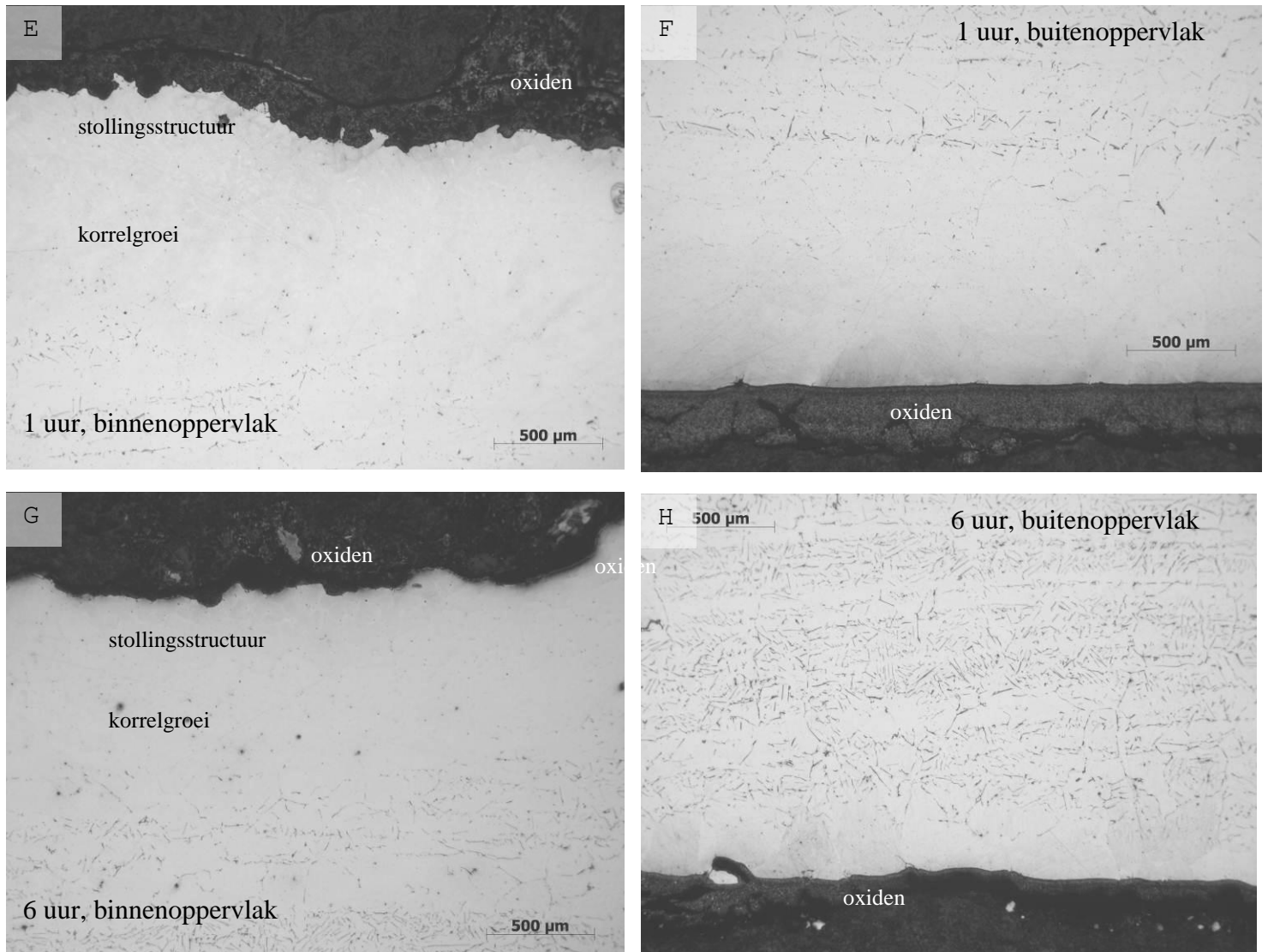
**Figuur 5.** Stereomicroscopisch detail van het kniestuk 9324.  
Links: detail van het binnenoppervlak van de breuk aan de buitenbocht.  
Rechts: detail van de breuk aan de binnenbocht. In het detail is een “druppel” zichtbaar (zie pijl).



**Figuur 6.** Macroscopisch beeld van de doorsneden van de verbinding tussen pijpstuk 3663 en melkkoppeling 9325.  
Aan de breukvlakken van de delen zijn afwijkend etsende zones aangetroffen, die overwegend verband hielden met opgetreden oververhitting van het metaal. Slechts bij één breukvlak (aangegeven met witte pijlen) is met EDX analyse een afwijkende samenstelling aangetroffen.  
De posities van de microscopische opnamen (zie figuren 7 en 8) zijn met gestippelde rechthoeken met letters aangegeven.



**Figuur 7.** Microscopisch detail van de doorsneden (zie figuur 6) van het pijpstuk 3663. De posities van de doorsneden staan aangegeven in figuur 6. De oververhitting van het metaal bleek met name uit de opgetreden korrelgroei, stollingsstructuren aan met name het binnenoppervlak, en de gevormde hoge temperatuur oxiden.  
Vergroting: 50x  
Etsmiddel: V2A



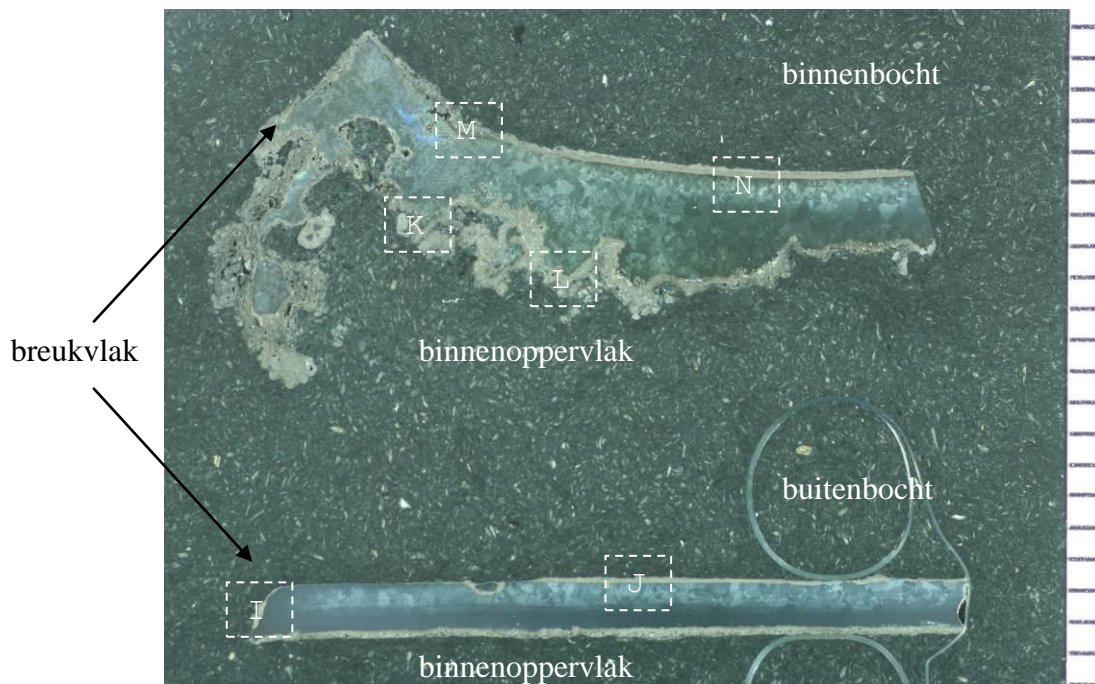
**Figuur 8.** Microscopisch detail van de doorsneden (zie figuur 6) van de melkkoppeling 9325.

De posities van de doorsneden staan aangegeven in figuur 6.

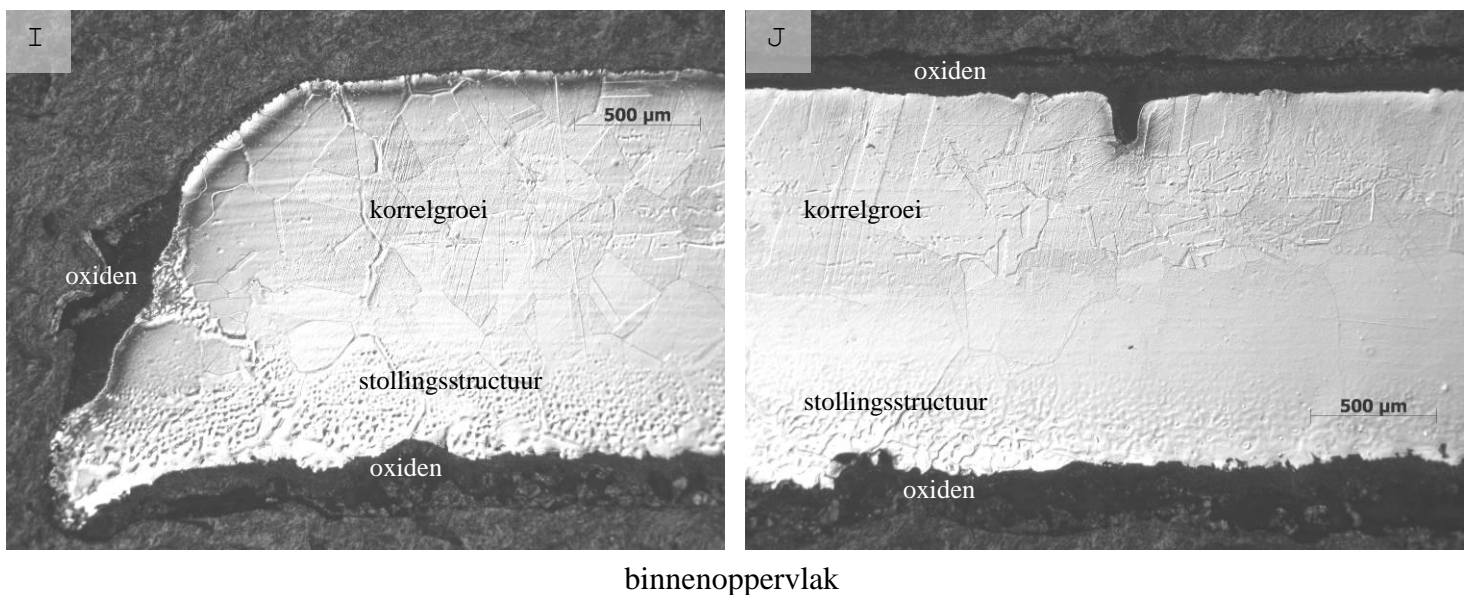
Het binnenoppervlak van de melkkoppeling bleek in beide doorsneden meer door warmte beïnvloed (stollingsstructuren) dan het buitenoppervlak.

Vergroting: 50x

Etsmiddel: V2A

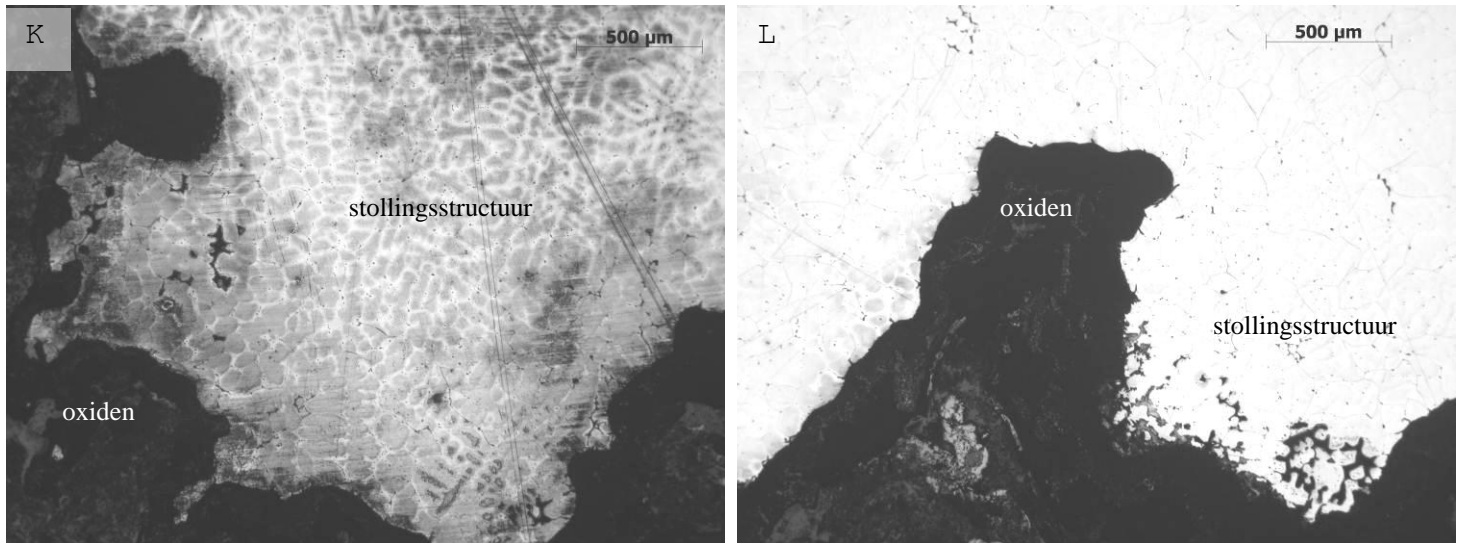


**Figuur 9.** Macroscopisch beeld van (langs)doorsneden van het breukvlak (links) van kniestuk 9324, genomen ter plaatse van de buitenbocht en de binnenbocht. Het breukvlak is aangegeven met pijlen. De posities van de microscopische opnamen (zie figuren 10 en 11) zijn met gestippelde rechthoeken met letters aangegeven. Etsmiddel: V2A

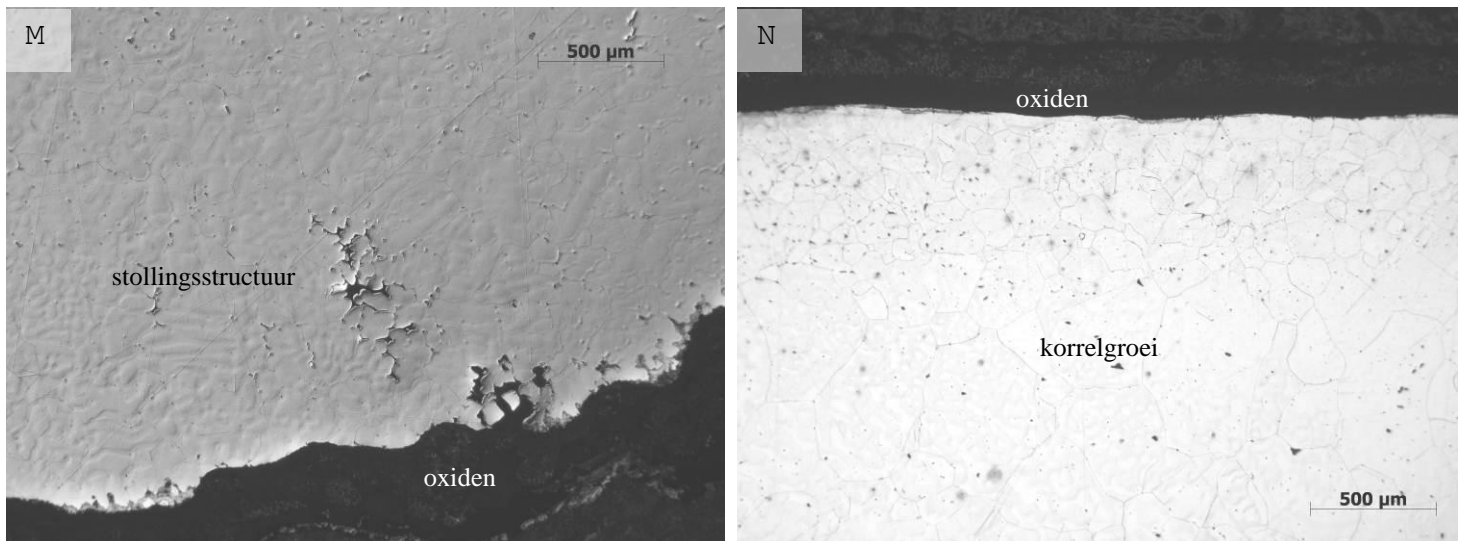


**Figuur 10.** Microscopisch detail van het breukvlak (zie figuur 9) langs de buitenomtrek van kniestuk 9324. De doorsnede toonde aanzienlijke korrelgroei, stollingsstructuren en gevormde hoge temperatuur oxiden. Vergroting: 50x, gepolariseerd licht. Etsmiddel: 10% oxaalzuur

binnenoppervlak



buitenoppervlak



**Figuur 11.** Microscopisch detail nabij het breukvlak (zie figuur 9) langs de binnenomtrek van kniestuk 9324.

Links: nabij het breukvlak

Rechts: verder van breuk

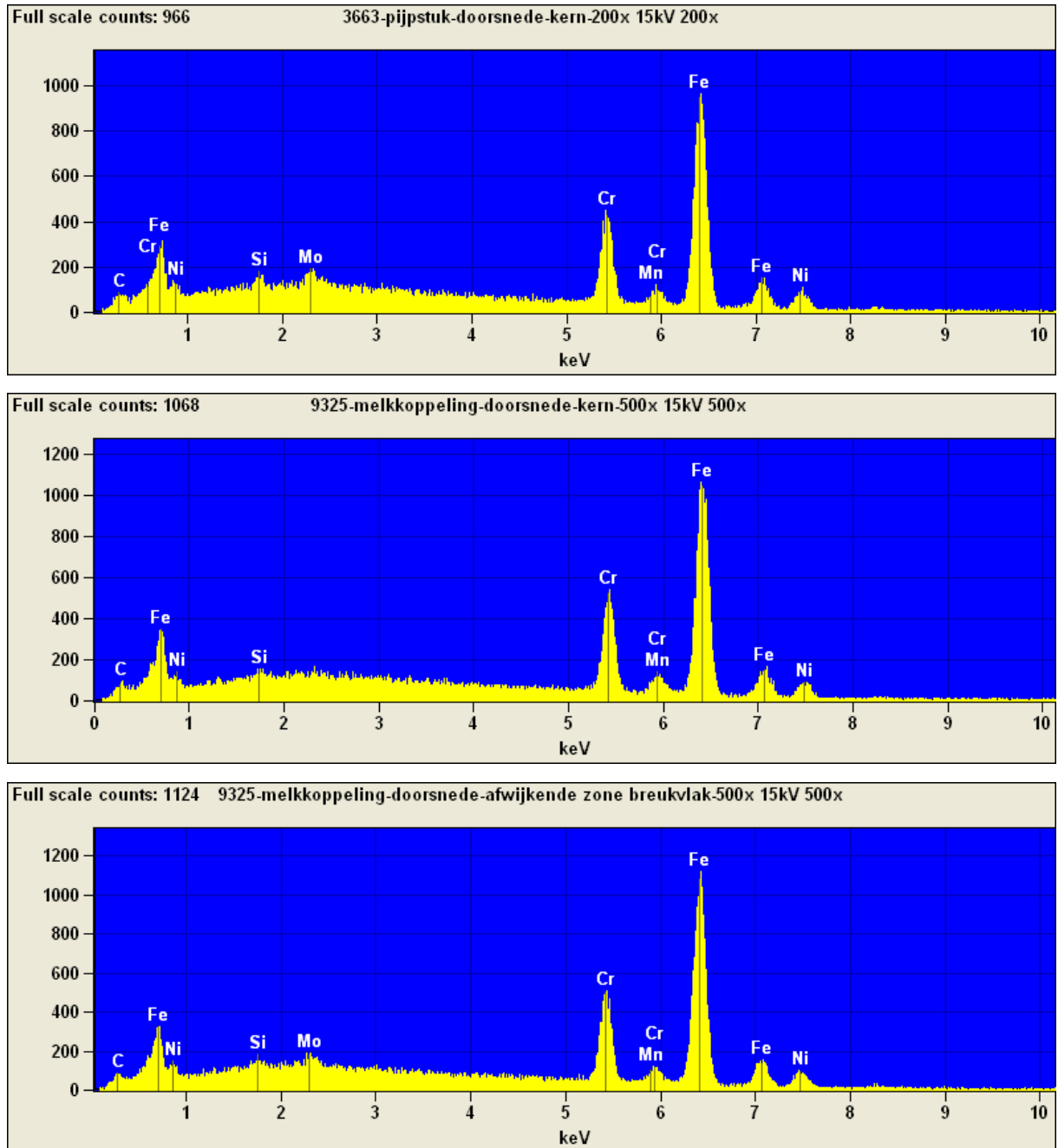
De posities van de doorsneden staan aangegeven in figuur 9.

De doorsnede toonde aanzienlijke korrelgroei, stollingsstructuren en gevormde hoge temperatuur oxiden, overwegend langs het binnenoppervlak.

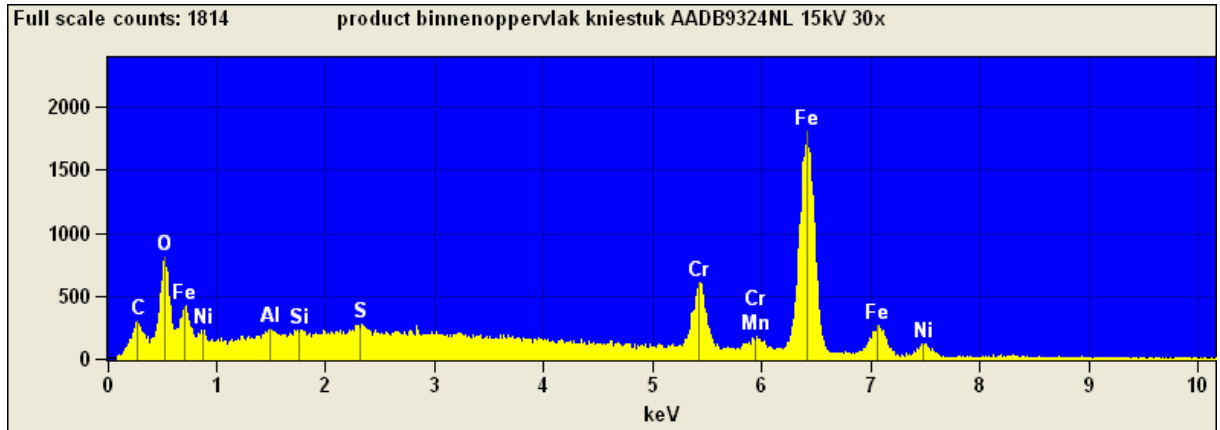
Vergeleken met de buitenbocht (figuur 10) was de warmtebeïnvloeding aan de binnenbocht (deze figuur ) beduidend zwaarder.

Vergroting: 50x, gepolariseerd licht

Etsmiddel: 10% oxaalzuur



**Figuur 12.** De EDX spectra van de samenstellende elementen van het pijpstuk 3663 en de melkkoppeling 9325. Het EDX spectrum van het pijpstuk (bovenste spectrum) duidt op een type 316 roestvast staal, en het spectrum van de melkkoppeling (middelste spectrum) duidt op een type 304 roestvast staal. De afwijkende zones aan het breukvlak van de melkkoppeling (zie figuur 6) toonden beide de aanwezigheid van molybdeen, duidende op lasmetaal van of met een type 316 roestvast staal. Het onderste spectrum is karakteristiek voor beide afwijkende zones, en toont de aanwezigheid van molybdeen.  
Versnelspanning: 15 kV



**Figuur 13.** Het EDX spectrum van de samenstellende elementen van het oxide aangetroffen aan het binnenoppervlak van de bocht van het kniestuk 9324. Versnelspanning: 15 kV

**Bijlage 1.** De aan Schielab gestelde vragen, met verwijzing naar de fotobladen (bijlage 2).

N	Vraag	OvW Fb
1	<p>De delen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1- het 2" pijpstuk wat vastzit met de schroefdraad in het verdeelstuk perszijde perszijde en</li> <li>2- de aangetroffen melkkopeling</li> </ul> <p>Door metallografisch onderzoek vast te stellen of de genoemde delen verbonden hebben gezeten door middel van een las</p>	<p>Foto Bl 1 Foto Bl 2 Foto Bl 3 Foto Bl 4</p>
2	<p>De delen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• het 2" pijpstuk wat vastzit met de schroefdraad in het verdeelstuk perszijde perszijde en</li> <li>• de aangetroffen melkkopeling</li> </ul> <p>Door metallografisch onderzoek vast te stellen om welke materialen het gaat</p>	<p>Foto Bl 2 Foto Bl 3</p>
3	<p>De delen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• het 2" knie stuk wat vastzit met de melkkopeling.</li> </ul> <p>Door metallografisch onderzoek vast te stellen om welke materiaal het gaat ( kniestuk)</p>	<p>Foto Bl 5</p>
4	<p>De delen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• het 2" knie stuk wat vastzit met de melkkopeling.</li> </ul> <p>Door metallografisch onderzoek vast te stellen of het gaat om corrosie/ erosie (kniestuk- gele contour) of</p> <p>Door metallografisch onderzoek vast te stellen of het gaat om mechanische schade die van buiten is aangebracht.</p>	<p>Foto Bl 5</p>



**Bijlage 2.** Fotobladen (5 pagina's) behorende bij de aan Schielab gestelde vragen.

1 Onderzoeksraad voor Veiligheid M2011IN0105-07



Bron: foto's NFI 17-01-11\_werkopdracht\_045 (8)

OvV Fotoblad nummer 1

Aangezicht membraanpomp - perszijde = boven

**Bijlage 2.** Fotobladen (5 pagina's) behorende bij de aan Schielab gestelde vragen.



foto's: FO WMB 23-03-11 Onderzoek pomp
OvV fotoblad nummer 2:
Bovenaanzicht detail uitlaatstuk - „Manifold“ perszijde

**Bijlage 2.** Fotobladen (5 pagina's) behorende bij de aan Schielab gestelde vragen.



foto's: FO WMB\_23-03-11\_Onderzoek pomp

OvV Fotobladnummer 3

Bovenaanzicht "melk" koppeling

**Bijlage 2.** Fotobladen (5 pagina's) behorende bij de aan Schielab gestelde vragen.



foto's: FO WMB_23-03-11_Onderzoek pomp
OvV Fotobladnummer 4
Bovenaanzicht + compilatie persleiding / melkkoppeling

**Bijlage 2.** Fotobladen (5 pagina's) behorende bij de aan Schielab gestelde vragen.



foto's: FO WMB_23-03-11_Onderzoek pomp
OvV Fotobladnummer 5
Knie-bocht met "Corrosie"