



**PRAKTIJKONDERZOEK DAMWAND
WESTERKADE TE ROTTERDAM**

Onderzoek naar de aard van een minerale afzetting
op de damwandplank

Status **eindrapport**

Datum **24 juli 2014**

Projectnummer **A875380**

**BUILDING
MATERIALS**

SGS INTRON

COLOFON

Opdrachtgever / Customer	Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud t.a.v. de heer H. Senhorst Griffioenlaan 2 3526 LA UTRECHT	E-mail: henk.senhorst@rws.nl
Titel rapport / Titel report	Praktijkonderzoek damwandplanken Westerkade Rotterdam Beoordeling van minerale afzetting op damwandplanken	
Offerte / Quotation	A875380/BO20130687a	Datum / Date 25-11-2013
Opdracht / Purchase order	zaaknummer 31088170	Datum / Date 06-12-2013
Opdrachtnemer / Contractor	SGS INTRON B.V. Postbus 5187 6130 PD SITTARD	Kantoor / Office Dr. Nolenslaan 126 6136 GV SITTARD
Contactpersoon / Contactperson	ing. P.P. Klitsie	Tel.: +31 46 4204204 Mob.: +31 6 53735623 E-mail: PeterPaul.Klitsie@sgs.com
Auteur / Author	ing. W.H.M. Klarenaar	Autorisatie / Authorisation dr. M.M.R. Boutz
Handtekening / Autograph		Handtekening / Autograph 
Datum / Date	Rapportnr. / Reportnr. A875380/R20140318/SDa	Reden revisie / Reason revision
24-07-2014		

Disclaimer

Tenzij anders overeengekomen worden de opdrachten uitgevoerd op basis van de meest recente versie van de algemene voorwaarden van SGS INTRON B.V. Op eenvoudig verzoek worden deze voorwaarden opnieuw aan u toegezonden. Uw aandacht wordt gevraagd voor de beperking van aansprakelijkheid en de vergoedings- en bevoegdheidskwesties bepaald door deze voorwaarden.

Elke houder van dit document dient te weten dat de informatie vevat in dit document uitsluitend is gebaseerd op de bevindingen van SGS INTRON B.V. op het ogenblik van haar tussenkomst en binnen de grenzen van de eventuele instructies van de opdrachtgever. SGS INTRON B.V. kan enkel aansprakelijk zijn jegens haar opdrachtgever. Dit document stelt de bij een handelstransactie betrokken partijen niet vrij van hun plicht al hun rechten en verplichtingen uit te oefenen voortvloeiend uit de bij die transactie betrokken documenten. Elke niet toegestane wijziging, evenals de namaak of vervalsing van de inhoud of het uiterlijk van dit document, is onrechtmatig en overtreders zullen worden vervolgd.

© SGS INTRON BV

INHOUDSOPGAVE

	Pagina
COLOFON	2
Disclaimer	2
SAMENVATTING	4
1. INLEIDING	5
2. MONSTERMATERIAAL EN ONDERZOEKSOPZET	5
3. ONDERZOEKSRESULTATEN	6
3.1. Elementsamenstelling (XRF)	6
3.2. Polarisatie- en fluorescentiemicroscopie (PFM)	6
3.3. Elektronenmicroscopie met micro element analysesysteem (SEM/EDXA)	10
4. CONCLUSIES EN BESCHOUWING	16

SAMENVATTING

Inleiding, vraagstelling klant, achtergronden

Bij het uittrekken van damwandplanken tijdens een onderhoudsproject aan de Westerkade te Rotterdam, is vastgesteld dat zich een dunne minerale laag op de damwandplanken heeft afgezet. Deze afzettingen zijn ook van andere stalen damwanden bekend. In het kader van een studie naar de aard en oorzaak van deze afzettingen en de relatie die deze afzetting heeft met corrosie van de stalen damwand, is de aangetroffen afzetting in opdracht van Rijkswaterstaat nader onderzocht.



Doel

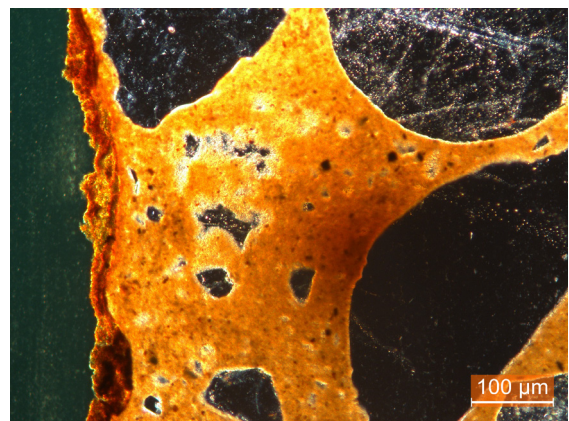
Het doel van dit onderzoek is om een bijdrage te leveren aan inzicht in de oorzaak van het ontstaan van deze afzetting en de mogelijke gevolgen van een dergelijke afzetting op de duurzaamheid van de damwand.

Uitgevoerde werkzaamheden

Hiervoor is een stukje materiaal op het lab onderzocht op samenstelling en microstructuur. Hiervoor zijn van de dwarsdoorsnede van het laagje slijpplaatjes gemaakt die we met verschillende microscopische technieken zoals fluorescentiemicroscopie en scanning elektronenmicroscopie hebben onderzocht. Van de elementverdeling in het laagje zijn gedetailleerde scans gemaakt. Waarnemingen zijn fotografisch vastgelegd.

Conclusies

Het laagje bestaat uit enkele millimeters dik aaneengekit fijn zand. Het bindermateriaal bestaat hoofdzakelijk uit ijzermineralen en calciet. De indruk bestaat dat het ijzer in dit laagje afkomstig is van de damwandplanken en het calciet uit het grondwater van de omliggende bodem. Hoe dichterbij de damwand hoe dichter de structuur van het laagje is. Er zijn met dit onderzoek geen aanwijzingen gevonden voor anaerobe processen die oxidatie of reductie van sulfaat inhouden, evenmin voor invloeden vanuit een zout of brak milieu.



De indruk wordt gewekt dat door oxidatie- en reductieprocessen ijzer uit de damwandplank wordt gemobiliseerd, verder naar de aanliggende bodem wordt getransporteerd waar het vervolgens weer door contact met zuurstof wordt geïmmobiliseerd. De migratie van calciet lijkt de andere richting uit te gaan: van het grondwater uit de bodem in de richting van de damwandplank.

1. INLEIDING

Deze rapportage presenteert de resultaten van laboratoriumonderzoek naar de samenstelling en de structuur van een minerale afzetting die op een stalen damwandplank is aangetroffen. Het betreft de damwand van de Westerkade te Rotterdam die in 1947 is geplaatst en die recent is uitgetrokken. Daarbij is vastgesteld dat op de damwandplank een dunne, enigszins gelijkmatige harde laag is afgezet. Deze laag kan door op het staal te slaan, worden losgebroken. De laag is enkele millimeters dik en heeft een bruin mineraal uiterlijk. De vraag is waaruit dit materiaal bestaat. De inzichten en resultaten uit dit onderzoek kunnen een bijdrage leveren aan inzicht van het proces waardoor de laag op het staal is afgezet. Bestaande hypothesen betreffen de aanwezigheid van corrosieproduct door aantasting van het staal van de damwand of mogelijk een afzetting uit grondwater ter plaatse, beiden al dan niet onder invloed van microbiologische processen.

2. MONSTERMATERIAAL EN ONDERZOEKSOPZET

Het materiaal dat in dit onderzoek is onderzocht, is begin mei 2014 aangeleverd door de opdrachtgever. Het betreft enkele plakjes niet nader gecodeerd droog en enigszins hard bruin materiaal met een totaal oppervlak van ongeveer 15 cm². Het monster is verpakt in een goed gesloten plastic ziplock zakje. Dit materiaal is zonder verdere voorbehandeling onderzocht.

Het monstermateriaal is willekeurig verdeeld in ongeveer 2 helften: Eén helft is intact gelaten en gebruikt voor microscopisch onderzoek, de andere helft is gebroken en gemalen tot fijner dan 125 µm. Het gemalen en gehomogeniseerde monster is gebruikt voor de analyse van de elementsamenstelling. Voor deze analyse is gebruik gemaakt van röntgenfluorescentie spectrometrie (XRF). Voor het microscopisch onderzoek is van enkele willekeurige doorsneden van het monster een slijpplaatje gemaakt. Hiermee wordt het materiaal tot een dikte van 30 µm gepolijst waardoor het bijna helemaal doorzichtig wordt. Hiervoor is het monster eerst geïmpregneerd met fluorescerende epoxyhars. Deze dwarsdoorsneden zijn onderzocht met polarisatie en fluorescentie microscopie (PFM) en met scanning elektronenmicroscopie in combinatie met een micro element analysesysteem (SEM/EDXA). Met SEM/EDXA zijn zogenaamde *element mappings* gemaakt waarmee een goed beeld wordt gekregen van de verdeling van de elementen in de dwarsdoorsnede van het monster.

3. ONDERZOEKSRESULTATEN

Per toegepast onderzoek worden in de volgende paragrafen de resultaten besproken.

3.1. Elementsamenstelling (XRF)

De resultaten van de analyse van de elementsamenstelling zijn samengevat in tabel 1. Hierbij zijn de gevonden resultaten gecorrigeerd voor het massaverlies dat is opgetreden bij het prepareren van het monster in een smelt (*Loss On Ignition*, LOI). LOI kan bijvoorbeeld optreden door de aanwezigheid van thermisch instabiele mineralen zoals hydroxiden of carbonaten. De meetresultaten zijn rekenkundig uitgedrukt in element oxidevorm en genormaliseerd naar 100%.

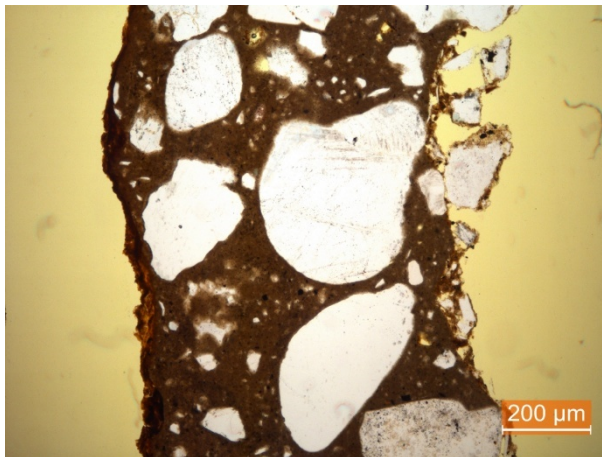
Tabel 1. XRF analyseresultaten van de gemiddelde elementsamenstelling.

- Silicon as SiO ₂ ,	% wt	69.24
- Aluminium as Al ₂ O ₃ ,	% wt	3.08
- Iron as Fe ₂ O ₃ ,	% wt	20.86
- Calcium as CaO,	% wt	3.85
- Magnesium as MgO,	% wt	0.34
- Sodium as Na ₂ O,	% wt	0.48
- Potassium as K ₂ O,	% wt	1.14
- Phosphorous as P ₂ O ₅ ,	% wt	0.21
- Titanium as TiO ₂ ,	% wt	0.18
- Sulfur as SO ₃ ,	% wt	0.16
- Vanadium as V ₂ O ₅ ,	% wt	0.01
- Chromium as Cr ₂ O ₃ ,	% wt	0.02
- Strontium as SrO,	% wt	0.01
- Zirconium as ZrO ₂ ,	% wt	0.02
- Barium as BaO,	% wt	0.03
- Nickel as NiO,	% wt	0.02
- Zinc as ZnO,	% wt	0.02
- Lead as PbO,	% wt	0.01
- Manganese as Mn ₃ O ₄ ,	% wt	0.34

Uit deze resultaten blijkt dat de hoofdbestanddelen van het monstermateriaal beperkt zijn tot de elementen silicium en ijzer (SiO₂ + Fe₂O₃ ≈ 90%). Daarnaast worden op het niveau van enkele procenten aluminium, calcium en kalium aangetroffen. Magnesium, natrium, fosfor, titaan, zwavel en mangaan zijn aanwezig rond enkele tienden van procenten. De overige elementen zijn sporenelementen.

3.2. Polarisatie- en fluorescentiemicroscopie (PFM)

De waarnemingen van dit microscopisch onderzoek zijn met microfoto's samengevat in de volgende tabel. Bij deze microscopische analyse is gebruik gemaakt van diverse optische technieken. Door gebruik te maken van specifieke filters en belichtingstechnieken worden contrasten versterkt waardoor de structuur van het monster duidelijker wordt. De beelden die hiermee van het monster worden vastgelegd kunnen sterk afwijkend zijn van het natuurlijke uiterlijk van het monster. Bij het beoordelen van de microfoto's moet hier rekening mee worden gehouden.



Microfoto 1. Dwarsdoorsnede van afzetting op damwand in helderveld.

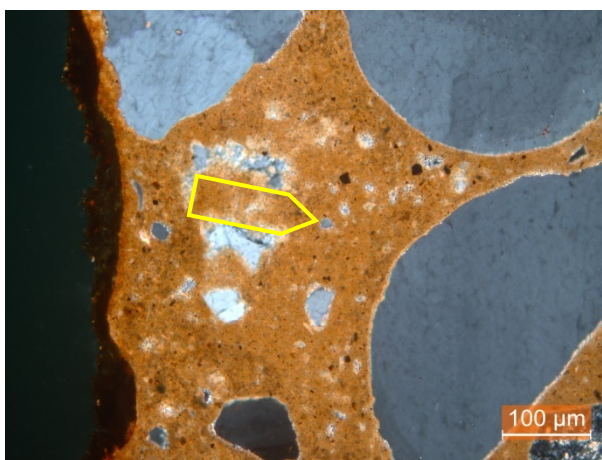
Kleurloze mineralen zoals kwarts tonen wit op deze opname. IJzerrijke mineralen zijn bruin tot rood. Poriën zijn geel omdat ze met fluorescerende hars zijn gevuld. De afzetting heeft op deze foto een dikte van ongeveer 600 µm. Deze dwarsdoorsnede heeft een gemiddelde dikte van ongeveer 1 mm.

Links op de foto is de zijde van de afzetting die in contact is geweest met de damwandplaat. De rechterzijde betreft de grondzijde. Links op de foto herkennen we een dun roestkleurig laagje waar de ijzerconcentratie hoger lijkt. De grondzijde is poreuzer vergeleken met de rest van het laagje. Opvallend is de aanwezigheid van zandkorrels die ongeveer de helft van het volume in beslag nemen.



Microfoto 2. Dwarsdoorsnede van afzetting op damwand in helderveld, detail van microfoto 1.

Behalve het ijzerrijke laagje links (met pijl) is weinig gelaagdheid herkenbaar. Het ijzerrijke laagje bezit een wisselende dikte tot maximaal ongeveer 50 µm. Het materiaal tussen de zandkorrels bevat fijne flinters van waarschijnlijk kwarts. Kleideeltjes zijn te klein om met deze techniek te herkennen maar het lijkt juist om over 'gronddeeltjes' te spreken om de hoedanigheid van het materiaal tussen de zandkorrels te omschrijven.



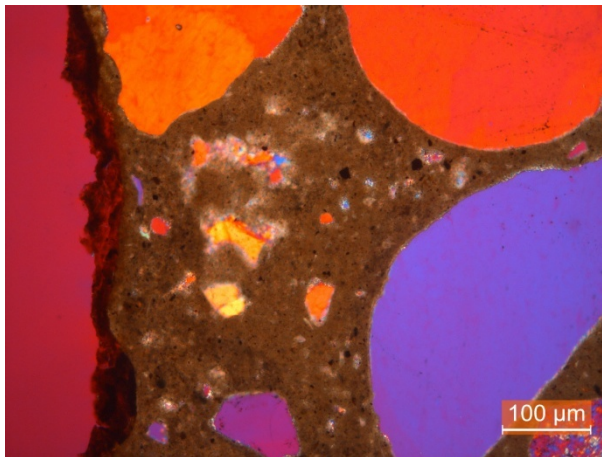
Microfoto 3. Dwarsdoorsnede van afzetting op damwand in gepolariseerd licht met gekruiste polarisatiefilters. Het betreft hetzelfde monsterdeel als van microfoto 2.

Kwartskorrels tonen nu grijs waarmee de kwartssamenstelling van het zand en de fijne flinters (met pijl) wordt bevestigd.

Het ijzerrijke laagje toont donkerbruin wat aansluit bij een samenstelling van dit laagje van limonietachtige mineralen (ijzerhydroxideoxide, $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

De massa tussen de zandkorrels is lichter van kleur wat een aanwijzing kan zijn voor de aanwezigheid van carbonaat. Calciet (calciumcarbonaat, CaCO_3) en ankeriet (calciumijzercarbonaat, $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$) komen in aanmerking.

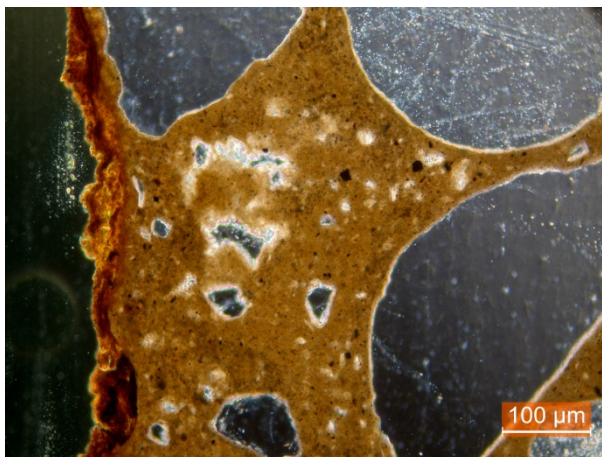
Verdere detaillering in de grondmassa is niet goed herkenbaar.



Microfoto 4. Dwaarsdoorsnede van afzetting op damwand in gepolariseerd licht met gekruiste polarisatiefilters en gipsplaatje. Het betreft hetzelfde monsterdeel als van microfoto 2.

Door de hogere orde kleuren ontstaat bij deze belichting meer contrast en de fijne kwartsflinters in de grondmassa zijn beter herkenbaar.

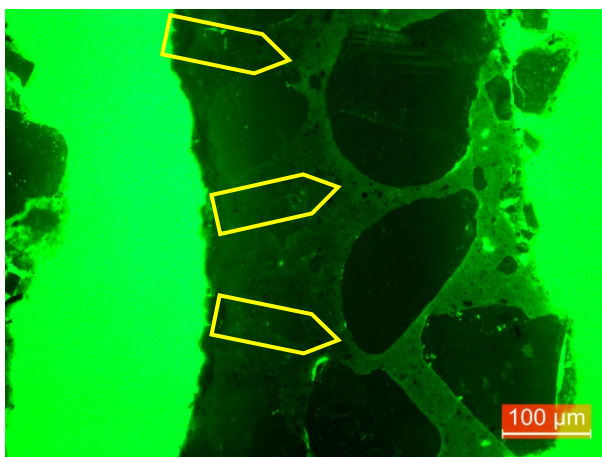
Het ijzerrijke laagje links is nu goed zichtbaar maar een verdere detaillering in de grondmassa is niet herkenbaar.



Microfoto 5. Dwaarsdoorsnede van afzetting op damwand in fasecontrast belichting. Het betreft hetzelfde monsterdeel als van microfoto 2.

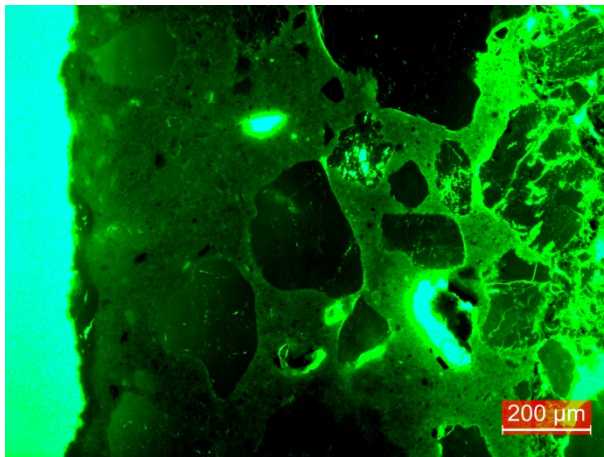
Door deze belichting worden weer de natuurlijke kleuren van de afzetting benadrukt. Kwarts is nu echter doorzichtig en daarom donker van kleur.

Het ijzerrijke laagje links is goed zichtbaar maar een verdere detaillering in de grondmassa is niet goed herkenbaar.



Microfoto 6. Dwaarsdoorsnede van afzetting op damwand in fluorescentiebelichting. Het betreft hoofdzakelijk hetzelfde monsterdeel als van foto 1.

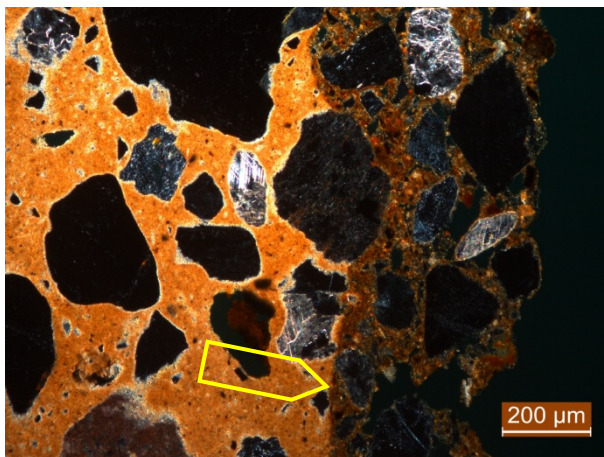
Met deze belichtingstechniek tonen dichte structuren donker en lichten poriën op. Hoe poreuzer, hoe lichter de groene kleur. De kwartskorrels zijn helemaal dicht, de groene hars is volledig open. Nu zien we het interessante effect dat de afzetting van links naar rechts minder dicht wordt. Het lijkt alsof we nu een nieuwe zonering herkennen die met pijlen in de foto is aangeduid. Hier is een vage overgang herkenbaar van dicht naar meer poreus. Deze morfologie lijkt te duiden op diffusie van ijzer van de zijde van de damwandplanken naar de grondzijde.



Microfoto 7. Dwarsdoorsnede van afzetting op damwand in fluorescentiebelichting.

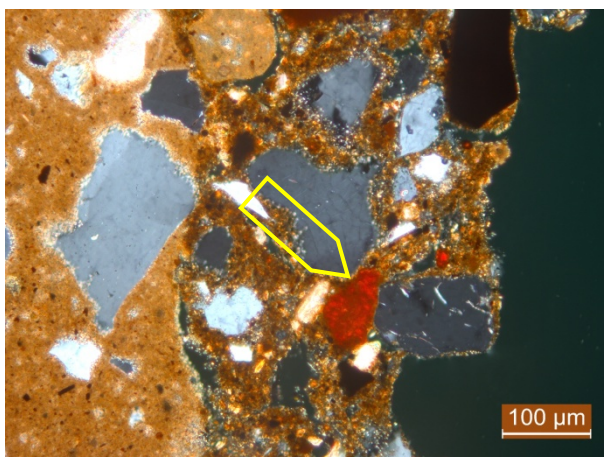
Op deze microfoto is een dikker deel van de afzetting vastgelegd. Links het dichte ijzerrijke laagje, dan een zone van ongeveer 100 µm die meer poreus lijkt terwijl de porositeit in de kern van de afzetting vervolgens weer afneemt. Rechts herkennen we een zeer poreuze zone aan de grondzijde van de afzetting. Deze ritmische waarnemingen zijn bekend onder de naam Liesegangse ringen.

Met de waarnemingen die zijn vastgelegd op microfoto 6 en 7 wordt een beeld gekregen dat de dichtheid in de afzetting in verschillende zones afneemt vanaf de damplank zijde naar de grondzijde. De indruk is verkregen dat dit veroorzaakt wordt door migratie van ijzer dat zich als ijzer(hydr)oxiden vanaf de damplank afzet in de poriën van de omringende bodem.



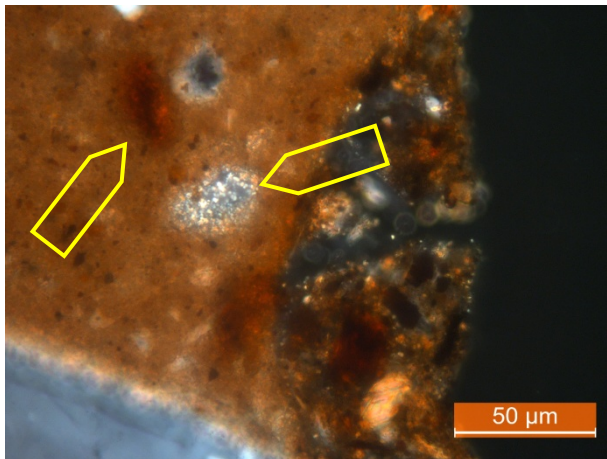
Microfoto 8. Dwarsdoorsnede van afzetting op damwand in donkerveld belichting. Deze afbeelding betreft het rechterdeel van microfoto 7.

Op deze microfoto is een duidelijke overgang (aangeduid met de pijl) herkenbaar van de kern van de afzetting naar de poreuze grondzijde rechts op de foto. Opmerkelijk is het verschil in kleur van de massa tussen de (nu zwarte) kwartskorrels in de kern van de afzetting en in het poreuze deel. Deze overgang is ook herkenbaar op microfoto 9. De oorzaak is niet helemaal duidelijk maar wellicht speelt afzetting van calciet in de poriën van het bulk materiaal en consolidatie hiervan een rol.



Microfoto 9. Dwarsdoorsnede van afzetting op damwand in gepolariseerd licht met gekruiste polarisatiefilters.

Op deze microfoto is de grondzijde van de afzetting in beeld gebracht. De scherpe overgang die ook op foto 8 in beeld is gebracht, is duidelijk herkenbaar en ook het verschil in porositeit. Opmerkelijk is de aanwezigheid van kluitjes rood materiaal heel waarschijnlijk ijzer(hydr)oxide. Dit wijst op een lokale verrijking van ijzer wat opmerkelijk is wanneer het ijzer dwars door de afzetting vanaf de damwand naar dit deel van de afzetting wordt getransporteerd. Speelt een micromilieu hierbij een rol of is dit een aanwijzing voor microbiële activiteit?



Microfoto 10. Dwaarsdoorsnede van afzetting op damwand in gepolariseerd licht met gekruiste polarisatiefilters.

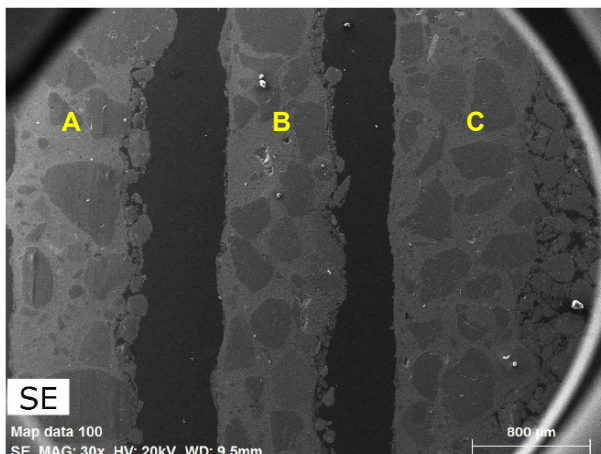
Op deze microfoto is de grondzijde van de afzetting in detail in beeld gebracht. De ijzerrijke kluitjes vertonen een diffuse overgang wat een aanwijzing kan zijn voor een proces waarbij de ijzerrijke kluitjes uiteindelijk toch homogeen door de grondmassa worden verdeeld. Dit kan een verklaring zijn voor de waarneming dat de kluitjes alleen aan de grondzijde aanwezig zijn en niet in de rest van de afzetting.

Verder zien we op deze microfoto waarschijnlijk een kluitje calciet (aangeduid met een pijl) wat een aanwijzing is voor een carbonaatrijk milieu. Dit sluit aan bij eerdere waarnemingen zoals bij microfoto 3.

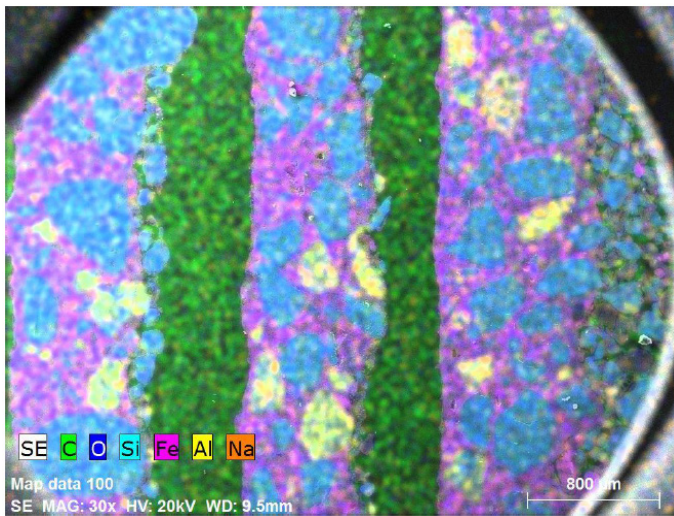
3.3. Elektronenmicroscopie met micro element analysesysteem (SEM/EDXA)

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van vergelijkbare doorsneden zoals bij het PFM onderzoek, alleen op andere secties. Met SEM/EDXA zijn diverse *element mappings* gemaakt. Hiermee krijgen de verschillende elementen in het preparaat een eigen herkenbare kleur en is op basis van deze visuele informatie een goed beeld te vormen van de aanwezigheid en verdeling van de elementen in het monster. Deze techniek is in principe beperkt tot de hoofdelementen zoals die ook met XRF in het monster zijn aangetroffen.

In het slijpplaatje dat voor dit onderzoek is gebruikt, liggen drie verschillende dwarsdoorsneden van het monster parallel aan elkaar. Dit is herkenbaar aan microfoto 11 en 12 waarin deze secties met letters zijn aangeduid. Microfoto 11 toont de SEM opname en in microfoto 12 zijn in dezelfde opname alle aangetroffen elementen kunstmatig ingekleurd, een element *mapping*. Alleen de middelste sectie B is in dit onderzoek in detail geanalyseerd.



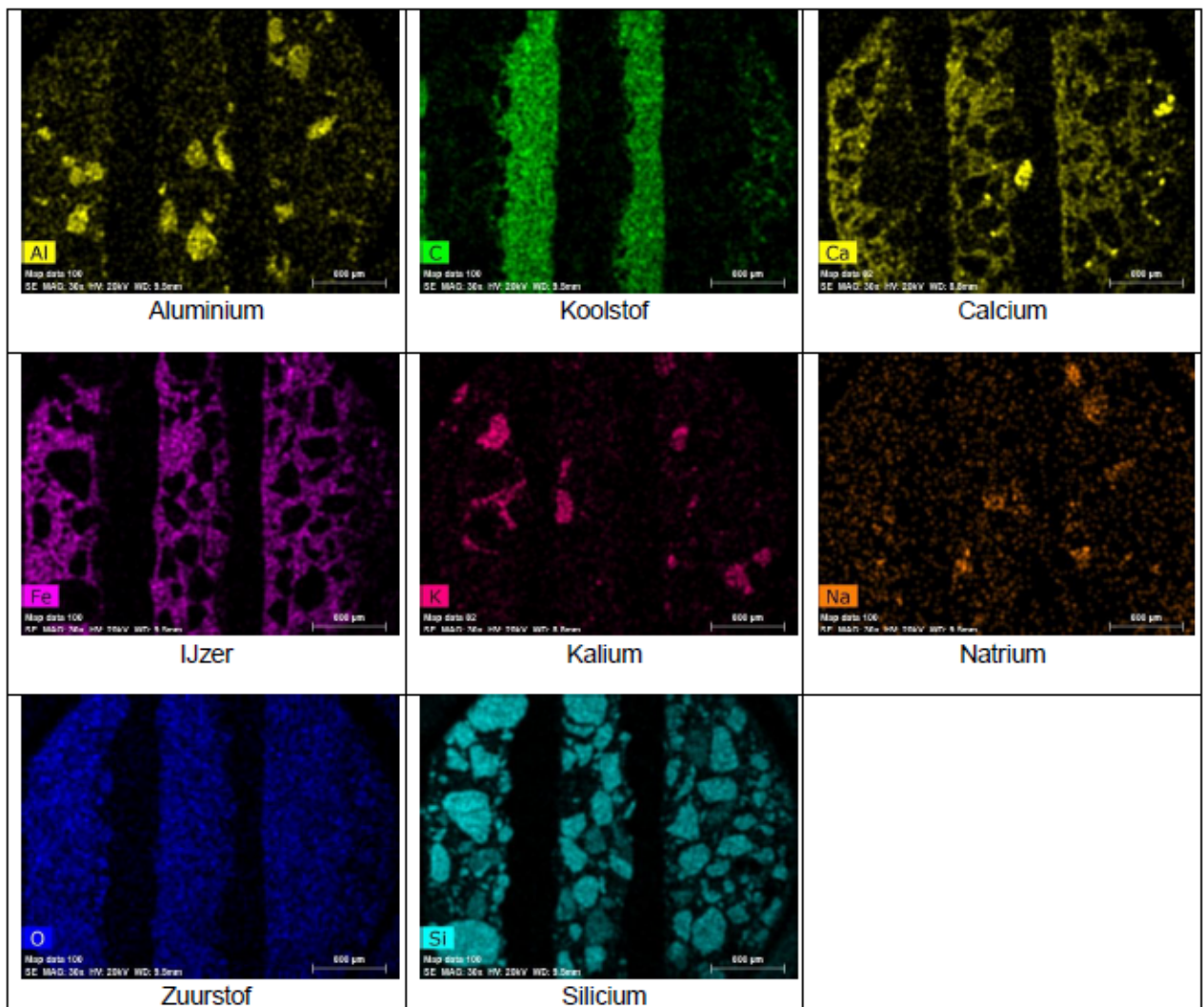
Microfoto 11. SEM opname van dwarsdoorsnede van afzetting op damwand.



Microfoto 12. SEM opname van dwarsdoorsnede van afzetting op damwand met kunstmatige kleuring op basis van elementverdeling (*element mapping*).

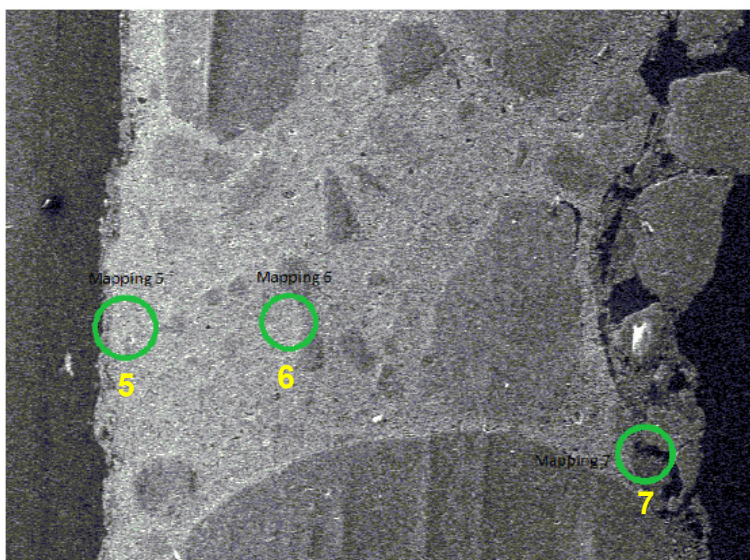
Deze microfoto is vergelijkbaar met foto 11. De kleuren van de verschillende elementen staan onderaan in de foto. In figuur 1 zijn de *mapping* resultaten per element aangeduid.

Figuur 1. Mapping resultaat per element overzichtsoptname.



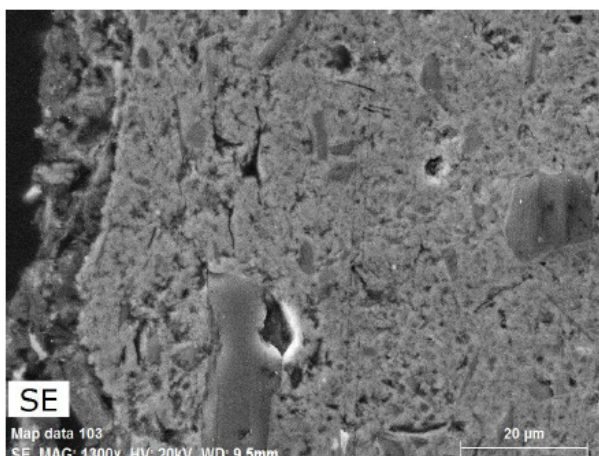
Uit deze globale resultaten blijkt dat de aanwezigheid van het element silicium zich hoofdzakelijk beperkt tot het kwarts in de zandkorrels. Sommige zandkorrels bevatten bovendien aluminium (klei?). De samenstelling van het materiaal tussen de zandkorrels betreft hoofdzakelijk de elementen ijzer en calcium. De elementen kalium en natrium gedragen zich eigenzinnig en de verdeling hiervan lijkt niet volgens een vastgesteld patroon te duiden.

Van enkele karakteristieke locaties zijn in de secties bij grotere vergroting detailopnames gemaakt. Hiermee is getracht verschillende overgangen in de opbouw van de afzetting nader te duiden. Het overzicht van deze locaties (*mapping* 5, 6 en 7) is aangegeven in de sectie in microfoto 13.

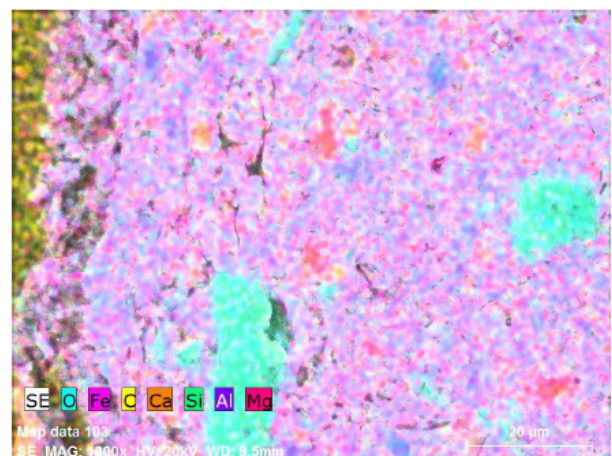


Microfoto 13. SEM opname van dwarsdoorsnede van afzetting op damwand. De locaties van detail opnamen zijn met een cirkel aangeduid. De elementverdeling van deze locaties is onderstaand verder uitgewerkt. De linkerzijde van deze opname betreft weer de zijde aan de damwandplank.

Gebied 5 aan de damwandplank zijde



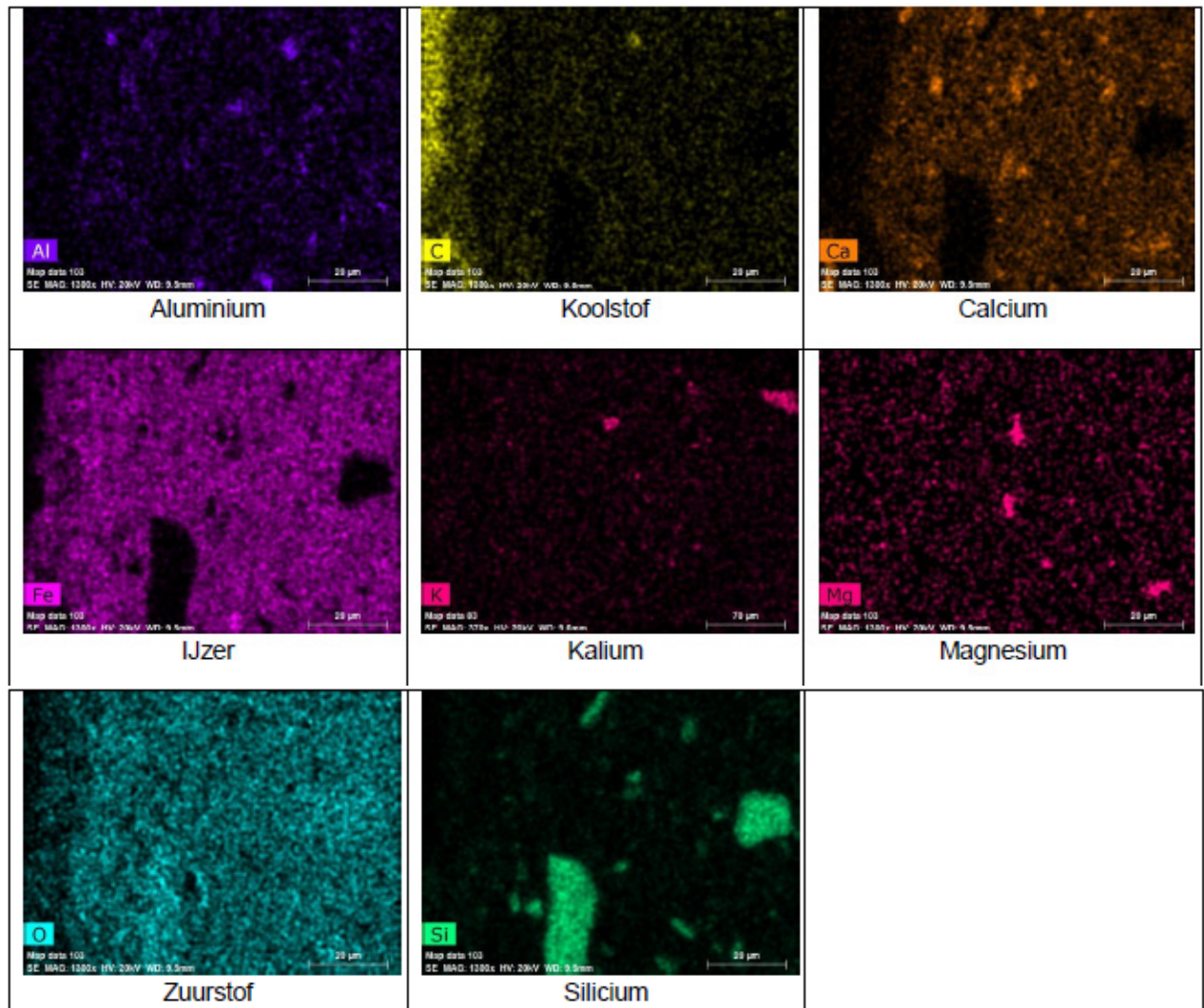
Microfoto 14. SEM opname locatie gebied 5.



Microfoto 15. Element *mapping* gebied 5.

In figuur 2 op de volgende pagina zijn de *mapping* resultaten per element aangeduid.

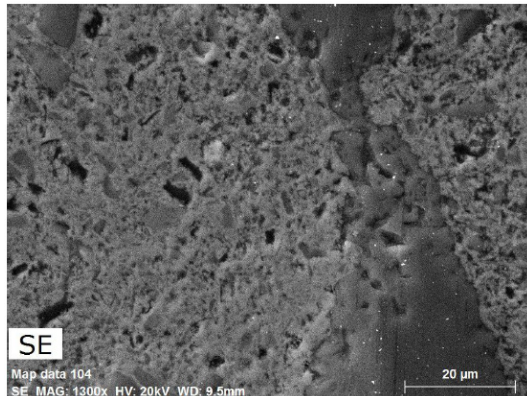
Figuur 2. Mapping resultaat per element gebied 5.



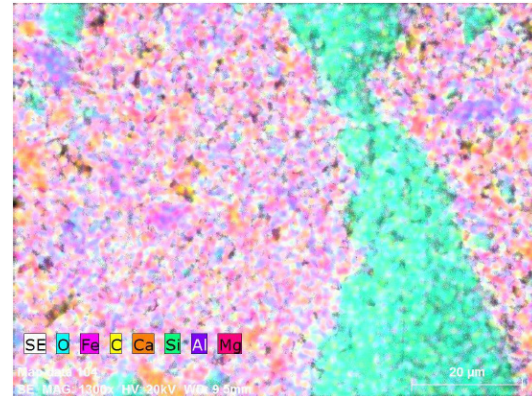
Uit deze resultaten, die vastgesteld zijn aan een detail van de afzetting aan de damwandzijde, blijkt net als bij de overzichtsoptname dat de aanwezigheid van het element silicium zich hoofdzakelijk beperkt tot kwartssplinters. Net als bij de grovere zandkorrels bevatten sommige splinters aluminium. Opmerkelijk is dat de concentratie van het element ijzer in het bruine laagje aan de zijde van de damwandplank lager blijkt te zijn dan even verderop in de bulk van het materiaal waar de ijzerconcentratie lijkt toe te nemen. De concentratie van het element zuurstof dat samen met ijzer ijzer(hydr)oxide mineralen vormt (limoniet e.d.) is eveneens lager in het bruine laagje. De *mapping* van het element koolstof wijst op een grotere indringing van hars in dit laagje waaruit een grotere porositeit van dit laagje blijkt. Dit is ook herkenbaar op de SEM opname in microfoto 14.

Het dunne laagje aan de damwandplank zijde bevat weinig calcium dat behalve diffuus verdeeld over de matrix, ook in puntconcentraties in het monster aanwezig is. Dit geldt ook voor aluminium.

Gebied 6 ongeveer 1/3 links



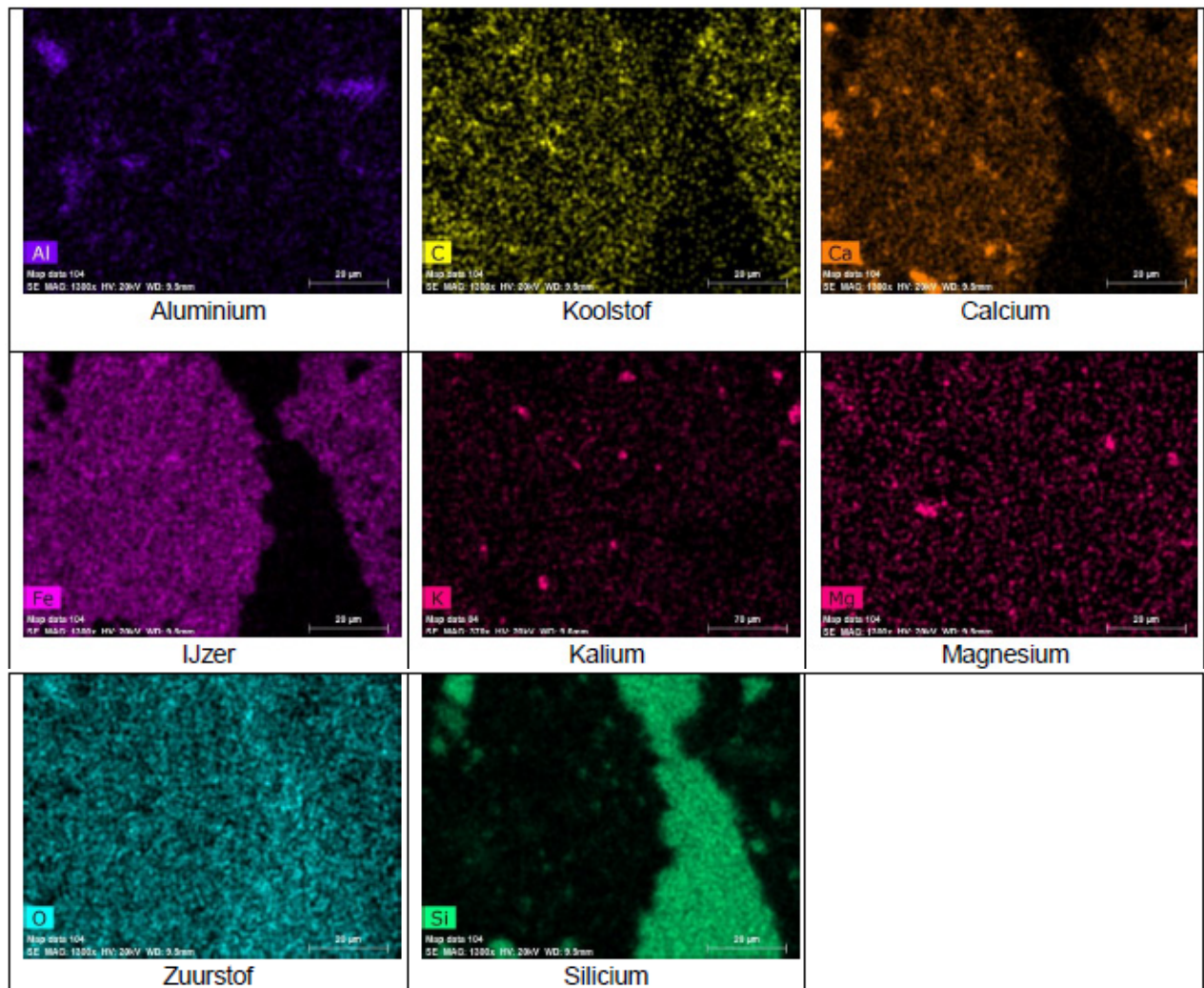
Microfoto 16. SEM opname locatie gebied 6.



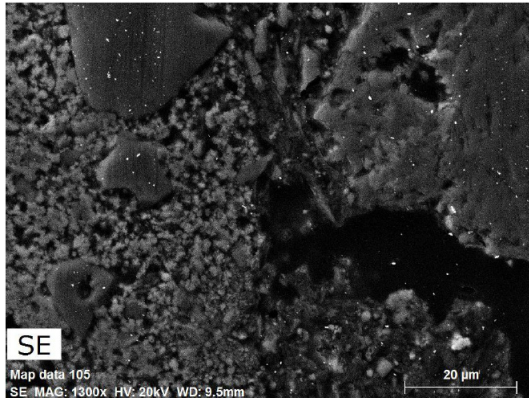
Microfoto 17. Element *mapping* gebied 6.

In figuur 3 zijn de *mapping* resultaten per element aangeduid. Het beeld van de elementenverdeling in dit detailonderzoek is vergelijkbaar met dat van de bulk van gebied 5. Binnen een zone van ongeveer 100 x 100 µm zien we geen duidelijk verloop in ijzerconcentratie.

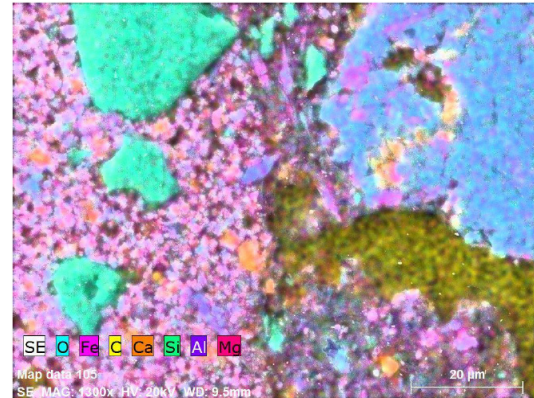
Figuur 3. *Mapping* resultaat per element gebied 6.



Gebied 7 rechts aan de grondzijde



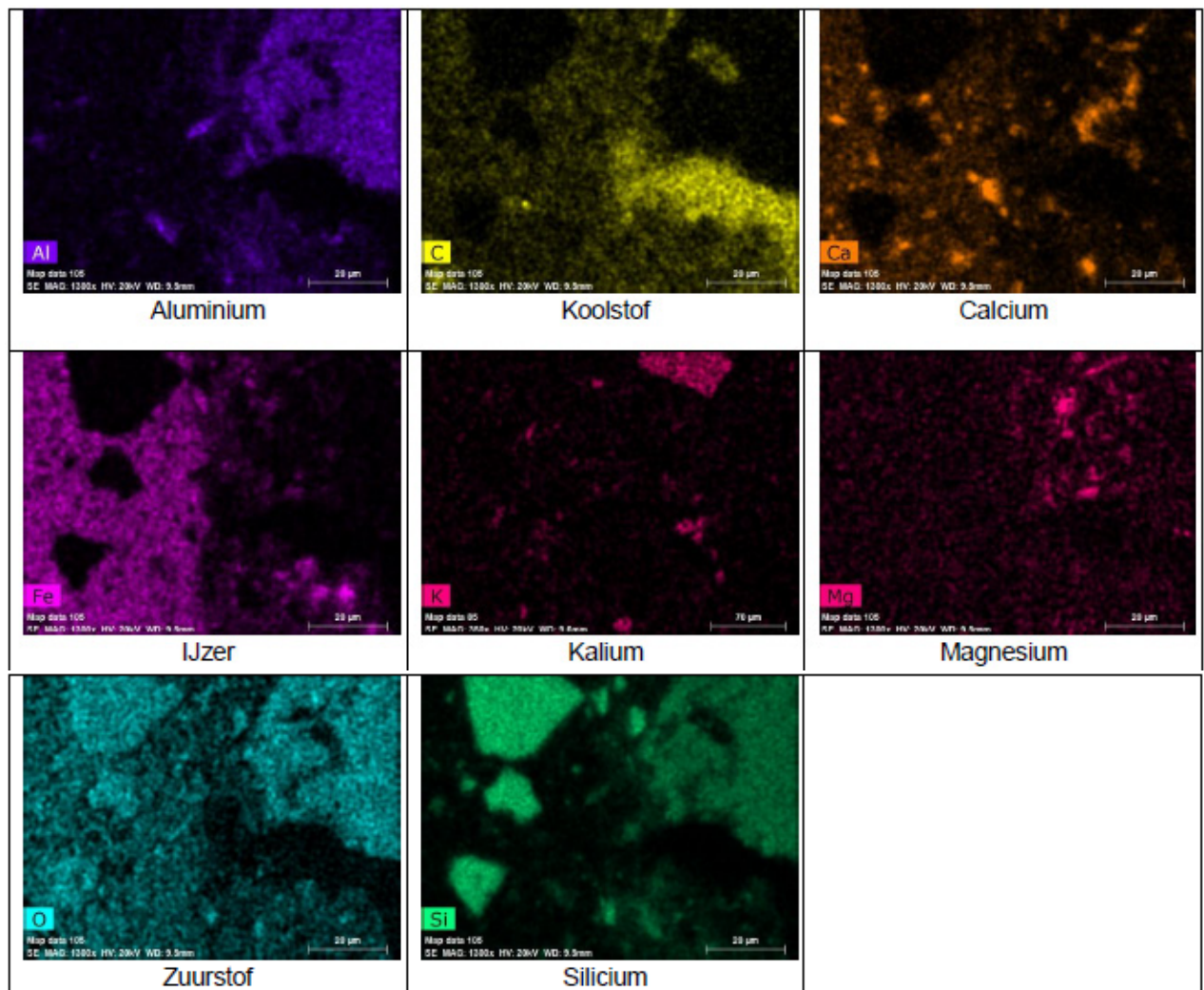
Microfoto 18. SEM opname locatie gebied 7.



Microfoto 19. Element mapping gebied 7.

In figuur 4 zijn de *mapping* resultaten per element aangeduid.

Figuur 4. *Mapping* resultaat per element gebied 7.



Deze detailopname laat een heterogeen gebied zien. Het element aluminium speelt een grotere rol en betreft mogelijk – samen met magnesium – een aanwijzing voor de aanwezigheid van kleimineralen. Calcium is in scherp afgebakende kluitjes aanwezig net als sommige ijzerrijke deeltjes. De ijzerconcentratie in de bulk lijkt niet te variëren.

4. CONCLUSIES EN BESCHOUWING

Uit de resultaten van het onderzoek aan het laagje op de damwandplank blijkt dat de afzetting zijn stevigheid hoofdzakelijk ontleent aan ijzermineralen tussen de aanliggende zand- en gronddeeltjes. De samenstelling van de ijzermineralen is niet onderzocht maar het is aannemelijk dat dit ijzer(hydr)oxiden betreft zoals limoniet bijvoorbeeld. Sommige roodgekleurde ijzerrijke deeltjes kunnen wellicht uit hematiet bestaan. Behalve ijzermineralen lijkt ook calciet een belangrijke component van het bulkmateriaal; calcium is diffuus aanwezig en we herkennen korrels calciet. Er is geen duidelijke relatie herkend tussen ijzer en calciet waardoor de aanwezigheid van ankeriet niet waarschijnlijk is of in ieder geval niet overheersend.

De zandfractie in het laagje bestaat hoofdzakelijk uit kwarts. Sommige zandkorrels en fijnere splinters bevatten ook aluminium. Waarschijnlijk speelt dit geen belangrijke rol in de verklaring voor het ontstaan van het harde laagje maar het kan interessant zijn om te verifiëren of de bodem naast de damwand aluminiumhoudende zandkorrels bevat. De splinters zijn mogelijk ontstaan door het inbrengen van de damwandplanken.

PFM onderzoek wijst op een gelaagdheid in het monster die doet denken aan Liesegangse ringen. Met *element mapping* is voor de ijzerconcentratie in de dwarsdoorsnede van het laagje echter geen duidelijk verloop of overgang aangetoond met uitzondering van het donkerbruine laagje direct aan de zijde van de damwandplank. Dit blijkt poreuzer te zijn dan het ernaast gelegen materiaal en het is vrij van calcium. Feitelijk bevat dit laagje een lager ijzergehalte dan de bulk van het materiaal. Mogelijk betreft dit laagje een gecorrodeerd deel van de damwandplank en maakt het geen deel uit van de oorspronkelijke bodem.

Uit de SEM waarnemingen en de *mapping* van het element koolstof (hoofdzakelijk een artefact van de toegepaste epoxyhars) blijkt dat de dichtheid van het harde laagje vanaf de damwandplank in de richting van de bodem aanmerkelijk afneemt. Het harde laagje dicht bij de bodem bevat grote poriën.

Opvallend is dat korrels ijzermineraal en calciet in het monster aan de grondzijde goed zijn begrensd. Dit lijkt minder naarmate de damwandplank wordt genaderd, dit geldt zeker voor de kluitjes ijzermineraal.

De indruk wordt gewekt dat door oxidatie- en reductieprocessen ijzer uit de damwandplank wordt gemobiliseerd, verder naar de aanliggende bodem wordt getransporteerd (waarschijnlijk door diffusie) waar het vervolgens weer door contact met zuurstof wordt geïmmobiliseerd. Opmerkelijk is de aanwezigheid van kluitjes ijzermineraal aan de grondzijde die afwijken van dit beeld. Wellicht is dit een aanwijzing voor lokale microbiologische processen. Misschien spelen microbiologische processen ook een rol in het ontstaan van de calcietkorrels waarvan de migratie de andere richting lijkt uit te gaan: van het grondwater uit de bodem in de richting van de damwandplank.

Voor anaerobe processen die oxidatie of reductie van sulfaat omvatten zijn geen aanwijzingen gevonden, evenmin voor invloeden vanuit een zout of brak milieu.