Pilot Kleirijperij

WP 4.5.1 Monitoringsrapportage Kleirijperij Kwelder

EEMS 20 DOLLARD 50

EcoShape

Projectomschrijving:	Pilot Kleirijperij
Contractnummer:	32268
Opdrachtgever:	Rijkswaterstaat Noord Nederland
Documentnummer:	4.5.1
Datum:	27-09-2023
Versie:	v1.0
Status:	Definitief

Revisie

Revisie no.	Revisie Datum	Naam en paraaf eindverantwoordelijke			
		Opsteller	Gecontroleerd	Geautoriseerd	Paraaf
V0.1	14-02-2020	Ebi Meshkati Shahmirzadi Frederique de Groen Wouter van der Star	Thijs van Kessel		
V1.0	27-09-2023	Ebi Meshkati Shahmirzadi Kees Wesdorp Tjerk Vreeken Wouter van der Star	Thijs van Kessel	Niels Nijborg	

Distributielijst

Distributielijst				
Kopie nr.	Functie	Naam	Revisie	Toelichting bedrijf
	Opdrachtgever	Bart Koster		
	Opdrachtgever	Hans Ruiter		
	Opdrachtgever	Machiel Crielaard		
	Projectmanager	Niels Nijborg		
	Technisch manager	Marcel van den Heuvel		
	Kennismanager	Wouter van der Star		

Contact
Noordeinde 109b
3341 LW Hendrik Ido Ambacht
info@ecoshape.nl
www.ecoshape.nl

Deltares

Monitoringsrapportage Kleirijperij Kwelder

Monitoringsrapportage Kleirijperij Kwelder

Auteur(s)
Ebi Meshkati Shahmirzadi
Kees Wesdorp
Tjerk Vreeken
Wouter van der Star

Monitoringsrapportage Kleirijperij Kwelder

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	
Referenties	Referenties
Trefwoorden	Kleirijperij, Monitoringsrapportage, Building with Mud, Eems-Dollard, Kwelder

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	25-09-20232
Projectnummer	11201344-002
Document ID	11201344-002-ZKS-0005
Pagina's	87
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)		
	Ebi Meshkati Shahmirzadi	
	Wouter van der Star	
	Tjerk Vreeken	
	Kees Wesdorp	

Samenvatting

Het estuarium Eems-Dollard kampt met zeer hoge concentraties slib die leiden tot negatieve effecten voor de ecologie. Dit slib bezinkt onder andere in de haven van Delfzijl en in de slibinvangprojecten zoals de geul in de polder Breebaart en is daar overtollig. Tegelijkertijd is in dit gebied een grote behoefte aan klei ten behoeve van dijkversterking. De centrale vraag voor de Kleirijperij is ‘’hoe kan het gebaggerde slib omgezet worden in dijkenklei”. Er zijn op 2 locaties depots aangelegd waarin het gebaggerde slib (met een hoog watergehalte) wordt gedeponeerd. Hier kan het slib sedimenteren (bezinken) en consolideren (verdichten). Na droogval verdampt het water, droogt het slib verder uit en wordt na voldoende rijping uiteindelijk klei gewonnen. De dijkenklei uit de kleirijperij is toegepast in de pilot Brede Groene Dijk, waarbij 750 m Dollarddijk wordt versterkt met dijkenklei die geproduceerd is met slib uit verschillende bronnen.

De kleirijperij is een pilot studie waarbij verschillende technieken worden getest om het slib te laten rijpen op goedkope en snelle wijze. Daarbij worden twee slibbronnen uit het Eems-Dollard-gebied gebruikt: slib uit het havenkanaal van Delfzijl ten behoeve van Kleirijperij in Delfzijl (Kleirijperij Delfzijl) en uit Polder Breebaart ten behoeve van Kleirijperij buitendijks op de kwelder (Kleirijperij Kwelder).

Het project Kleirijperij is één van de projecten binnen het deelprogramma Nuttig Toepassen Slib (NTS), dat onderdeel is van het programma Eems-Dollard 2050. De projecten zijn erop gericht om natuurlijke processen te benutten om te komen tot nuttige toepassingen voor het overtollige slib.

Een monitoringsprogramma is gekoppeld aan de uitvoering van de pilot Kleirijperij. EcoShape voert deze monitoring uit en heeft de activiteiten daarvoor beschreven in de monitoringsplannen voor de kleirijperijen Delfzijl en Kwelder. Er zijn diverse doelen voor de monitoring gedefinieerd:

- Het toetsen van mechanismen die optreden en de (wetenschappelijke) beschrijving daarvan.
- Als input voor/validatie van de mathematische modellering.
- Om tijdens het rijpingsproces te kunnen sturen op het leveren van voldoende geschikte dijkenklei.
- Als input voor het maken van de business case (gedurende diverse momenten om een jaarlijkse invulling/aanscherping van de business cases mogelijk te maken).

Deze rapportage beschrijft het verloop van de rijping op Kleirijperij Kwelder. Deze Kleirijperij is buitendijks aangelegd op een kwelderbodem. Hiervoor is een depot ingericht van circa 1 kilometer lengte langs de dijk en een breedte van 75 meter dwars op de dijk. Het depot is verdeeld in 10 vakken, die op verschillende manier zijn bewerkt, of waarvan de vulhoogte verschilde. Deze vakken zijn gevuld met materiaal van Polder Breebaart, een polder met gedempt getij, die verdiept werd. Het materiaal is met een snijkopzuiger (cutter suction dredger) gewonnen en vervolgens per pijpleiding naar de kleirijperij getransporteerd.

Het watergehalte nam in de jaren waarin de pilot werd bedreven sterk af, wat leidde tot een sterkte toename van de dichtheid: van het aangeleverde materiaal (circa 1,05 t/m^3) nam de dichtheid toe tot 1,52-1,68 t/m^3, waardoor ook de consistentie-index toenam tot 0,4-0,9.

In de ruim twee jaar dat het materiaal heeft gerijpt is de het zoutgehalte met circa 90% afgenomen, voornamelijk door het afstromen van zout water. Het verzoeten (het afnemen van de concentratie in het poriewater) was veel beperkter (10-20%). Het organische stofgehalte nam alleen in het laatste jaar licht af. Het materiaal als geheel voldeed daarmee aan alle eisen gesteld in de rapportage “klei voor dijken”, met uitzondering van het zoutgehalte, organische stofgehalte en de consistentie-index. Deze laatste waarde was tijdens het transport een halfjaar later wel hoog genoeg. Daarmee is echter niet gezegd dat het materiaal ongeschikt is voor dijkenbouw. De aanleg van een proefdijk en een test in de Deltagoot hebben laten zien dat het materiaal geschikt is als dijkenklei.

Inhoud

	Samenvatting	**4**
1	**Inleiding**	**7**
1.1	Monitoring	9
1.2	Opzet en inhoud rapportage	10
2	**Relevante eisen, parameters en processen**	**11**
2.1	Inleiding	11
2.2	Klei kwaliteitseisen	11
2.3	Klei kwantiteitseisen	12
2.4	Relevante parameters	13
2.5	Te variëren parameters in de pilot	15
3	**Overzicht vul- en bewerkingsactiviteiten**	**18**
3.1	Inleiding	18
3.2	Proefvakbeschrijvingen	18
3.2.1	Drainagesysteem en ondergrond	18
3.2.2	Kades en ondergrond	18
3.3	Vul- en bewerkingsactiviteiten	19
3.3.1	Vulactiviteiten	20
3.3.2	Bewerkingsactiviteiten	25
4	**Monitoring**	**26**
4.1	Inleiding	26
4.2	Vulfase	27
4.2.1	Eerste vulslag	28
4.2.2	Tweede vulslag	29
4.2.3	Baggerlocatie	31
4.3	Monsternamerondes	33
4.3.1	Monstername A	34
4.3.2	Monstername B	34
4.3.3	Monstername C	35
4.3.4	Monstername D	36
4.3.5	Aanvullend onderzoek proefsleuven	36
4.3.6	Drone hoogtemetingen	37
4.4	Overzicht ontwikkeling klei	37
4.5	Bewerkingenoverzicht	42
4.6	Resultaten monitoring tijdens het rijpen	42
4.6.1	Weerdata	42
4.6.2	Hoogte- en volumeontwikkeling	45
4.7	Monsternames	49
4.7.1	Verloop in tijd	50
4.7.1.1	Dichtheid	50

4.7.1.2 Vochtgehalte 51
4.7.1.3 Zoutgehalte 52
4.7.1.4 Consistentie-index 54
4.7.1.5 Organische stofgehalte 56

4.8 Relaties tussen verschillende parameters 56
4.8.1 Relaties met de dichtheid 56
4.8.1.1 Dichtheid ten opzichte van zoutgehalte 56
4.8.1.2 Dichtheid ten opzichte van vochtgehalte 58
4.8.1.3 Dichtheid ten opzichte van consistentie-index 59
4.8.1.4 Dichtheid ten opzichte van gloeiverlies 61
4.8.2 Relatie tussen zoutgehalte en gloeiverlies 63
4.8.3 Effect van zoutgehalte en gloeiverlies op de Atterbergse grenzen 63

4.9 Resultaten per proefvak, laatste monitoringsronde 65

5 Discussie en conclusies 68

5.1 Ingangsmateriaal en ontgravingsmethode 68

5.2 Verloop van de belangrijkste parameters 69

5.3 Effect van rijpingsstrategieën 70

5.4 Eindresultaat 71

6 Referenties 72

A Definitief ontwerp slibdepot Kwelder 73

B Verschilkaart polder Breebaart inpeiling ten opzichte van uitpeiling inclusie het theoretisch ontgravingsmodel 74

C Locaties monstername A tot D 75

D Inmetingen 77

D.1 Drone kenmerken 77

D.2 Fotogrammetrische hoogtekaarten 78

E Onderscheid tussen zandig (MM1) en klei (MM2) metingen in ronde D 82

F Proefsleuven 85

G Partijkeuringen 86

1 Inleiding

De Eems-Dollard wordt gekenmerkt door een hoog slibgehalte en een verminderde ecologische waarde. In 2015 is vastgesteld dat een grote jaarlijkse verwijdering van slib uit het systeem een positief effect zou hebben op de ecologie (Economie en Ecologie Eems-Dollard in balans 2015)[1]. Deze slibwinning biedt een nieuwe materiaalstroom op het land die nuttig kan worden toegepast. Binnen het programma Eems-Dollard 2050 worden –op pilotschaal– diverse van deze methoden beproefd.

Een van deze pilotprojecten is de Pilot Kleirijperij. In deze pilot is slib in ruim 2 jaar tijd gerijpt en omgezet in dijkenklei. De klei is toegepast in een Pilot dijkversterking (de Brede Groene Dijk), waarin 750 meter dijktalud wordt verflauwd met klei uit verschillende lokaal aanwezig bronnen. De bijdrage vanuit de Kleirijperij daarvoor is 70 000 m^3.

De pilot wordt uitgevoerd met twee slibbronnen uit de Eems-Dollard: baggerspecie uit de haven van Delfzijl en recente slibafzettingen uit de polder Breebaart. Elk van deze bronnen is verwerkt op een aparte locatie: de Kleirijperij Delfzijl (voor het slib uit het havenkanaal) ligt binnendijks direct naast het havenkanaal, terwijl de Kleirijperij Kwelder (voor het slib van polder Breebaart) buitendijks ligt op de kwelder, direct voor de dijk waarin het materiaal zal worden toegepast voor een dijkversterking. Het slib van beide bronnen is marien slib met een hoog zout- en organische stofgehalte. De locaties van beide slibbronnen en kleirijperijen is weergegeven in Figuur 2 en Figuur 3.

De Pilot Kleirijperij is uitgevoerd door Provincie Groningen, stichting het Groninger Landschap, Groningen Seaports, Rijkswaterstaat Noord-Nederland, Waterschap Hunze en Aa's en Stichting EcoShape en bevindt zich op twee locaties in de provincie Groningen aan het Eems-Dollard estuarium Figuur 1.

Figuur 1: Locatie van de Kleirijperijen Delfzijl (rood) en Kwelder (groen) in Nederland

[1] Op pagina 14 van deze rapportage wordt een minimumhoeveelheid van 1 miljoen ton (droge stof) per jaar geïntroduceerd: "Uit het rapport van spoor 1 kan worden afgeleid dat de vereiste orde-grootte van de slibonttrekkingen tenminste 1 miljoen ton (als droge stof) per jaar bedraagt. "

Figuur 2: Kleirijperij Delfzijl (links) met de locatie van herkomst van het slib (rechts) (Satelliet data portaal 2018)

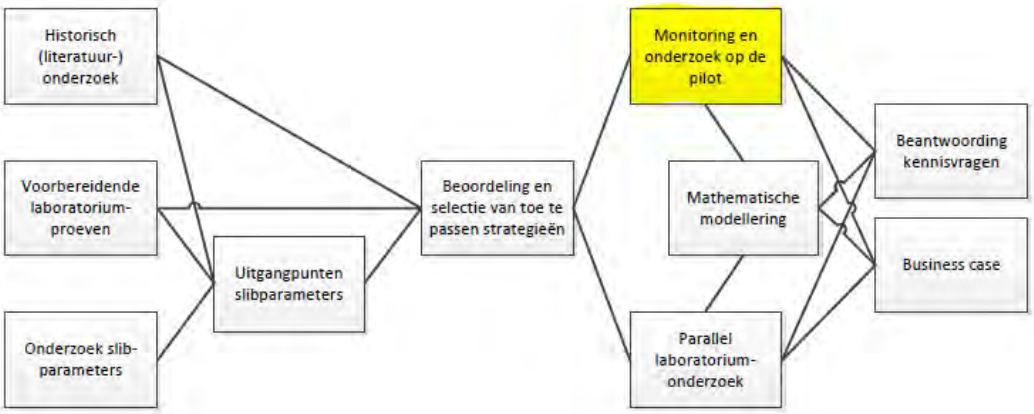
Figuur 3: Kleirijperij Kwelder (links) met de locatie van herkomst van het slib (rechts) (Satelliet data portaal 2018).

1.1 Monitoring

Een monitoringsprogramma is gekoppeld aan de uitvoering van de pilot. EcoShape voert deze monitoring uit en heeft de activiteiten daarvoor beschreven in de monitoringsplannen voor de kleirijperijen Delfzijl (van der Star, Wichman en Boganen 2018a) en Kwelder (van der Star, Wichman en Boganen 2018b). Er zijn diverse doelen voor de monitoring gedefinieerd:

- Het toetsen van mechanismen die optreden en de (wetenschappelijke) beschrijving daarvan.
- Als input/validatie van de mathematische modellering (zie Figuur 4)
- Om tijdens het proces te kunnen sturen op het leveren van voldoende geschikte klei.
- Voor het maken van de business cases (gedurende diverse momenten om een jaarlijkse invulling/aanscherping van de business cases mogelijk te maken).

In het laboratorium zijn parallel en versneld experimenten uitgevoerd onder gecontroleerde omstandigheden (zogenaamde rijpingsproeven). De interpretatie van deze rijpingsproeven is gekoppeld aan de interpretatie van praktijkproeven. Inzichten uit het laboratorium zijn gebruikt voor aanpassing van de monitoring en het beheer van de testsecties.



Figuur 4: Relatie tussen verschillende onderzoeksactiviteiten Kleirijperij (Plan van Aanpak, 2017).

1.2 Opzet en inhoud rapportage

Deze monitoringsrapportage dient als een rapportage van de resultaten van de locatie Kwelder en heeft als doel de metingen vast te leggen en te interpreteren. De monitoringsrapportage van Kleirijperij Delfzijl is in een apart rapport beschreven (Meshkati Shahmirzadi, et al. 2023).

De rapportage bestaat uit de volgende delen:

- een beknopt theoriegedeelte waarin de belangrijkste parameters en hun samenhang worden besproken (Hoofdstuk 2)
- een overzicht van de vul- en bewerkingsactiviteiten (Hoofdstuk 3)
- een beschrijving van de resultaten (Hoofdstuk 4)
- discussie van de resultaten (Hoofdstuk 5) met daarbij een onderscheid tussen:
  - algemene (voor alle bewerkingsvormen geldende) conclusies;
  - effecten van de verschillende bewerkingsvormen;
  - de hoeveelheid en de kwaliteit van het geleverde slib

De bespreking van de resultaten is gedaan op een hoog detailniveau, waardoor hoofdstuk 3 en 4 vrij lang zijn. Voor informatie over de werkzaamheden, gekoppeld aan de discussie over de resultaten kan ook volstaan worden met lezen van hoofdstuk 2 en 5.

2 Relevante eisen, parameters en processen

2.1 Inleiding

Bij het rijpen van slib klei zijn diverse processen van belang, die ook nog eens sterk met elkaar samenhangen. Dat geldt in het bijzonder voor deze pilot, waarin een specifiek type slib (van mariene oorsprong, en met een hoog gehalte organische stof) wordt omgezet in klei die voldoet aan specifieke kenmerken (de eisen voor dijkenklei in Nederland).

Een overzicht van de kennis die beschikbaar is op dat gebied van grootschalige Pilots en vanuit onderzoek gericht op de mechanismen is weergegeven in het literatuuronderzoek (Sjenitzer, et al. 2020). In dit hoofdstuk wordt volstaan met de beschrijving van de verschillende parameters. Bovendien wordt de relatie van de verschillende parameters weergegeven.

2.2 Klei kwaliteitseisen

De criteria waaraan de klei moet voldoen zijn weergegeven in Tabel 1 en gebaseerd op de eisen gesteld in het Technisch Rapport Klei voor Dijken (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen 1996). Daarmee kunnen ze namelijk naar verwachting worden toegepast in de Brede Groene Dijk.

Voor een aantal parameters (zoals het kalkgehalte of zandgehalte) geldt dat ze naar verwachting weinig zullen veranderen tijdens het rijpingsproces. Voor deze parameters geldt dan ook dat de ingangswaardes correct zullen moeten zijn, aangezien een “valse start” met de verkeerde eigenschappen, niet meer tijdens de rijping kan worden gecorrigeerd. Voor andere parameters geldt dat ze juist sterk veranderen tijdens het rijpingsproces. Daarvoor geldt dat het rijpingsproces juist een middel is om de parameters aan te passen.

Tabel 1: Vereiste waardes voor de klei om in dijken te mogen toepassen (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen 1996).

Parameter		Vereiste waarde	Verandering tijdens rijpingsproces verwacht?
Zoutgehalte in porievocht		< 4 g/L	Ja
Organische stofgehalte		< 5 % droge stof	Ja
Erosiebestendigheid **-** **plasticiteitsindex** **-vloeigrens** **-uitrolgrens** **Consistentie-index** **Zandgehalte** **Kalkgehalte** **Dichtheid**[2]		Erosieklasse 1[3] >0,73*(vloeigrens-20%) - - >0,6 <40% <25% >1,55-1,65 t/m^3	Nee -Ja -Ja -Ja (beperkt) Ja Nee[4] Nee Ja
Milieukundige kwaliteit		Klasse A, Achtergrondwaarde of Bodemfunctieklasse Wonen	Nee[5]

2.3 Klei kwantiteitseisen

Bij het vullen van de depots met slib afkomstig uit de haven van Delfzijl en Breebaart dient voldoende materiaal ingebracht te worden om de vereiste 70.000 m^3 klei te leveren. Daarbij is het uitgangspunt dat 2/3 van het ingebrachte slibvolume tot dijkenklei moet rijpen, terwijl voor de rest een andere afzetmogelijkheid wordt gerealiseerd. De inschatting is dat daarvoor 121.000 ton droge stof nodig is. Uitgaande van de hoeveelheid beschikbaar ten behoeve van Kleirijperij Kwelder (uit polder Breebaart) en de dichtheden in de beide depots zijn de volgende hoeveelheden nodig als ingangsmateriaal (zie Tabel 2).

Tabel 2: Hoeveelheden slib en verdeling

Parameter	Kleirijperij Delfzijl (bron: Havenkanaal Delfzijl)	Kleirijperij Kwelder (bron: polder Breebaart)[6]	Totaal
Tonnen droge stof [TDS]	52.791	39.760	91 551
Dichtheid initieel [t/m^3]	1,20	1,24	
Einddichtheid [t/m^3]	1,55	1,68	
Volume klei [m^3]	60 000[7]	36 625	69 625
Volume klei (als 2/3^e lukt) [m^3]	40 000	23 208	62 208[8]

[2] De dichtheid is geen formele eis, maar indien de consistentie-index-eis wordt gehaald, zal de dichtheid rond de 1,55-1,65 t/m^3 liggen.
[3] Erosieklasse 2 is ook acceptabel, maar op basis van het ingangsmateriaal is dat niet te verwachten. Voor erosieklasse 2 geldt een minimum plasticiteitsindex van 18%.
[4] Tijdens bewerken zal wellicht enige doormenging met de zandbodem en zandige ringdijken optreden, waarmee het zandgehalte toch enigszins kan toenemen.

[5] Hoewel geen milieukundige klassenverandering wordt verwacht, kunnen wijzigingen optreden in de (gestandaardiseerde) gehaltes van individuele parameters, mede omdat de gestandaardiseerde gehaltes afhankelijk zijn van het organische stofgehalte (met de gloeiverliesmethode).
[6] Het betreft hier inschattingen ten tijde van het begin van het project gebaseerd op diverse malen aangepaste baggerprofielen en dichtheden.
[7] Afgerond getal, aangezien hierop de hoeveelheid TDS is gebaseerd.
[8] Dit is minder dan de doelstelling van 105 000 m^3, door vermindering van de beschikbare hoeveelheid slib in Polder Breebaart. Uit Polder Breebaart wordt tevens -ter compensatie- per as 15 000 m^3 klei aangevoerd, die echter geen onderdeel uitmaakt van het onderzoeksprogramma.

2.4 Relevante parameters

Omdat ze voor de monitoring van belang zijn, wordt een aantal parameters hieronder beschreven. Daarbij worden niet alleen de parameters beschreven die voortvloeien uit formele eisen (zoals beschreven in (van den Heuvel 2018)), maar worden eerst een aantal aan de Atterbergse grenzen gerelateerde grootheden beschreven die daarmee samenhangen. Daarna wordt ingegaan op de voor de kleirijperij belangrijkste parameters die zullen wijzigen: dichtheid, zoutgehalte en organische stofgehalte. Deze laatste drie parameters worden daarom aangeduid als hoofdparameters in deze rapportage. De parameters zijn gelinkt aan een conceptueel model voor het rijpen van klei dat is opgesteld in 2022. Voor meer informatie over de relevante processen zie de rapportage waarin het model is beschreven (Sittoni, et al. 2022)

Atterbergse grenzen: vloeigrens, uitrolgrens, consistentie-index, plasticiteitsindex en Erosieklasse
In de kleirijperij is de dichtheid formeel geen vereiste, maar de consistentie-index (I_C) is dat wel. De consistentie-index is een maat voor de verwerkbaarheid van het slib die omhoog gaat naarmate de dichtheid omhoog gaat.

De consistentie-index is gebaseerd op het watergehalte van het materiaal en op de plasticiteitsindex (I_P). Deze plasticiteits-index is het verschil tussen de Atterbergse grenzen:

- De vloeigrens (W_L): de overgang van slib/klei dat zich gedraagt als een vloeistof naar plastisch vervormbaar gedrag
- De uitrolgrens (W_P): de overgang van klei die plastisch vervormbaar is, naar zodanig droog materiaal dat het makkelijk verbrokkelt en geen aangesloten laag vormt.

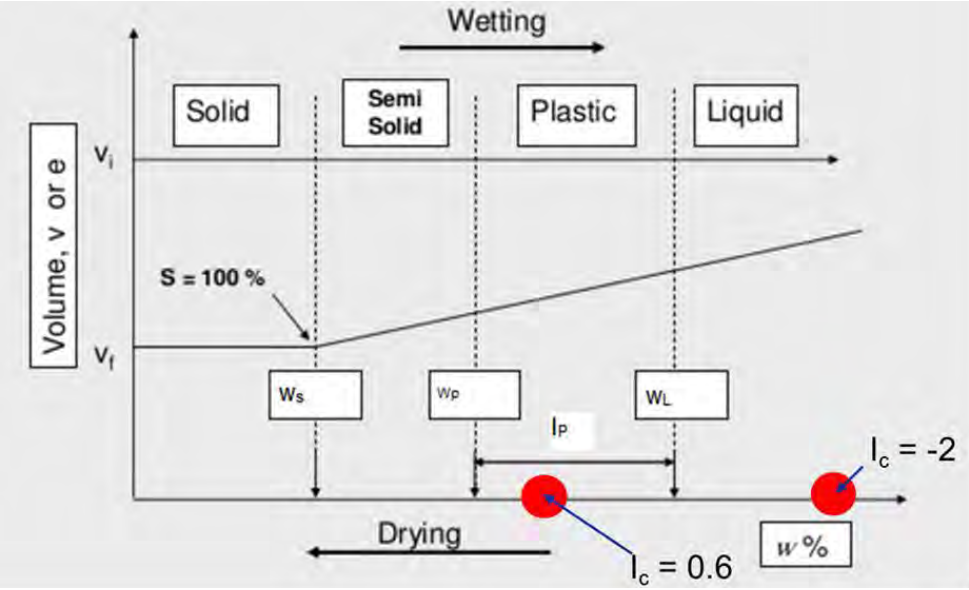
De consistentie-index (I_C) is berekend via de formule:

$$I_C = (W_L - w_{\%}) / (W_L - W_P)$$

waarin:
W_L= *vloeigrens (massa% ten opzichte van droge stof)*
W_P= *uitrolgrens (massa% ten opzichte van droge stof)*
$w_{\%}$= *actuele waterpercentage (massa% ten opzichte van droge stof)*

Kortom, een hoge plasticiteits-index betekent dat de klei over een grote variatie aan watergehaltes plastisch gedrag vertoont en daarmee verwerkbaar is. Daarmee is ook het effect van weerseffecten (droogte, regenval) op de klei-eigenschappen beperkter.

De consistentie-index geeft aan hoe het watergehalte zich verhoudt tot de Atterbergse grenzen: De vloeigrens (W_L) heeft een I_C van 0 en de uitrolgrens (W_P) heeft een I_C van 1. Slib zal initieel een watergehalte hebben boven de vloeigrens, en daarmee een negatieve I_C. Het slib gedraagt zich dan als een vloeistof. De relatie tussen slibvolume en de consistentie-index is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Schematische weergave van de relatie tussen het watergehalte ($w_{\%}$) en het volume (v) (van den Heuvel 2018). In de figuur zijn tevens het verloop van de verzadigingsgraad (S) en de consistentie-index (I_C) weergegeven, net als de vloeigrens (W_L), uitrolgrens (W_P) en de plasticiteitsindex (I_P). Tijdens de kleirijperij Delfzijl beweegt de consistentie-index zich van circa -2 naar 0,6 (rode stippen). In de polder Breebaart wordt gestart bij een hogere consistentie-index (waterbodem), gaat het omlaag tijdens transport (<-10), waarna de waarde weer toeneemt tot circa 0.6.

De uitrolgrens en de plasticiteitsindex (en daarmee ook de plasticiteitsindex) zijn in principe constitutieve eigenschappen: ze wijzigen niet als het watergehalte wijzigt. Dit in tegenstelling tot de consistentie-index die wel afhankelijk is van het watergehalte. Door verwijdering van organische stof tijdens de rijping zal echter ook de vloeigrens, en in mindere mate de uitrolgrens afnemen. Daarmee zal ook de consistentie-index afnemen. Daarmee neemt met het verwijderen van organische stof ook maximale watergehalte toe (en de minimale dichtheid af) waarbij aan de eis voor de consistentie-index wordt voldaan

Dichtheid
De bulkdichtheid is een belangrijke maat om te zien hoeveel water is uitgetreden: wanneer het watergehalte afneemt, neemt de dichtheid toe en het volume van het slib af.

De uittreding van water wordt in eerste instantie veroorzaakt door consolidatie: het dichter op elkaar gaan zitten van droge stof waardoor het water eruit wordt geperst. Het water moet daarvoor wel ergens naar toe kunnen. In de kleirijperij kan het water uit de vakken ontsnappen via de bovenkant, via de drainerende zandlaag aan de onderkant en wellicht via de drainerende werking van de kades. Naast consolidatie speelt ook rijping een rol nadat het waterpeil is verlaagd tot beneden het sliboppervlak: de werking van het slib/de klei aan de lucht door verdamping waardoor scheuren ontstaan.

Zoutgehalte
Het zoutgehalte in het porievocht (het water aanwezig in de poriën van het materiaal) is aanvankelijk veel hoger dan de vereiste bovengrens. Dit komt omdat de Eems-Dollard een marien milieu is, waarin het zoutgehalte veel hoger is dan in zoet water. Zout zal met het uittredende water mee verwijderd worden, maar dat maakt de concentratie van het zout niet lager. Door verdamping zal het zoutgehalte wellicht enigszins toenemen. Een verlaging van de zoutconcentratie vindt pas plaats als (zoet) regenwater door het slib/de klei heen stroomt en het zout meeneemt. Dit proces is aanvankelijk zeer traag, omdat de doorlatendheid erg laag is, en de afstand die het zout door diffusie moet afleggen naar het regenwater erg lang is. Pas als er voldoende scheuren zijn ontstaan, en er voldoende “structuur” in de klei aanwezig is en het regenwater goed in contact kan komen met de klei, zal het zoutgehalte bij voldoende regenval sneller dalen.

Organische stof
Het slib in de Eems-Dollard heeft tevens een hoog organische stofgehalte. Dit organische stof is (gedeeltelijk) biologisch afbreekbaar: door contact met zuurstof oxideert het en verdwijnt het als CO_2 in de lucht. De zuurstof dringt echter maar beperkt het slib binnen, en daarom geldt net als voor het zoutgehalte dat verwijdering van het organische stof voornamelijk plaatsvindt, na scheurvorming en de vorming van structuur. Afbraak in afwezigheid van zuurstof is wel mogelijk. Deze anaerobe afbraak is trager dan aerobe afbraak en leidt naast CO_2 tot productie van methaan. Het organische stofgehalte heeft een sterk effect op de vloeigrens, en een beperkt effect op de uitrolgrens. Bij een afname van het organische stof nemen beiden af. De ligging ten opzichte van de A-lijn (bepalend voor de erosieklasse) wijzigt echter niet of nauwelijks.

2.5 Te variëren parameters in de pilot

In de pilot Kleirijperij wordt het effect van een aantal parameters onderzocht, om zo tot een goede technische uitvoering en business case te komen voor het op grotere schaal rijpen van klei.

Op basis van de onderzoeksvragen gedefinieerd in het Plan van Aanpak (Ecoshape 2017) is een literatuurstudie (Sjenitzer, et al. 2020), inclusief de analyse van historische methoden, uitgevoerd om verschillende technieken in kaart te brengen die tijdens de pilot getest konden worden. Deze technieken zijn specifiek gefocust om het slib te laten rijpen en de kwaliteit van de gewonnen klei te verbeteren.
Deze beoordeling in combinatie met de initiële gegevens over slibkarakteristieken, laboratoriumonderzoek en een expert workshop (Ecoshape, Expertgroep Pilot Kleirijperij 2019) hebben de basis gevormd voor de definitieve keuze van de proefvakken en de te variëren parameters.
De variaties die gebruikt zijn voor de locatie Kwelder worden hieronder kort besproken:

- Laagdikte

De snelheid waarmee water uittreedt door consolidatie en verdamping is beperkt, afhankelijk van de laagdikte. Dit betekent dat de benodigde tijd voor rijping toeneemt naarmate de laagdikte groter wordt. Een dunne laag zal dus sneller rijpen dan een dikkere laag, maar bevat minder slib, hetgeen leidt tot een lagere kleiproductie. Een belangrijke vraag is bij welke laagdikte en bij welk aantal cycli de productie van klei optimaal is. Ook de variatie in aantal vulslagen, noodzakelijk om de vakken met de gewenste hoeveel slib te vullen, kan invloed hebben op de laagdikte. Als een vak in twee keer gevuld wordt heeft de relatief dunne sliblaag na de eerste vulslag de mogelijkheid om sneller te rijpen dan wanneer het vak in één keer gevuld is.

- Bewerkingsfrequentie

Door meer bewerkingen te doen kan de rijping worden versneld met een bovengrens gedicteerd door de lokale verdampingssnelheid. De energie die dit vergt vertaalt zich echter ook in hogere kosten. Bewerken versnelt het proces met name sterk als het watergehalte in de korst laag is en scheuren droog staan. Een overzicht van de bewerkingen is weergegeven in Figuur 6. De bewerkingen zijn adaptief plaatsgevonden op basis van de consistentie van de klei.

- Water op vak laten staan

Door het water dat tijdens het vullen meekomt niet weg te pompen blijft de sliblaag langer volledig in de consolidatiefase en wordt korstvorming en rijping van de toplaag uitgesteld. Dit kan de snelheid van consolidatie bevorderen indien de korst die anders zou ontstaan slecht doorlatend is. Hierdoor kan het consolidatiewater moeilijk uittreden. Maar indien deze korst t.g.v. scheurvorming juist goed doorlatend is, dan kan vroegtijdige afwatering het consolidatieproces juist versnellen doordat de korstvorming resulteert in een grotere bovenbelasting en daarmee een grotere aandrijvende kracht voor consolidatie.

Er is in deze pilot gevarieerd door de vakken K3 en K7 onder water te laten staan. De overige vakken zijn wel afgewaterd.

- Biologische methoden

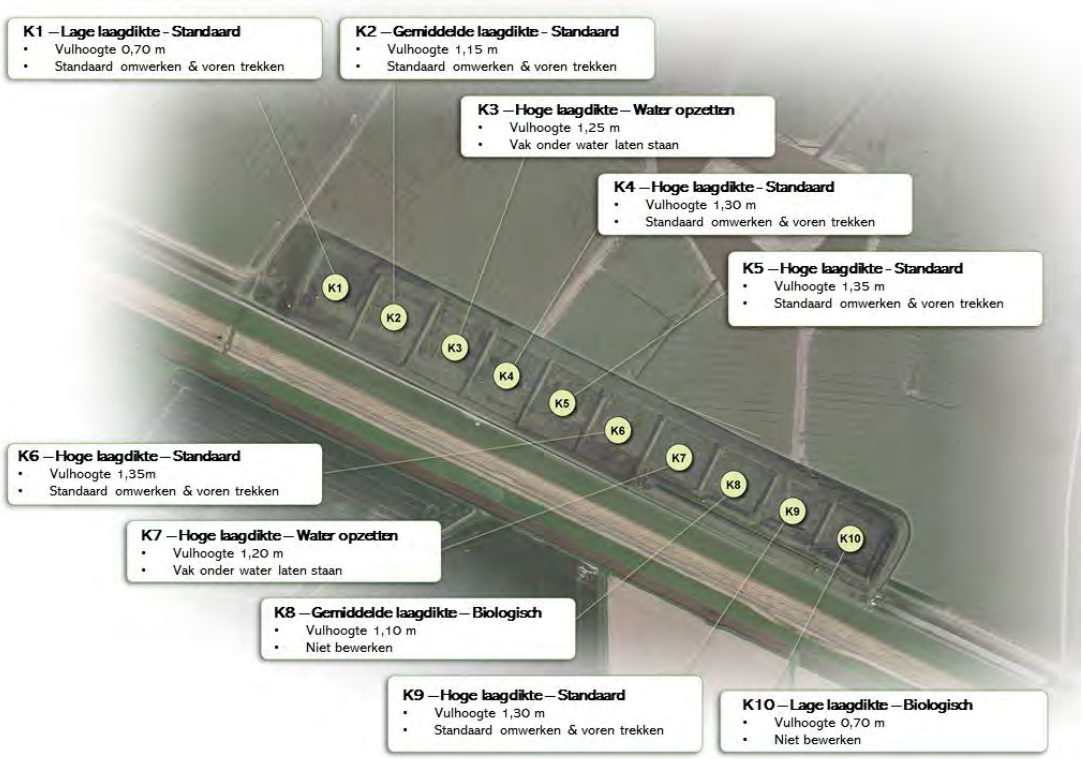
Door inzaaien kan sneller structuur worden verkregen en infiltratie van regenwater (voor ontzouting) worden verbeterd. Bovendien kan indringing van zuurstof leiden tot een betere oxidatie van organisch materiaal. Inzaaien heeft pas zin na enige rijping.

Op 29 oktober 2020 zijn twee vakken (K8 en K10) op vergelijkbare wijze als de Delfzijl-locatie ingezaaid (van der Ouderaa, et al. 2023). De vakken zijn voor de biologische inrichting verdeeld in drie (sub)stroken. Omdat klein schorrenkruid op de Delfzijl-locatie nauwelijks is gekiemd, is ervoor gekozen deze soort niet meer toe te passen op de kwelderlocatie. Dit betekent dat op de kwelderlocatie in de twee vakken K8 en K10 de volgende drie inzaaibehandelingen zijn toegepast (alle drie in twee subvakken):

a) alleen zulte (1,5 kg/ha)
b) zaadmengsel van zulte (1,5 kg/ha) en strandmelde (3,8 kg/hg)
c) de blanco-behandeling.

Omdat na inzaaien de bewerkingen bij de biologische vakken beperkt mogelijk is, is het moeilijk ze te vergelijken met de andere vakken. Dat is de reden dat de bovengenoemde niet bewerkte en niet ingezaaide strook is ingericht: de biologische blanco.
Vanaf maart 2021 is voor de blanco-behandelingen gestart met het vegetatie-vrij houden van vaste plots.

De vakindeling en rijpingsstrategieën zijn weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Vakindeling van Kleirijperij Kwelder. Vulhoogte is de behaalde eindhoogte na de twee vulslagen.

De vakken K1 en K2 met een lagere laagdikte zijn met een hogere frequentie bewerkt, dit omdat een deel van het materiaal uit deze vakken is gebruikt voor het bouwen van een proefdijk. De vakken K4, K5, K6 en K9 hebben allemaal een relatief hoge laagdikte en hebben dezelfde bewerkingsfrequentie gehad, lager dan K1 en K2. Bij de vakken K3 en K7 is het water niet weggepompt na het vullen, verder is de bewerkingsfrequentie gelijk aan die van K4, K5, K6 en K9. De vakken K8 en K10 zijn gebruikt voor het testen van de biologisch methode.

3 Overzicht vul- en bewerkingsactiviteiten

3.1 Inleiding

Eerst worden de eigenschappen van de proefvakken voor het vullen beschreven, daarna wordt er een overzicht wordt gegeven van de vul- en bewerkingsactiviteiten die in overeenstemming met de rijpingsstrategieën zijn opgesteld.

3.2 Proefvakbeschrijvingen

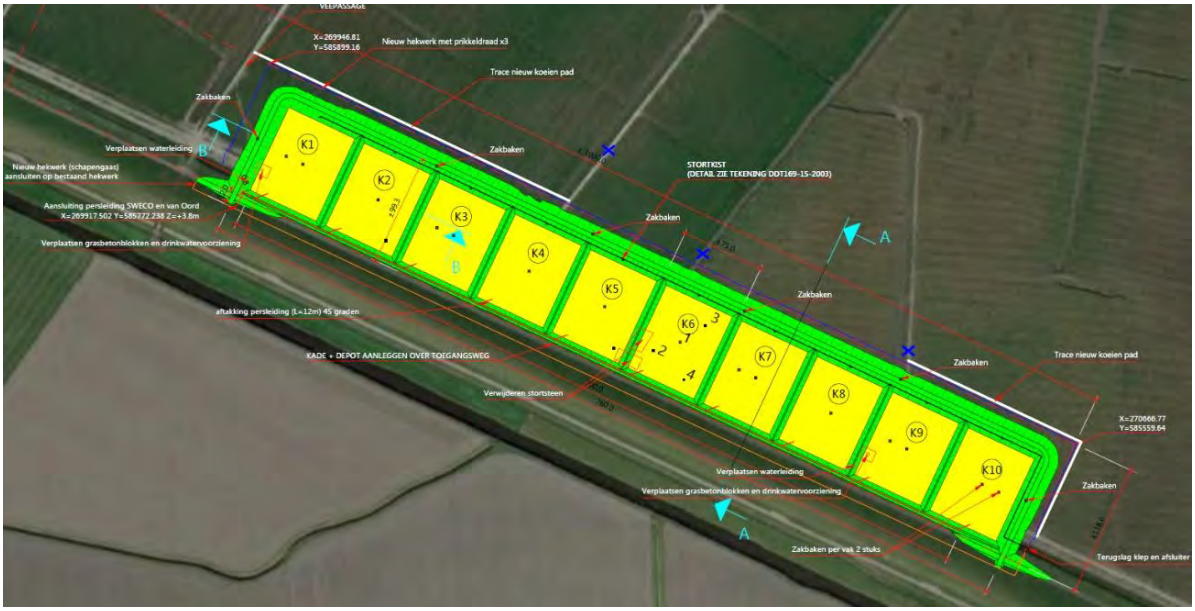
De proefvakken en de kades van de proefvakken worden in de volgende secties beschreven. In Figuur 7 en bijlage A is het definitieve ontwerp van het slibdepot van locatie Kwelder afgebeeld.

3.2.1 Drainagesysteem en ondergrond

In tegenstelling tot locatie Delfzijl is er bij de locatie Kwelder geen drainagesysteem aangelegd.

3.2.2 Kades en ondergrond

In oktober 2018 is het depot gebouwd en zijn de perskades aangelegd. De kades van de proefvakken zijn gemaakt met in het terrein aanwezig materiaal. Ze bestonden uit klei. Een schematisch overzicht van het ontwerp van de kades en proefvakken is weergegeven in Bijlage A. De vakken, afgebakend met de zwarte lijnen deze bijlage zijn 95 meter lang en 75 meter breed met een oppervlakte van 7125 m^2. De veldhoogte van de proefvakken na aanleg én voordat de vulslagen hebben plaats gevonden varieert van 2,02 m tot 2,28 m +NAP.



Figuur 7: Schematisch overzicht van het ontwerp voor de kleirijperij Kwelder.

3.3 Vul- en bewerkingsactiviteiten

De datums waarop verschillende vulactiviteiten en de belangrijkste bewerkingsactiviteiten hebben plaatsgevonden zijn te vinden in Tabel 3.

Tabel 3: Datums van vul- en bewerkingsactiviteiten

Jaar	Activiteit	Datums
2018	Bouwen depot/aanleg perskades	Oktober 2018
2019	Vulslag 1: Vullen van depots K2 – K6	Februari – maart 2019
	Vulslag 2: Vullen van depots eerste periode	7 november 2019 – 19 december 2019
2020	Vulslag 2: Vullen van depots tweede periode	8 januari 2020 – 27 februari 2020
	Omzetten vakken (K1 & K2)	13 & 14 augustus, 20 & 21 augustus 2020
	Transport 750m^3 klei K1 & K2 voor aanleg Proefdijk	7 – 13 september 2020
	Omzetten vakken (K1 & K2)	oktober 2020
	Omzetten vakken (K4 & K6)	november 2020
2021	Ontkisten watervakken K3 en K7	maart 2021
	Korst in vakken op tussendijken zetten en verdichten (K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K9)	juli 2021
	Omzetten en op ruggen zetten van nog te rijpen klei in vakken (K3, K4, K5, K6, K7, K9)	augustus 2021
	Korst in biologische vakken op tussendijkjes zetten en verdichten (K8, K10)	september 2021
	Omzetten en op ruggen zetten van nog te rijpen klei in vakken (K6, K7, K9)	2^e helft 2021
	Waterhuishouding en terrein gereed maken voor winterperiode	september - oktober 2021
2022	Omzetten en op ruggen zetten van nog te rijpen klei in vakken (K1 t/m K7, K9, met focus op volle vakken (K5, K7, K9))	februari – maart 2022
	1 keer omzetten als laatste werkstap voor verwerken in dijk	Voorjaar 2022

Voor opbouw van de depots werd eerst de toplaag van de kwelder verwijderd, en vlak gemaakt (Figuur 8), waarna de depots werden opgebouwd. Door regenval kwamen de vakken onder water te staan.

Figuur 8: Foto Kleirijperij Kwelder en (deels rechts te zien) de Klutenplas voordat de proefvakken zijn aangelegd op 28 mei 2018.

De vulslagen en het doorbreken van de korst is weergegeven in de onderstaande paragrafen.

3.3.1 Vulactiviteiten

Het slib is gewonnen met een snijkopzuiger in polder Breebaart, waarna het per pijpleiding is verpompt naar de kleirijperij Locatie Kwelder. Daarbij is slib met een doppomp verwijderd en in een afgedamd gedeelte van de polder geplaatst. Vervolgens is het met een grondpers naar de vakken verpompt. Het vullen van de vakken heeft plaatsgevonden over twee vulslagen. Deze zullen verder in het rapport als vulslag 1 en vulslag 2 genoemd worden. Aan de hand van een debietmeter is bijgehouden hoeveel slib er in totaal in de vakken is ingebracht. Dit betreft 8 083 m^3 tijdens vulslag 1 en 59 177 m^3 tijdens vulslag 2. Het materiaal werd het vak in gebracht op één locatie per vak, namelijk aan de zijde van de zeedijk (Figuur 11).

Vulperiodes

In februari tot maart 2019 zijn de vakken K2 t/m K6 voor een relatief klein deel (8 083 m^3) gevuld met slib, omdat op dat moment door de aannemer vanuit Breebaart niet meer slib geleverd kon worden. Dit wordt in het rapport beschouwd als vulslag 1. Acht maanden later, in november 2019 zijn alle depots verder gevuld (vulslag 2). Tijdens vulslag 2 heeft de toelevering van slib naar de locatie Kwelder in een periode van ongeveer 16 weken plaatsgevonden, van november 2019 tot maart 2020 (zie

Tabel 4). Aangezien wachttijd tussen de vulslagen wenselijk was en vullen in twee slagen in het vulplan staat (voor een groot aantal vakken), is de vulvolgorde tijdens de tweede vulslag gebruikt om een wachttijd te realiseren. De vakken zijn eerst voor ongeveer de helft gevuld. Hiermee is voor de meeste vakken een wachttijd van minimaal 3 en maximaal 10 weken, voordat in een 2^{e} periode alle vakken tot hun eindhoogte zijn gevuld. Vakken K1 en K2 zijn in 1 keer gevuld met een maximale wachttijd van 1 week.

Tabel 4: De vulperiodes van vulslag 2, nov 2019 tot maart 2020, en per vak het aantal weken tussen de vulperiodes.

Vak	Vulperiode 1 07-11-19 t/m 19-12-19	Vulperiode 2 08-01-20 t/m 27-02-20	Aantal weken tussen vulperiodes
K1		X	
K2		X	
K3	X	X	3
K4	X	X	3
K5	X	X	3
K6	X	X	3
K7	X	X	8
K8	X	X	10
K9	X	X	10
K10	X	X	10

Het uitgangspunt tijdens vulslag 2 was om 57 000 m^3 slib en vaste bodem te ontgraven in de polder Breebaart (Figuur 9). Tijdens de werkzaamheden hebben enkele praktische wijzigingen plaatsgevonden die invloed hebben gehad op het aantal kubieke meters dat gebaggerd is. De redenen hiervoor zijn:

- De zanderige vaste bodem in het 3D hoogtemodel (die gebruikt is om het ontgravingsvolume te voorspellen) wat niet geschikt is voor verwerking in het kwelderdepot
- De watergang is smaller dan volgens het model
- Vermoedelijke NGE (Niet Gesprongen Explosieven) in het model
- Obstakels/oude remmingswerken in het ontgravingsmodel
- Puin/steenvelden in het model
- Meten op de raaien die niet altijd representatief zijn

Figuur 9: Overzichtsfoto Polder Breebaart in 2018. Herkomstlocatie van het slib voor kleirijperij Kwelder.

In bijlage B is het uiteindelijke verschil in hoogte weergegeven tussen initiële 3D model en daadwerkelijke uitpeiling van de Breebaart polder na de baggerwerkzaamheden.

Onder invloed van de wijzigingen is, aan de hand van uitpeiling, in totaal 50 196 m^3 kwelderbodem (“sediment“) ontgraven uit de polder Breebaart. Met inbegrip van uitlevering is in totaal 54 560 m^3 (73 503 ton) verwerkt in de Kwelder depots, waarvan 28 379 m^3 baggerspecie en 21 817 m^3 vaste bodem. Daarnaast zijn er gelogde gegevens bijgehouden over de dichtheid, debiet en inspuithoogte van de depots afzonderlijk. Hieruit blijkt in totaal 59.177 m^3 met een in-situ dichtheid van circa 1,32 ton/m^3 te zijn ingespoten (78.113 ton).

Het verschil tussen uitpeiling en de gelogde gegevens kunnen mogelijk worden verklaard doordat er veel aannames zijn gebruikt om de kubieke meters en tonnen te berekenen. Dit zijn aannames over: peilen en m^3 berekenen per raai, dichtheid slib en vaste bodem in situ, uitleveringsfactor voor slib en vaste bodem in depot, exacte oppervlakte van de depots en exacte dichtheid in depots . Door één of meerdere aannames te veranderen komt men dichter of verder van elkaar weg.

Figuur 10: Drone overzicht van proefvakken K1 – K10. De uiteinden van de persleiding zijn zichtbaar in het zuiden van de vakken. Foto genomen op 25 maart 2019.

Figuur 11: Uiteinde van de persleiding bij vak K8 waar vanaf het materiaal toestroomde.

3.3.2 Bewerkingsactiviteiten

In 2020, na de twee vulslag, zijn de vakken bewerkt met als doel de rijping van de klei te versnellen. Het klei/slib wordt tijdens de bewerking omgezet en/of op ruggen gezet. Een overzicht van de bewerkingscampagnes is te vinden in

Tabel 5 en in Bijlage C.

In week 37 (7 - 13 september) is er 750 m^3 klei vanuit depot Kwelder uit het noordoostelijke gedeelte van vakken K1 en K2 weg getransporteerd. Dit klei is gebruikt voor de aanleg van de Proefdijk op de kwelder.

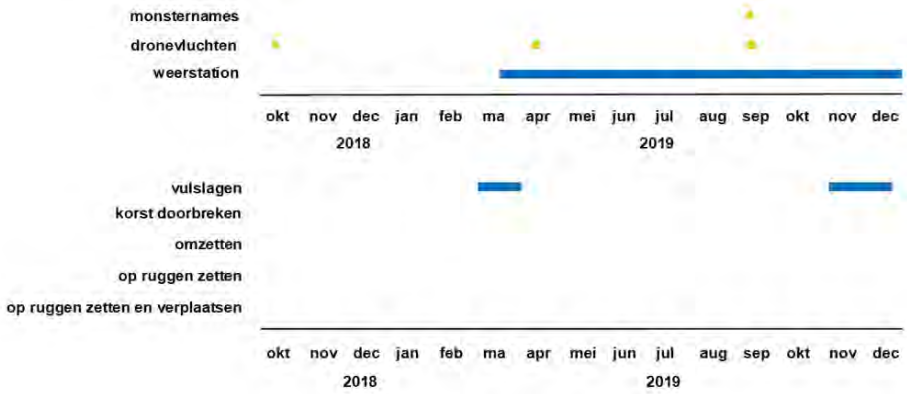
Tabel 5: Bewerkingscampagnes Kleirijperij Kwelder

Activiteit	Datums	Vakken bewerkt
Omzetten (op ruggen zetten) deel van klei in vakken voor aanleg proefdijk	13 & 14 augustus, 20 & 21 augustus 2020	K1 en K2
Transport 750m^3 klei voor aanleg Proefdijk	7 – 13 september 2020	K1 en K2
Omzetten vakken	Oktober 2020	K1 en K2
Omzetten vakken	November 2020	K4 en K6
Ontkisten vakken	Maart 2021	K3 en K7
Korst in vakken op tussendijken zetten en verdichten	Juli 2021	K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K9
Omzetten en op ruggen zetten	Augustus 2021	K3, K4, K5, K6, K7, K9
Korst in vakken op tussendijkjes zetten en verdichten	September 2021	K8, K10
Omzetten en op ruggen zetten	September 2021	K6, K7, K9
Omzetten	Voorjaar 2022	K1 t/m K7, K9, met focus op volle vakken (K5, K7, K9)

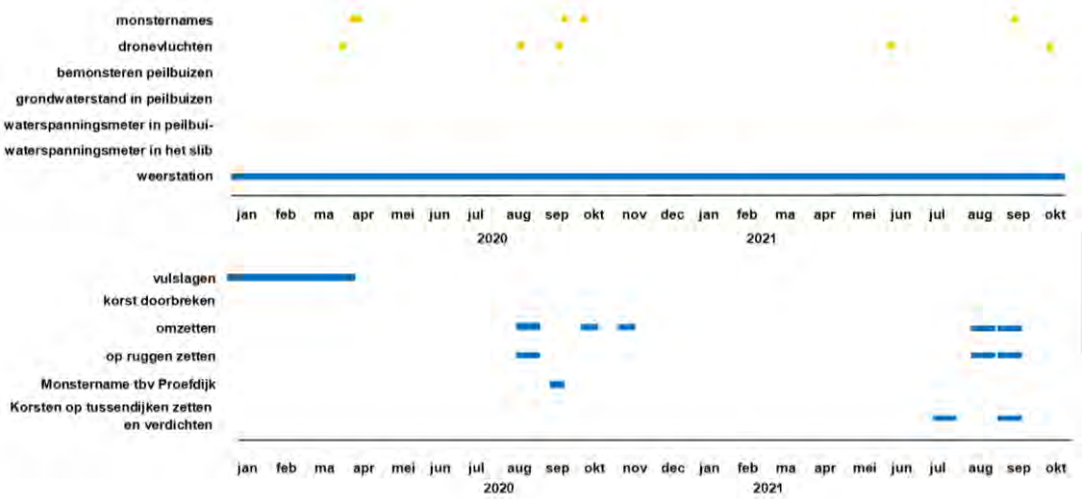
4 Monitoring

4.1 Inleiding

Het rijpingsproces van de Kleirijperij wordt gemonitord met behulp van diverse metingen die met verschillende frequenties plaatsvinden. Voor het vaststellen van de eigenschappen vindt monstername (en analyse) plaats van het materiaal tijdens het vullen, en gedurende drie bemonsteringsrondes (Ronde A, B, C en D). Daarnaast vindt meting plaats van de veldhoogte in de proefvakken (drone metingen) en de geleverde hoeveelheid slib. Omgevingsgegevens worden verzameld met een weerstation. De verschillende monstername-activiteiten voor 2018 tot en met 2020 zijn weergegeven in Figuur 12 en Figuur 13.



Figuur 12: Overzicht van monitorings- (boven) en bewerkingsactiviteiten (beneden) in 2018 en 2019 (NB: niet elke bewerkingsactiviteit is van toepassing op elk proefvak). Metingen in geel betreffen puntmetingen, terwijl in blauw langdurige monitoring is weergegeven.

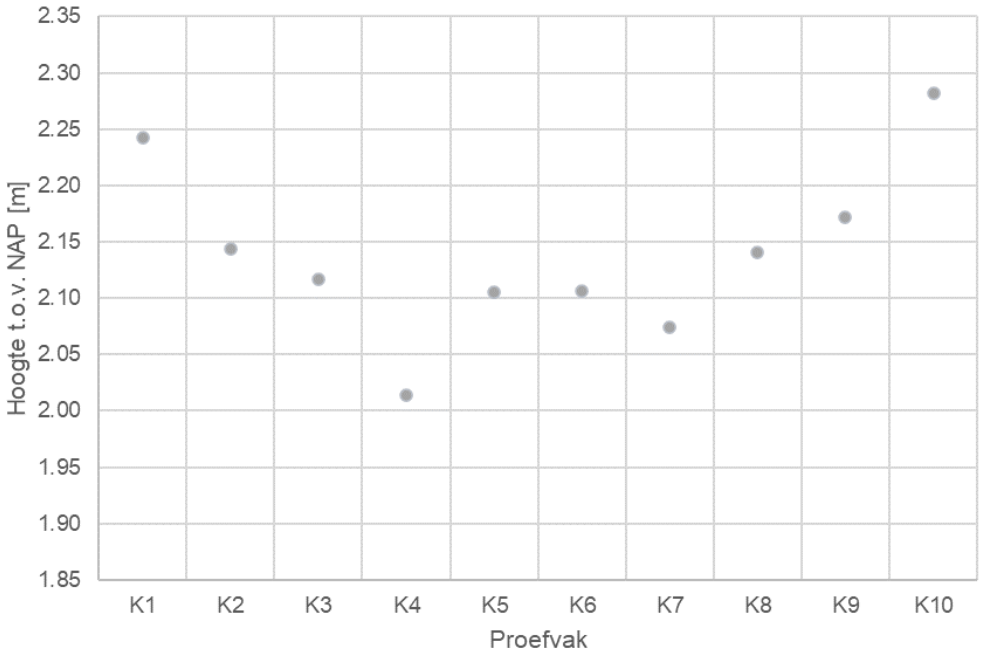


Figuur 13: Overzicht van monitorings- (boven) en bewerkingsactiviteiten (beneden) in 2020 en 2021 (NB: niet elke bewerkingsactiviteit is van toepassing op elk proefvak). Metingen in geel betreffen puntmetingen, terwijl in blauw langdurige monitoring is weergegeven.

4.2 Vulfase

De vakken K2 tot K6 zijn in twee fasen gevuld met slib, de overige vakken zijn in één keer gevuld tijdens de tweede vulslag. De gemiddelde hoogte van de vakken is 8 maanden na de start en aflaten van het bovenstaande water weergegeven in Figuur 14.

De veldhoogte van de proefvakken na aanleg én voordat de twee vulslagen hebben plaatsgevonden is weergegeven in Bijlage D.2. De veldhoogte is bepaald op basis van fotogrammetrie met behulp van dronebeelden die genomen zijn op 18 oktober 2018, zie paragraaf 4.3.6 voor het hiervoor gebruikte materiaal en de methode.



Figuur 14: Gemiddelde veldhoogte per proefvak voor het vullen (m NAP). Hoogte gebaseerd op fotogrammetrie met dronebeelden genomen op 18-10-2018.

Figuur 15: Foto kleirijperij Kwelder na aanleg van de proefvakken. Klutenplas is nu (deels) aan de linkerkant zichtbaar. Foto genomen op 17 januari 2019, voordat de eerste vulslag heeft plaatsgevonden

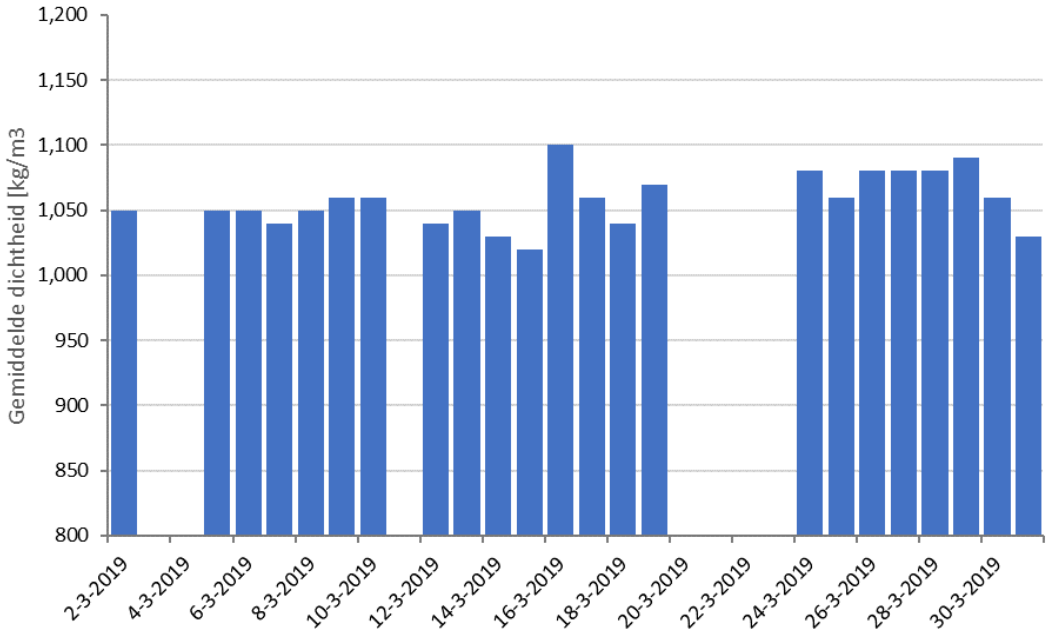
4.2.1 Eerste vulslag

De 1e vulslag vond plaats van 1 tot 30 maart 2019, waarbij het slib vervolgens via een persleiding is getransporteerd naar de Kleirijperij Kwelder, zie Figuur 16. Het slib is verkregen uit de polder Breebaart (Figuur 9).

In deze vulslag zijn alleen de vakken K2 tot en met K6 gevuld met in totaal circa 8083 m^3 slib. geeft de hoeveelheid slib weer die in elk vak is gepompt.

Tijdens het vullen bij de eerste vulslag is de dichtheid uit de pomp gemeten met een nucleaire dichtheidsmeter. De gemiddelde dichtheid van het verpompte slib per dag is weer gegeven in Figuur 17. Over de hele periode genomen (1 tot 31 maart 2019) was de gemeten gemiddelde dichtheid van het slib 1056 kg/m^3.

Figuur 16: Overzicht van vakken K2 tot K6 tijdens de eerste vulslag (foto op 12 maart 2019)



Figuur 17: Gemiddelde dichtheid van het verpompte slib per dag tijdens vulslag 1. NB. De y-as begint niet bij nul om de (kleine) variaties tussen de verschillende dagen goed weer te geven.

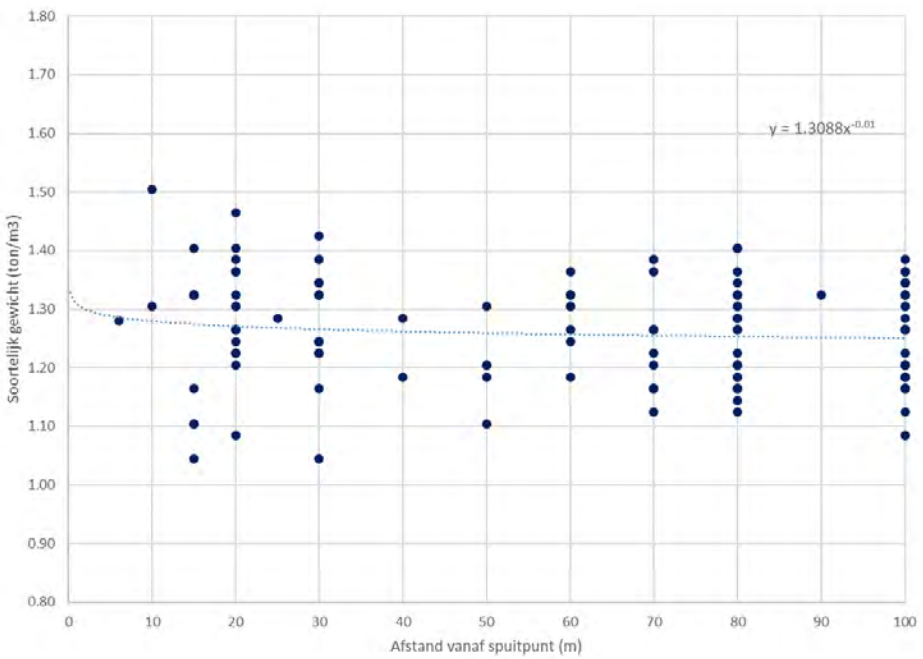
4.2.2 Tweede vulslag

Tijdens vulslag 2 heeft de toelevering van slib naar de locatie Kwelder in een periode van ongeveer 16 weken plaatsgevonden, van 6 november 2019 tot en met 27 februari 2020. Daarbij werd slib over het in de eerste vulslag aangebracht slib gestort op vergelijkbare wijze als in vulslag 1. In vulslag 2 is in totaal 59 177 m^3 slib ingebracht. Tabel 6 geeft de hoeveelheid kubieke meters ingebracht slib en de vulhoogte in kleirijperij Kwelder tijdens vulslag 2 per vak weer. Het ingebrachte slib van vulslag 1 staat weergegeven in de kolom "Start werk (m^3)".

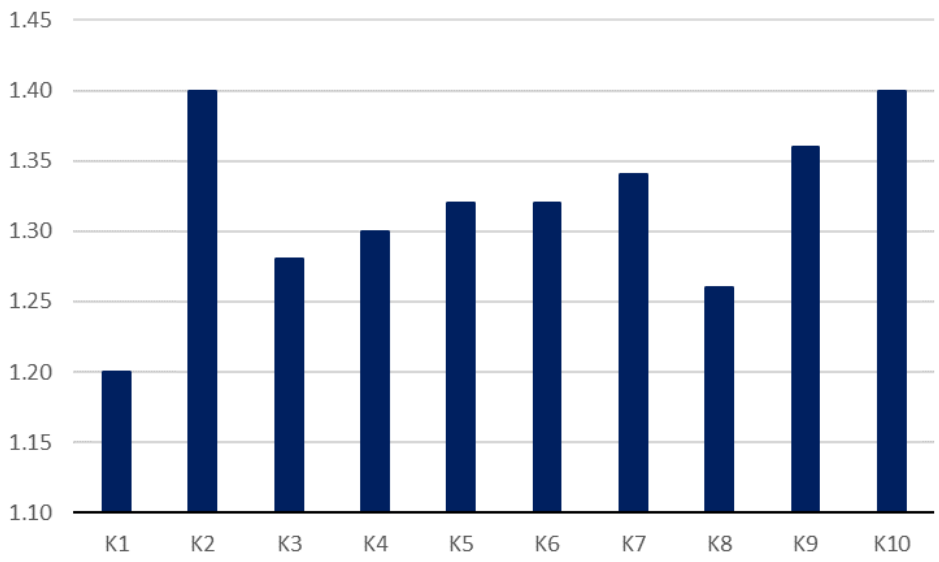
Tabel 6: Hoeveelheid kubieke meters ingebracht slib in kleirijperij Kwelder tijdens vulslag 2. Het ingebrachte slib van vulslag 1 staat weergegeven in de kolom "Start werk (m^3)"

Vak	Type	Verwachtte hoogte [m]	Oppervlakte vak [$m^{2]}$	Vulhoogte [m]	Start werk [m^3]	Eindhoogte [m]	Ingebracht [m^3]	Totaal in depot [m^3]
1	laag	0,75	5900	0,44	2596	0,7	1534	4130
2	midden	1,13	5900	0,24	1416	1,15	5369	6785
3	hoog	1,35	5900	0,03	177	1,25	7198	7375
4	hoog	1,35	5900	0,12	708	1,30	6962	7670
5	hoog	1,35	5900	0,16	944	1,35	7021	7965
6	hoog	1,35	5900	0,19	1121	1,35	6844	7965
7	hoog	1,35	5900	0,11	649	1,2	6431	7080
8	midden	1,13	5900	0	0	1,1	6490	6490
9	hoog	1,35	5900	0	0	1,3	7670	7670
10	laag	0,75	5900	0,08	472	0,7	3658	4130
Totaal		-	-	-	**8083**	-	**59177**	**67260**

Tijdens de vulslag zijn de volgende parameters per dag en per vak bijgehouden in een logboek: Dichtheidsmetingen via 5 liter emmers, NTU slib per dag per vak en de vulhoogte aan het eind van de dag (als er die dag gevuld was). De dichtheidsmetingen zijn op verschillende afstanden vanaf het spuitpunt genomen. De onderstaande Figuur 18, Figuur 19 en Tabel 7 geven een samenvatting van deze metingen.



Figuur 18: Dichtheid ten opzichte van de afstand tot het spuitpunt.



Figuur 19: Dichtheid van de laatste meting per vak tijdens de tweede vulslag. De laatste meting wil zeggen dat na deze meting er geen extra slib meer in het vak is ingebracht.

Tabel 7: Samenvatting van de dichtheidsmetingen tijdens de 2e vulslag.

Samenvattende waarden	Waarde	Eenheid
Minimaal	1.2	ton/m^3
Maximaal	1.6	ton/m^3
Gemiddeld	1.26	ton/m^3
Gemiddeld gewicht in situ	1.36	ton/m^3
Uitleveringsfactor	1.08	ton/m3
Gemiddeld laatste meting	1.32	ton /m3

In tegenstelling tot het vullen van Kleirijperij Delfzijl zijn er geen monsters meegenomen voor het bepalen van andere parameters dan de dichtheid. De initiële waardes van de parameters zoals zoutgehalte, vochtgehalte, consistentie-index en organische stof zijn daarom niet bekend. De eerste meting van deze parameters heeft plaatsgevonden tijdens meetcampagne B, welke is uitgevoerd op 1 en 8 april, en dus ongeveer een maand later (klei was toen nog niet begaanbaar te voet).

4.2.3 Baggerlocatie

In tegenstelling tot Delfzijl is er voor Kwelder geen informatie over de herkomst van het gebaggerde materiaal per trip. Dit komt mede omdat er bij het baggeren in polder Breebaart gebruik gemaakt is van een snijkopzuiger in plaats van een sleephopperzuiger. Deze maakt geen trips, maar zwenkt heen en weer in een continu proces. Figuur 20 laat een verschilkaart zien van de polder na in- en uitpeiling. Hierbij zijn de diepere zones na het baggeren weergegeven als negatieve hoogtes, de polder is lokaal maximaal 1,40 meter dieper geworden. De figuur laat zien dat het meeste van het slib in de Kleirijperij Kwelder afkomstig is uit het zuidelijke gedeelte van de polder Breebaart. In Bijlage B is de verschilkaart in een groter formaat weergeven.

Figuur 20: Verschilkaart tussen de in en uitpeilingen in de polder Breebaart (Antea). De kaart is inclusief het theoretisch ontgravingsmodel.

4.3 Monsternamerondes

Om de kleirijping te volgen zijn er jaarlijks monsternames uitgevoerd. Na de eerste vulslag heeft in september 2019 een beperkte monstername (monstername A) plaatsgevonden. De datum van de monsternames zijn weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8: Datums van monsternames

Activiteit	Datum
Monstername A	11 september 2019
Monstername B	8 april 2020
Monstername B zandrug	1 april 2020
Monstername C	7 september 2020
Proefsleuven K1, K2	1 oktober 2020
Monstername D	2 september 2021

Monsterronde B, C betreffen de reguliere jaarlijkse monitoringsronde, waarbij monsters zijn genomen van alle vakken en daarvoor analyses zijn uitgevoerd. De locaties van de monsters zijn afgebeeld in bijlage C.

Figuur 21: Bemonstering vanuit een werkbak aan een rupskraan tijdens bemonsteringsronde B.

Figuur 22: Bemonstering tijdens ronde C, waarbij de korst van de vakken dusdanig gedroogd was dat de vakken zonder verdere voorzieningen met de voet begaanbaar zijn.

4.3.1 Monstername A

Tijdens deze monsterronde op 11 september 2019 zijn 3 monsters per vak genomen voor labanalyses en is hierbij ook de korstdikte gemeten. Door de geringe laagdikte in de vakken, waren alle vakken zonder aanvullende voorzieningen begaanbaar. Doordat de opbouw van het pakket uit een korst droog materiaal bestond zijn alle boringen uitgevoerd met een edelmanboor. De laagdikte is gemeten door de meetlat in het boorgat te plaatsen en af te lezen. Per vak is 1 raai geboord op ¼ van het vak vanaf de westkant. Alle boringen zijn samengevoegd tot 1 mengmonster per vak. Daarnaast is nog een monster genomen van de bovenste paar cm van het vak die duidelijk lichter van kleur was, droger en veel zoutvlekken had. Er is dus geen onderscheid gemaakt in lagen. Er is wel een afzonderlijke meting van de korst uitgevoerd. In de meeste gevallen liep de korst bijna door tot de bodem van het depot.

4.3.2 Monstername B

Tijdens monstername B op 8 april 2020 zijn de volgende waardes gemeten: gemiddeld vochtgehalte (%), gemiddeld droge stofgehalte (%), gemiddelde dichtheid (situ) (t/m³), Atterbergse grenzen (plasticiteitsindex (%), vloeigrens (%)), gemiddeld zoutgehalte per liter bodemvocht en gemiddeld gloeiverlies (% ds). Er was ten tijde van monstername nog geen korst op de sliblaag ontstaan, de dikte hiervan is dan ook niet gemeten. Het ontbreken van een korst komt omdat de tweede vulslag tussen monstername A en B heeft plaatsgevonden waardoor nieuw sediment aan de vakken is toegevoegd.

De planning van de monstername was om dit direct na het vullen van de depots eind maart uit te voeren. Doordat de werkzaamheden i.v.m. de Covid-19 uitbraak niet veilig uit te voeren waren, is de monstername uitgesteld. Pas na het uitwerken van een alternatief waarbij voldoende afstand tussen de verschillende veldwerkers kon worden gewaarborgd is de monstername alsnog uitgevoerd. Een wijziging ten opzichte van het oorspronkelijke plan is dat de monstername iets is uitgekleed. Er zijn enkel mengmonsters over de diepte genomen. Een beschrijving en monstername van verschillende lagen over de diepte is hierdoor komen te vervallen.

Per proefvak[9] en locatie (bijlage C) is gewerkt vanuit een werkbak aan een rupskraan. Hierbij zijn de volgende activiteiten uitgevoerd: Voorafgaand aan de monstername is de laagdikte ingemeten 1x steek met guts (ø 30mm) voor laagdikte bepaling, vervolgens is 4x een steek genomen met een zuigerboor (ø 50mm) voor vullen van bemonsteringsemmers.

Alleen de laag van vulslag 2 (nov-2019 – maart 2020) is bemonsterd, de laag van vulslag 1 (feb-maart 2019) was al dusdanig gerijpt dat de overgang tussen oorspronkelijk maaiveld en het materiaal uit vulslag 1 niet meer waar was te nemen. Monstername van vulslag 1 was met een zuigerboor niet mogelijk.

Zandrug
In de vakken is, door het vullen, bij de mond van de spuitbuis een zandrug ontstaan die door loopt tot ongeveer 20-25 meter in het vak. Deze stroom die visueel zichtbaar was is een week eerder (op 1 april) bemonsterd. Voor het bemonsteren waren geen extra voorzieningen noodzakelijk omdat de zandrug begaanbaar was. Er is per vak één boring uitgevoerd met behulp van een edelmanboor op circa 10 meter uit de kade aan de dijkzijde (de locaties zijn aangeduid met “ZR” in bijlage C) . Deze monsters zijn apart geanalyseerd.

Alle monsternames zijn volgens normen, standaarden en methoden uitgevoerd zoals beschreven in Tabel 9.

Tabel 9: Uitgevoerde bepalingen op jaarlijks genomen monsters.

Methode	Norm/standard/ methode	Bron (norm)
Atterbergse grenzen	RAW proef 14	(CROW 2015)
Watergehalte	NEN 5112:1995	(NEN 1995)
Dichtheid	Eigen methode (Boskalis)	-
Soortelijk gewicht	NEN-EN-ISO 17892:3-2016	(NEN 2016)
Droge stof	NEN 5112:1995	(NEN 1995)
Zoutgehalte	RAW Proef 28	(CROW 2015)
Korrelgrootteverdeling incl. sedigraaf	Eigen methode (Deltares)	-
Gloeiverlies	NEN ISO 14688-2:2019	(NEN 2019)

4.3.3 Monstername C

Tijdens monstername C op 7 september 2020 zijn de volgende waardes gemeten: gemiddeld vochtgehalte (%), gemiddeld droge stofgehalte (%), gemiddelde dichtheid (situ) (t/m³), Atterbergse grenzen (plasticiteitsindex (%), vloeigrens (%)), gemiddeld zoutgehalte per liter bodemvocht, gemiddeld gloeiverlies (% ds) en korstdikte.

In tegenstelling tot de voorgaande monstername (B) is de korst van de vakken dusdanig gedroogd dat de vakken zonder verdere voorzieningen met de voet begaanbaar.
Alle monsternames zijn uitgevoerd met een edelmanboor, in combinatie met een guts en monstername met spade (korst). Het uitvoeren van een monstername door middel van een zuigerboor is door de inmiddels consistentere samenstelling van het slib praktisch niet uitvoerbaar.

[9] Bij proefvak D9 zijn alle lagen apart bemonsterd om de variantie vast te stellen.

De monstername heeft plaatsgevonden in een raai van 3 punten evenredig verdeeld over de lengte tussen de kade aan de dijkzijde tot zeezijde. In bijlage C zijn deze boorpunten per vak weergegeven. De punten die eerder bij monstername B zijn genomen en benoemd als zandrug zijn niet meer meegenomen tijdens deze monstername. Tevens zijn de monstername locaties aan de andere zijde (gespiegeld) van de vakken genomen dan monstername ronde B. Per raai is een monster genomen van de toplaag en de onderliggende laag.

Alle monsternames zijn volgens normen, standaarden en methoden uitgevoerd zoals eerder beschreven in Tabel 9.

4.3.4 Monstername D

Monstername D is op 2 september 2021 uitgevoerd en de volgende waardes zijn gemeten: gemiddeld vochtgehalte (%), gemiddeld droge stofgehalte (%), gemiddelde dichtheid (situ) (t/m³), Atterbergse grenzen (plasticiteitsindex (%), vloeigrens (%)), de fractie <63 µm, organische stofgehalte (%), gemiddeld zoutgehalte per liter bodemvocht en gemiddeld gloeiverlies (% ds). Er zijn geen aanvullende voorzieningen getroffen. Het werk is uitgevoerd door drie veldwerkers en voor de monstername is gebruik gemaakt van een edelmanboor.

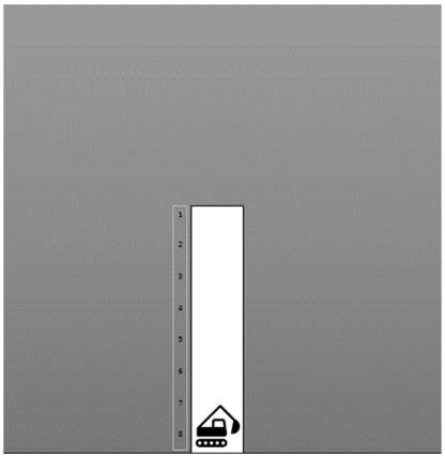
Per vak zijn er twee mengmonsters genomen. Elk mengmonster bestaat uit een mengsel van 3 boringen. Zie bijlage C voor de exacte locaties waarop de monsters genomen zijn. Naast de mengmonsters zijn er in enkele vakken (K2, K3 en K5) extra monsters genomen om het verloop van het zandgehalte in de depots vast te stellen.

De biologische vakken (K8 en K10) waren zo sterk begroeid dat monstername niet op een veilige manier was uit te voeren. Er is in deze vakken in ieder geval 6 keer geboord, waarvan drie keer in het voorste gedeelte en drie keer in het achterste gedeelte.

De algemene constatering tijdens de monstername was dat met name aan de dijkkant van de depots, dus in de buurt van de spuitmond en zandrug, de monsters erg zandig waren.

4.3.5 Aanvullend onderzoek proefsleuven

Op 1 oktober 2020 is een aanvullend onderzoek op de kleirijperij locatie Kwelder uitgevoerd bestaande uit het ontgraven van proefsleuven in de vakken K1 en K2. Dit is gedaan om een beeld te krijgen van zowel de horizontale als verticale opbouw van de depots. Vanaf halverwege het vak is een proefsleuf gegraven richting de stortpijp (aan dijkzijde). Er zijn tijdens deze ronde alleen foto’s genomen van de verschillende secties en weergegeven in bijlage F (secties weergeven als 1 – 8 in Figuur 23).



Figuur 23: Schematische tekening van proefsleuf

4.3.6 Drone hoogtemetingen

De hoogte van de Kleirijperij Kwelder is vijfmaal gemonitord door middel van fotogrammetrie met een DJI Phantom Pro 4 drone (zie Figuur 24). De datums waarop de drone monitoring heeft plaatsgevonden zijn weergeven in Figuur 24: DJI Phantom Pro 4

De drone is gepositioneerd door met real-time kinematic (RTK) controlepunten op de grond (GCP's) te meten en hierdoor de nauwkeurigheid van de GPS te verbeteren. De projectie stereografisch (Oblique Equatorial Stereographic Projection) en wordt weergegeven in RD-coördinaten. Voor meer informatie, zie bijlage D.1.

Figuur 24: DJI Phantom Pro 4 (BH Photo Videos 2019)

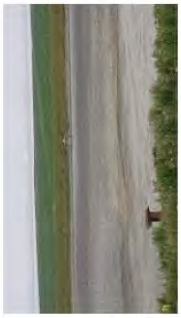
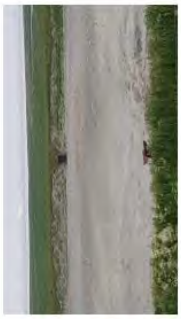
Tabel 10: Datums van drone monitoring in 2018 tot en met 2021

Locatie	Drone metingen	Datum
Kwelder	T0	15 oktober 2018
	T1	17 april 2019
	T2	10 september 2019
	T3	27 maart 2020
	T4	31 augustus 2020
	T5	30 september 2020
	T6	16 juni 2021
	T7	26 oktober 2021

4.4 Overzicht ontwikkeling klei

In Tabel 11 zijn foto's weergegeven van de proefvakken op verschillende momenten tussen maart en november 2020 te zien om een overzicht te geven van hoe het slib rijpt.

Tabel 11: Ontwikkeling van de verschillende vakken in 2020 (volgende 4 pagina's)

Moment	Vak K1	Vak K2	Vak K3	Vak K4	Vak K5
23-03-2020 ± 25 dagen na tweede vulslag.					
08-04-2020 41 dagen na de tweede vulslag					
03-06-2020 97 dagen na twee vulslag					

Moment	Vak K6	Vak K7	Vak K8	Vak K9	Vak K10
23-03-2020 ± 25 dagen na tweede vulslag.					
08-04-2020 41 dagen na de tweede vulslag					
03-06-2020 97 dagen na twee vulslag					

Moment	Vak K1	Vak K2	Vak K3	Vak K4	Vak K5
06-07-2020 ± 130 dagen na tweede vulslag.					
10-09-2020 196 dagen na de tweede vulslag					
03-11-2020 250 dagen na twee vulslag					

Moment	Vak K6	Vak K7	Vak K8	Vak K9	Vak K10
06-07-2020 ± 130 dagen na tweede vulslag.					
10-09-2020 196 dagen na de tweede vulslag					
03-11-2020 250 dagen na twee vulslag					

4.5 Bewerkingenoverzicht

Een overzicht van de vak-karakteristieken is weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12: Overzicht basiskarakteristieken per vak

Karakteristieken		**eenheid**	**K1**	**K2**	**K3**	**K4**	**K5**	**K6**	**K7**	**K8**	**K9**	**K10**
Oppervlakte (= offset [m2] + h [NAP] * slope)		[m2]	5881	6138	6308	6212	6267	6264	6244	6119	6308	5859
Oppervlakte drone survey		[m2]	7728	7126	7077	7132	7223	7283	7244	7255	7267	7838
Drainage		[-]	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee
Water laten staan op vak		[-]	nee	nee	ja	nee	nee	nee	ja	nee	nee	nee
Biologisch vak		[-]	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	ja	nee	ja
Vul hoogte (doel)		[m]	0.75	1.13	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.13	1.35	0.75
Vul slagen		[-]	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
Totale Vul hoogte (bereikt)		[m]	0.7	1.15	1.25	1.3	1.35	1.35	1.2	1.1	1.3	0.7
Totaal Volume		[m3]	4130	6785	7375	7670	7965	7965	7080	6490	7670	4130
Bewerken	***Datum***		**K1**	**K2**	**K3**	**K4**	**K5**	**K6**	**K7**	**K8**	**K9**	**K10**
Vullen van depots	nov 2019 - mrt 2020											
Water is niet afgelaten om effecten voor langer onder water staan	mrt-20											
Drone meting	27-mrt-20											
Monstername dichtheid voor TDS bepaling	7-apr											
Broeikasgas meting	8-apr-20											
Beheer stortkisten en afwatering	april 2020 - mei 2020											
Omzetten deel van klei voor aanleg Proefdijk kwelder	13-14 en 20-21 aug											
Aanvoer 750 m3 vanuit delfzijl D7 voor proefdijk op de Kwelder	31 aug - 6 sep 2020											
Aanvoer 750 m3 klei vanuit depot Nieuwsatenzijl voor aanleg proefdijk	31 aug - 13 sep 2020											
Transport 750 m3 klei van K1 en K2 voor aanleg proefdijk Kwelder	7 - 13 sep 2020											
Aanleg + metingen en monitoring Proefdijk	14 - 27 sep 2020											
Demobilisatie en Her-aanleg van deel ontgraven ringdijk met steekvas	28 sep - 11 okt 2020											
Afronden werkzaamheden en demobilisatie proefdijk	okt-20											
Omzetten vakken	okt-20											
Omzetten vakken	nov-20											
Transport 200 m3 klei uit ringdijk (klutenplasklei) naar Deltares Deltag	feb-21											
Reparatie ringdijk agv klei levering Deltares	feb-21											
Ontkisten K3 en K7	mrt-21											
Drone meting	jun-21											
Korst in vakken op tussendijken zetten en verdichten	jul-21											
Drone meting	jul-21											
Omzetten en op ruggen zetten van de nog te rijpen klei in vakken	aug-21											
Korst van de biologische vakken op tussendijkjes zetten en verdichter	sep-21											
Omzetten en op ruggen zetten van de nog te rijpen klei in vakken	sep-21											
Waterhuishouding	sept & okt 21											
Drone meting	okt-21											

4.6 Resultaten monitoring tijdens het rijpen

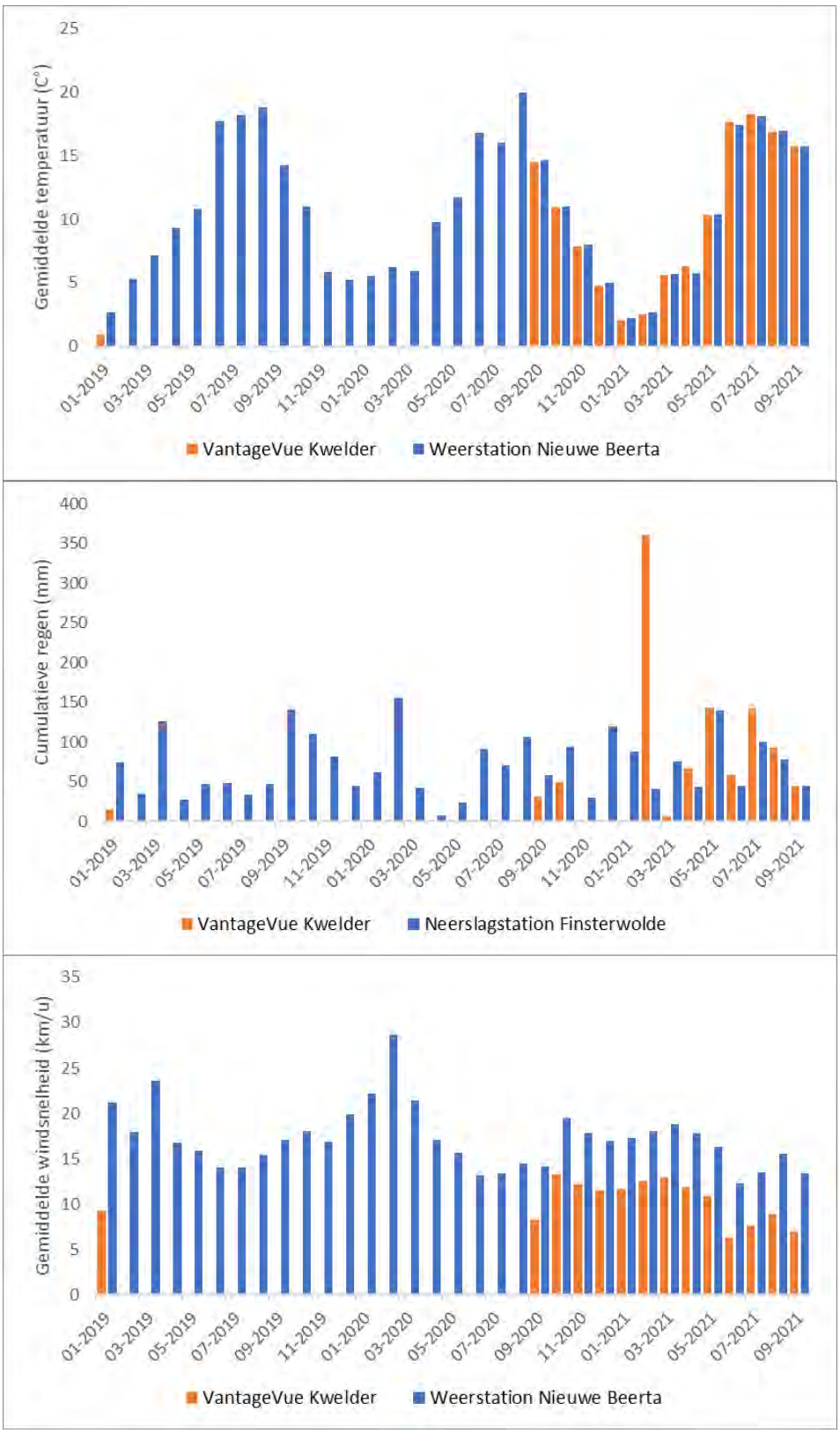
4.6.1 Weerdata

Met het weerstation (6357OV Vue ISS) zijn de fysieke omstandigheden bij de Kleirijperij Kwelder gemeten. Regen, temperatuur en windsnelheid zijn af te lezen in Figuur 26 voor de periode januari 2019 tot en met september 2021. Voor regen is de som genomen van alle regenval per maand; bij temperatuur en windsnelheid zijn gemiddelden genomen per maand. Het meetstation bij de Kwelder heeft hoogstwaarschijnlijk een storing gehad in de periode van februari 2019 waardoor er in deze periode tot september 2020 geen data is verzameld, zie oranje kolommen in Figuur 26. Daarom is er voor gekozen om de gegevens van de dichtstbijzijnde KNMI weerstations te gebruiken om dit gat op te vullen. Dit betrof het neerslagstation Finsterwolde (station-nummer 143) voor cumulatieve regenval en weerstation Nieuw Beerta (station-nummer 286) voor temperatuur en windsnelheid, zie Figuur 25. De gemeten regen, temperatuur en windsnelheden van deze stations zijn als blauwe kolommen weergeven in Figuur 26. De metingen komen redelijk met elkaar overeen, met uitzondering van cumulatieve regenval in februari 2021.

Deze piek van 361 mm regenval bij het weerstation Kwelder wordt grotendeels verklaard door een blijkbaar zeer lokale heftige regenval op 7 februari, waarbij er 346 mm in 24 uur is gevallen. Dit lijkt een meetfout te zijn, aangezien dit is de halve jaarhoeveelheid in 1 dag. Volgens het KNMI heeft het die dag in het noorden nauwelijks geregend. Naast deze afwijking bij cumulatieve regen is ook te zien dat de gemiddelde windsnelheid circa 5 km/uur lager ligt in het kweldergebied ten opzichte van Nieuwe Beerta, maar dit lijkt een vrij constante afwijking door de maanden heen. Hierdoor is de data van Nieuwe Beerta wel bruikbaar om patronen en relatieve verschillen in windsnelheid aan te duiden.

In Figuur 26 is te zien dat er tijdens en direct na de eerste vulslag in februari tot maart 2019 een relatief natte periode met veel wind was. Ook tijdens de tweede vulslag (nov 2019 tot maart 2020) kan vooral februari 2020 als een zeer natte periode met veel wind bestempeld worden met een cumulatieve regenval van 156 mm en gemiddelde windsnelheden van 29 km/u. Qua temperatuur is te zien dat de winter van 2019/2020 relatief mild is geweest waarbij gemiddelde temperaturen niet onder de 5 °C komen, terwijl deze in de winter van 2020/2021 rond de 2 °C zitten.

Figuur 25: Ligging van de locaties van KNMI weerstation Nieuw Beerta (station-nummer 286) en neerslagstation Finsterwolde (station-nummer 143) ten opzichte van het weerstation op kleirijperij Kwelder.



Figuur 26: Van boven naar beneden: Gemiddelde temperatuur, cumulatieve regen (per maand) en windsnelheid per maand voor het weerstation Kwelder in oranje, en de weerstations Finsterwolde (regen) en Nieuwe Beerta (temp & wind), weergegeven in het blauw.

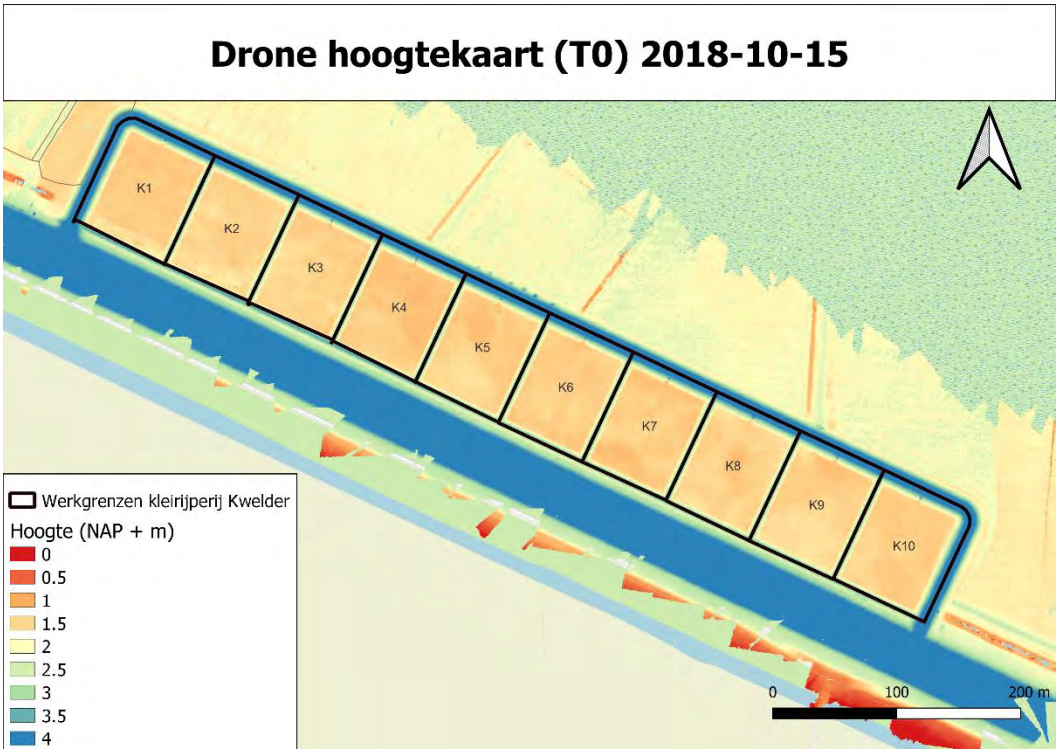
4.6.2 Hoogte- en volumeontwikkeling

De hoogte en volume per proefvak zijn bepaald aan de hand van zeven verschillende drone hoogtemetingen, waarvan de datums te zien zijn in Tabel 13.

Tabel 13: Datums waarop fotogrammetrische hoogtemetingen plaatsvonden.

Naam	Datum	Dagen na vulslag
T0	15 oktober 2018	-
T1	16 april 2019	16
T2	10 september 2019	163
T3	27 maart 2020	29
T4	31 augustus 2020	186
T5	30 september 2020	216
T6	16 juni 2021	461
T7	26 oktober 2021	607

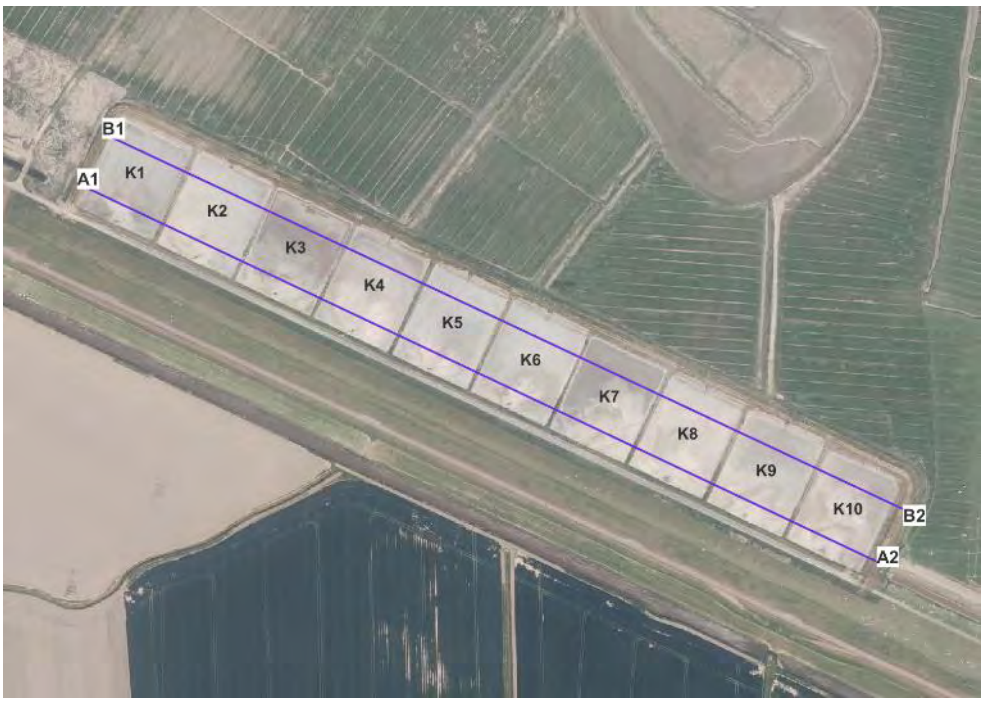
Per drone beeld is een kaart gemaakt waarop de hoogte, gemeten in m NAP, af te lezen is. Drone beeld T0 op 15 oktober 2018 is te zien op Figuur 27, de rest van de dronebeelden zijn te zien in bijlage D.2.



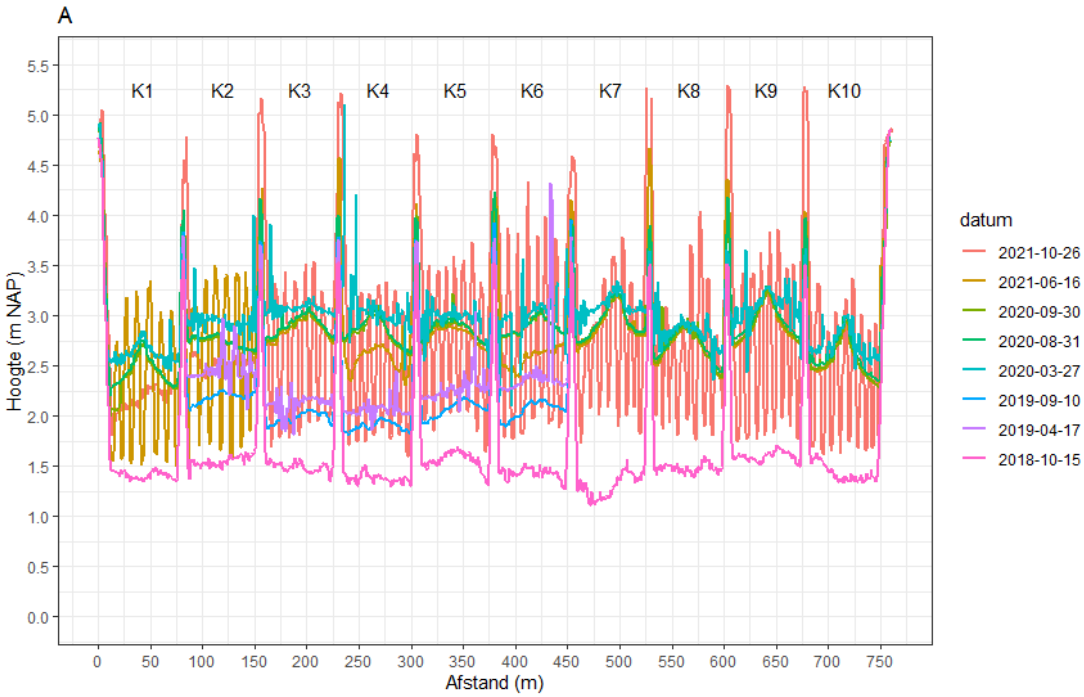
Figuur 27: Drone beeld T0 – 15 oktober 2018, gemaakt net voor het vullen van het depot.

In Figuur 29 en Figuur 30 zijn dwarsdoorsneden te zien van alle vakken, op de locaties aangegeven in Figuur 28, waarmee een indicatie kan worden verkregen over het consolidatiegedrag in de verschillende vakken. Tijdens de dronemetingen van T1 en T2, respectievelijk 17 april 2019 en 10 september 2019 zijn alleen de vakken K2 tot K6 ingemeten omdat deze vakken tijdens de eerste vulslag gevuld zijn. Alleen voor deze vakken is dan ook een dwarsprofiel weergegeven.

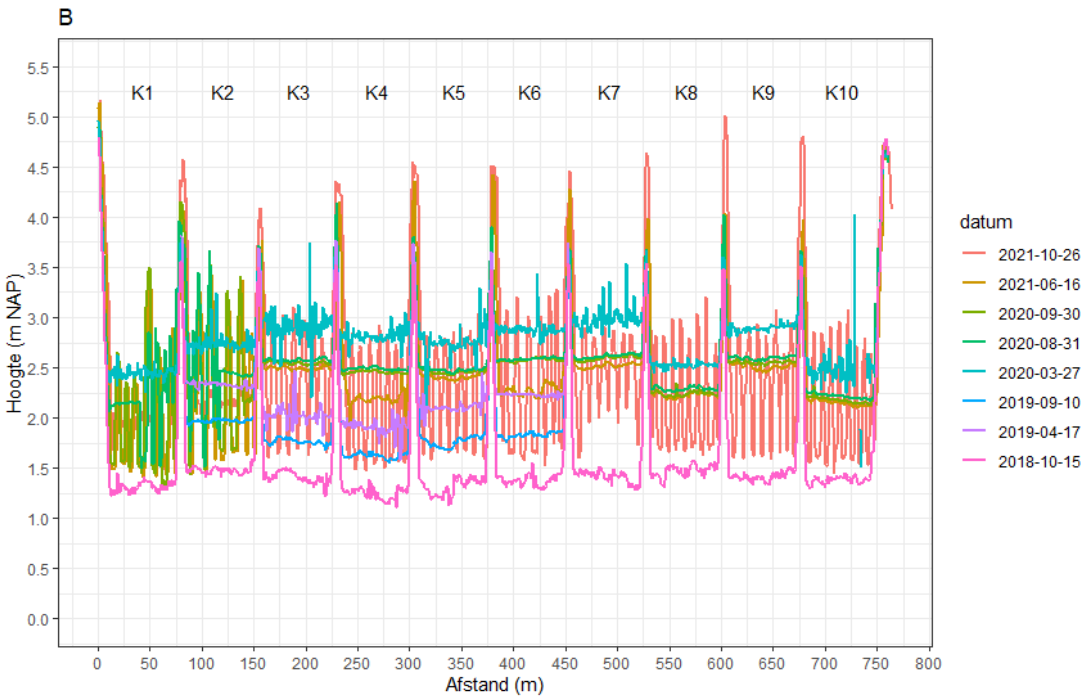
Vanaf de meting 31 augustus 2021 is te zien dat een deel van vak K1 en K2 op ruggen staan. Dit patroon is goed terug te zien in de dwarsdoorsnedes.



Figuur 28: Locaties dwarsdoorsneden A1 naar A2 en B1 naar B2 op Kleirijperij Kwelder



Figuur 29: Dwarsdoorsnede A Kleirijperij Kwelder. Vakken K1, K7 en K10 zijn niet ingemeten in meetronde T1(2019-04-17) en T2 (2019-09-10). Zie Bijlage D.2 voor de drone hoogtekaarten per meetronde.



Figuur 30: Dwarsdoorsnede B Kleirijperij Kwelder. Vakken K1, K7 en K10 zijn niet ingemeten in meetronde T1(2019-04-17) en T2 (2019-09-10). Zie Bijlage D.2 voor de drone hoogtekaarten per meetronde.

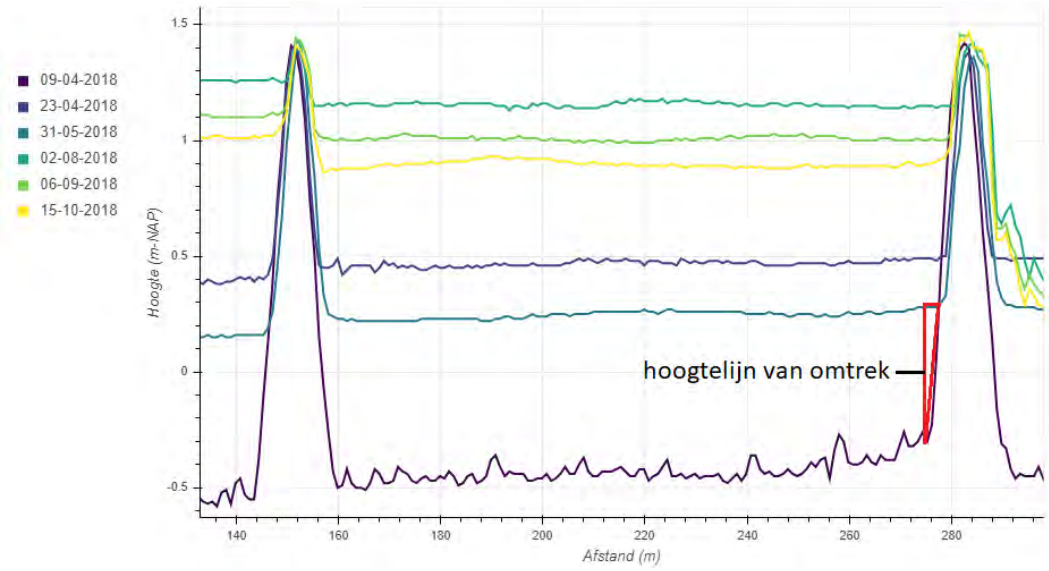
Van alle vakken is op basis van het proefvakoppervlak en het verpompte slibvolume de initiële hoogte bepaald. Daarbij is de initiële hoogte van het slib in de eerste en de tweede vulslag bij elkaar opgeteld. Aangezien in werkelijkheid bij de 2e vulslag al consolidatie van het slib afkomstig van de eerste vulslag is opgetreden, gaat het hier om een theoretische hoogte. Tussen het moment van vullen en de dronemeting na vullen (resp. T1 en T3 voor de eerste en tweede vulslag), treedt ook al enige consolidatie op alsmede bezinking indien de initiële dichtheid laag is. Deze zou zijn opgetreden indien het proefvak in 1 keer was gevuld met het totaal van de 2 vulslagen samen en wordt hierna aangeduid als “theoretische initiële hoogte”. De berekeningsmethode van de volumes in elke vak zijn te zien in

Tabel *14* op basis van een resolutie van 0,5 meter.

Tabel 14: Berekeningen van hoogte en volume

Berekening	Formule
Oppervlakte oppervlak	0,5 m * 0,5 m * aantal cellen
Theoretische initiële hoogte	Gemiddelde hoogte (T1 – T0) + (T3 – T2)
Theoretisch initieel volume	Theoretische initiële hoogte * oppervlakte proefvak

Het gemiddelde verschil tussen de hoogte van twee hoogtemetingen wordt gebruikt om het oppervlak van een proefvak te bepalen. Dit is gedaan per hoogteverschil dat is berekend. De dwarsdoorsnede in Figuur 31 is een voorbeeld van hoe dit is gedaan.



Figuur 31: Illustratie van bepaling van het proefvak oppervlakte voor het verschil tussen twee hoogtemetingen van Delfzijl (Deltares 2019).

De gemiddelde hoogte en hoogte- en volumeveranderingen voor alle vakken zijn te vinden in Tabel 15, Tabel 16 en

Tabel *17*. In de periodes T1 en T2 zijn alleen de vakken K2 tot en met K6 nauwkeurig opgemeten met de drone omdat alleen deze vakken gevuld zijn tijdens de eerste vulslag.

Tabel 15: Gemiddelde hoogtes (in m+NAP) van de vakken tijdens verschillende meetmomenten.

vak	2018	2019		2020			2021	
	T0 15 Okt	T1 17 Apr	T2 10 Sep	T3 27 Mar	T4 31 Aug	T5 30 Sep	T6 16 Jun	T7 26 Okt
K1	2,24			2,86	2,70	2,56	2,56	2,60
K2	2,14	2,62	2,38	3,00	2,81	2,73	2,68	2,74
K3	2,12	2,39	2,23	3,14	2,90	2,88	2,84	2,75
K4	2,01	2,31	2,15	3,06	2,86	2,84	2,72	2,73
K5	2,11	2,48	2,28	3,04	2,87	2,86	2,83	2,77
K6	2,11	2,56	2,29	3,11	2,92	2,92	2,78	2,86
K7	2,07			3,14	2,93	2,91	2,89	2,83
K8	2,14			2,83	2,72	2,69	2,71	2,64
K9	2,17			3,12	2,96	2,92	2,91	2,80
K10	2,28			2,89	2,76	2,73	2,74	2,68

Tabel 16: Gemiddelde hoogtes (in meter ten opzichte van de lege vakken) van de vakken tijdens verschillende meetmomenten.

vak	2018	2019		2020			2021	
	T0 15 Okt	T1 17 Apr	T2 10 Sep	T3 27 Mar	T4 31 Aug	T5 30 Sep	T6 16 Jun	T7 26 Okt
K1	0			0,62	0,32	0,32	0,36	0,32
K2	0	0,48	0,23	0,86	0,59	0,54	0,59	0,59
K3	0	0,27	0,11	1,02	0,76	0,73	0,63	0,76
K4	0	0,30	0,14	1,05	0,83	0,71	0,72	0,83
K5	0	0,37	0,17	0,93	0,75	0,73	0,66	0,75
K6	0	0,46	0,19	1,01	0,81	0,67	0,75	0,81
K7	0			1,06	0,84	0,82	0,75	0,84
K8	0			0,69	0,55	0,56	0,49	0,55
K9	0			0,95	0,75	0,74	0,63	0,75
K10	0			0,60	0,45	0,46	0,39	0,45

Tabel 17: Volumes van de vakken tijdens verschillende meetmomenten

vak	2018	2019		2020			2021	
	T0 Okt 15	T1 Apr 17	T2 Sep 10	T3 Mar 27	T4 Aug 31	T5 Sep 30	T6 Jun 16	T7 Okt 26
K1	0			4761	3538	2455	2460	2788
K2	0	3418	1671	6122	4721	4209	3822	4236
K3	0	1929	776	7253	5576	5408	5148	4493
K4	0	2111	1005	7478	6067	5916	5065	5123
K5	0	2670	1262	6735	5548	5436	5243	4780
K6	0	3323	1366	7345	5956	5910	4885	5475
K7	0			7697	6208	6092	5918	5460
K8	0			4990	4215	3999	4099	3586
K9	0			6880	5693	5416	5372	4601
K10	0			4734	3766	3512	3569	3093

4.7 Monsternames

In 2019 is één monstername verricht: de monsterronde A (september), hiervan is geen data beschikbaar omdat door covid omstandigheden de labanalyses zijn komen te vervallen. In 2020 zijn drie monsternames verricht: monsterronde B (april) en C (december). In 2021 is één monsterronde uitgevoerd, ronde D (september). De metingen van deze monsternames zijn in onderstaande paragrafen uiteengezet. De metingen worden over de tijd en per proefvak weergegeven.

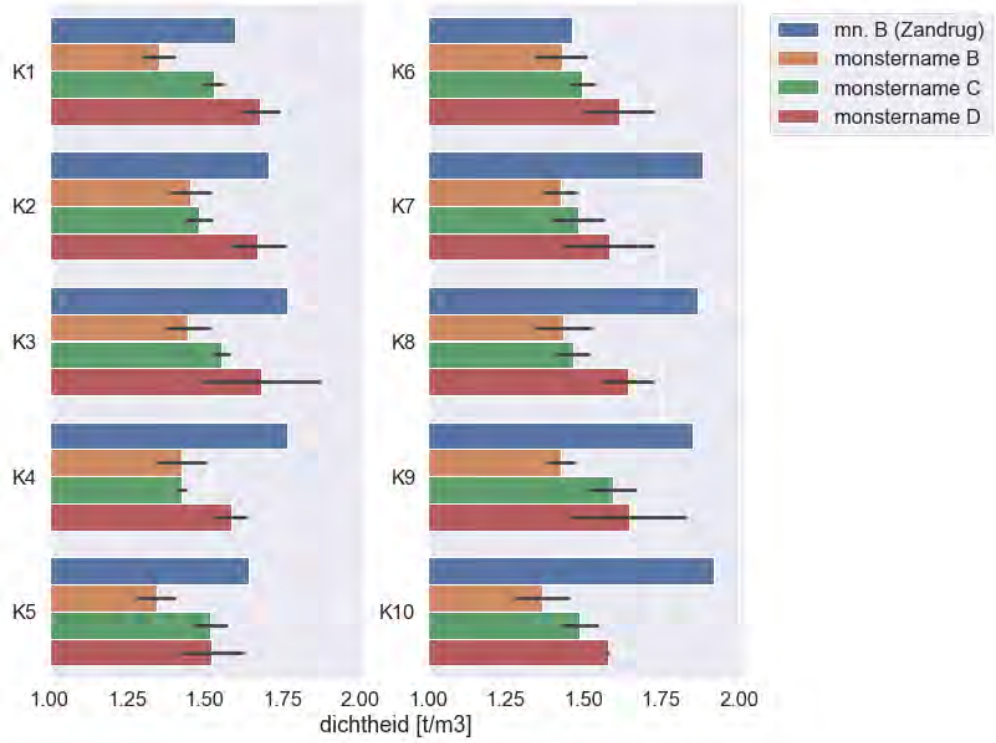
4.7.1 Verloop in tijd

Dichtheid, vochtgehalte, zoutgehalte, consistentie-index en gloeiverlies zijn in de onderstaande figuren gevisualiseerd. Hierbij is in periode B onderscheidt gemaakt tussen de meting op de zandrug (deze was te voet uit te voeren waarbij het materiaal voornamelijk uit zandig materiaal bestond) en de metingen elders (deze moesten met behulp van kraan worden uitgevoerd omdat het slib nog te vloeibaar was).

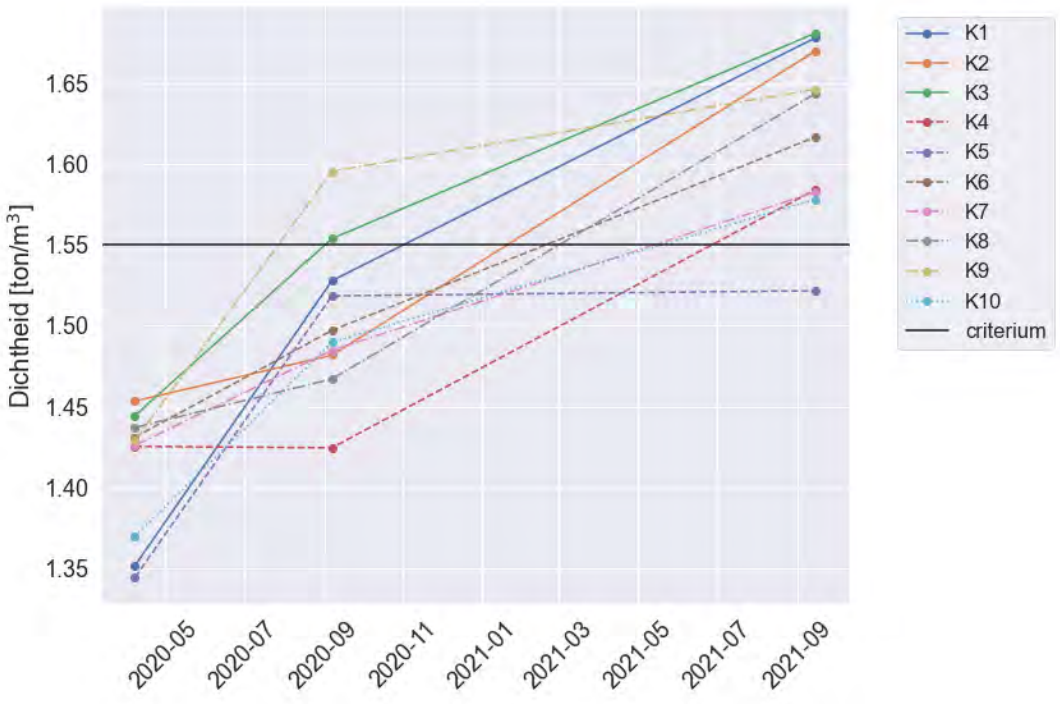
4.7.1.1 Dichtheid

Figuur 32 laat de waardes zien voor dichtheid per proefvak voor monstername B tot D. De dichtheid moet als indicatief worden beschouwd en is bepaald door volle en lege flessen met slib te wegen en het volume zo nauwkeurig mogelijk in te schatten.

De verandering van gemiddelde dichtheid (alle lagen samen, zonder wegingsfactor) van de proefvakken gedurende de periode 2020 – 2021 is tevens weergegeven in Figuur 33. Hier geldt dat er geen formele eis is voor dichtheid van klei voor dijken, maar indien de consistentie-index-eis wordt gehaald, zal de dichtheid > 1,55 t/m^3 zijn. Deze waarde is in het figuur weergegeven als dichte zwarte lijn. In Figuur 33 is te zien dat alle vakken behalve K5 boven een dichtheid van 1,55 t/m^3 uitkomen in 2021. Waarom K5 zo afvlakt ten opzichte van de andere vakken is onbekend. Waarschijnlijk is dit een meetfout of verwerkingsfout, want het vochtgehalte in K5 loopt wel netjes in de pas bij de overige vakken. Bovendien is een afnemend vochtgehalte niet te rijmen met een constante dichtheid. Dit geldt ook voor de consistentie-index van K5 in Figuur 38, hierin is geen afwijking te zien.



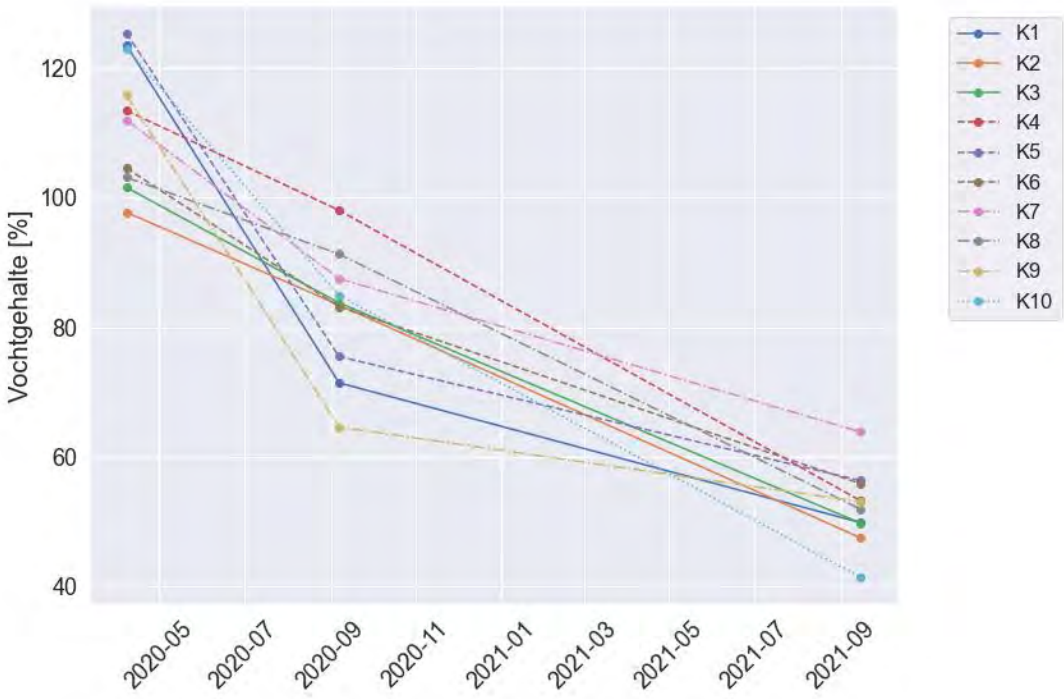
Figuur 32: Dichtheid gemeten bij monsternames B t/m D, zwarte lijn is de standaarddeviatie. Bij monstername B is er onderscheid gemaakt tussen metingen op de zandrug en niet op de zandrug.



Figuur 33: De gemiddelde dichtheid [ton/m^3] per vak tijdens de meetrondes. Er is geen formele eis voor dichtheid van klei voor dijken, maar indien de consistentie-index-eis wordt gehaald, zal de dichtheid > 1,55 t/m^3 zijn. Deze waarde is weergegeven als dichte zwarte lijn.

4.7.1.2 Vochtgehalte

Figuur 34 geeft het gemiddelde vochtgehalte (% ten opzichte van droge stof) per vak (alle dieptelagen samen, zonder wegingsfactor) tijdens de meetrondes van 2020 t/m 2021. Hierin is de grootste afname van het vochtgehalte te zien voor de vakken K1, K5 en K9 in de eerste 6 maanden na de 2de vulslag in februari 2020. Bij de andere vakken vindt ook afname plaats, maar deze lijkt constanter, voor zover dit bepaald kan worden met de drie monsternames die tot nu toe genomen zijn. Het feit dat K1, K5 en K9 zou kunnen worden verklaard door de initiële dichtheid bij een initiële hoogte (deze is laag voor met name K1 en K5). Hoe lager de dichtheid des te hoger de consolidatie snelheid.
In monsterronde D, september 2021, zo'n anderhalf jaar na de tweede vulslag, ligt het gemiddelde vochtgehalte tussen de 65 en 40%.



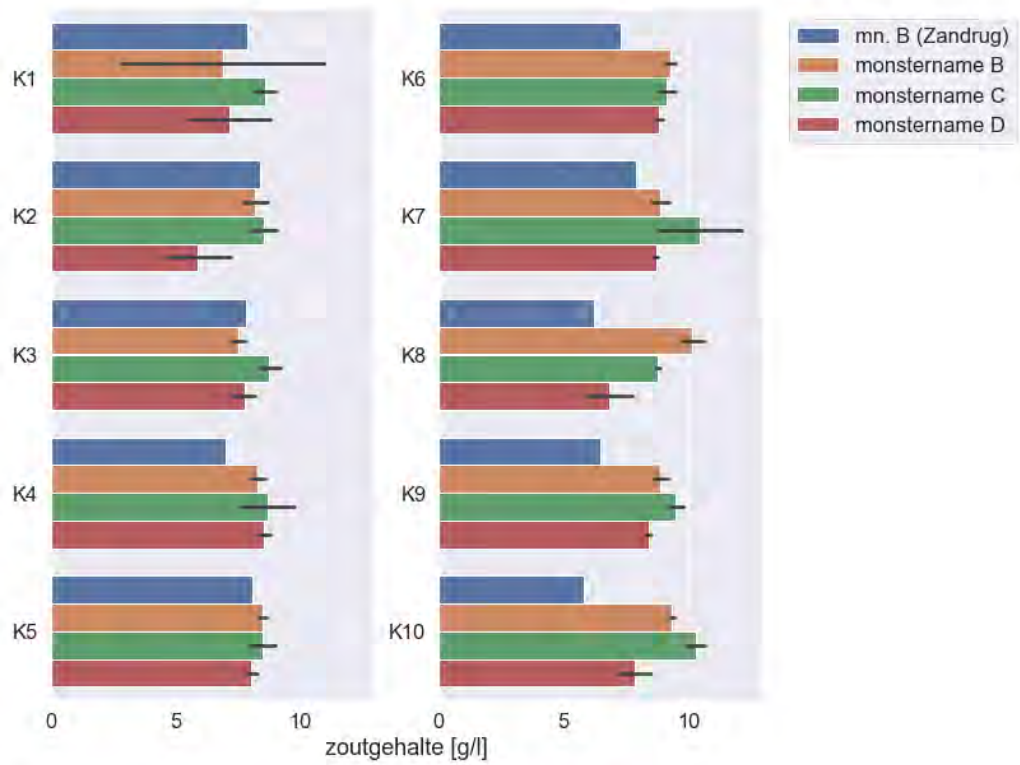
Figuur 34: Het gemiddelde vochtgehalte [% ten opzichte van droge stof] per vak tijdens de meetrondes.

4.7.1.3 Zoutgehalte

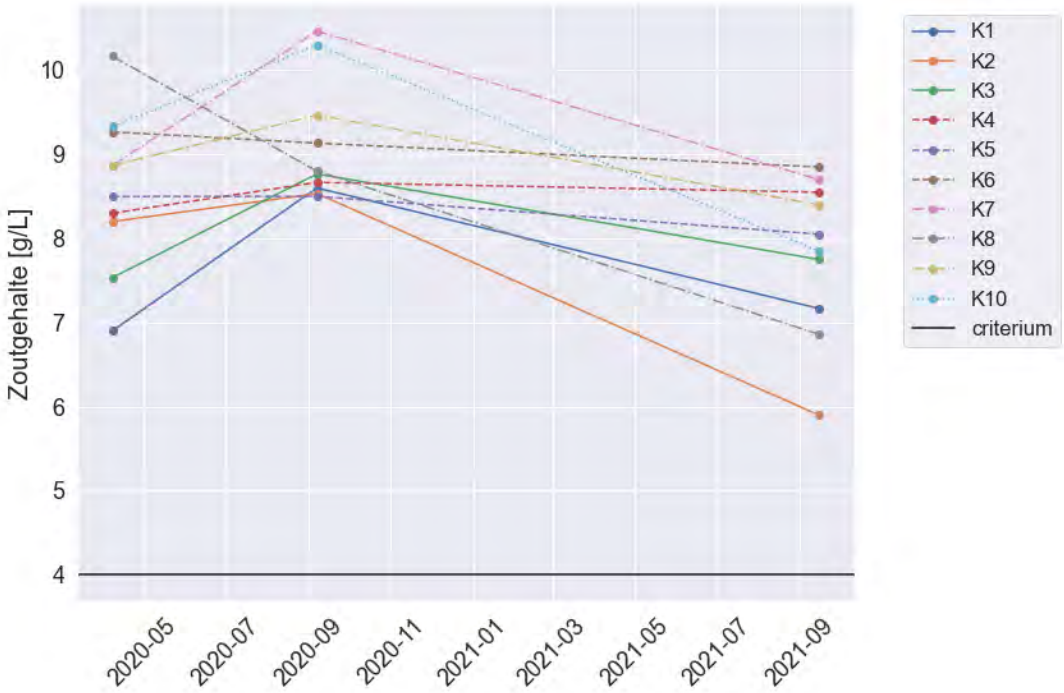
In Figuur 35, Figuur 36 en Figuur 37 zijn de gemiddelde waarde van het zoutgehalte (alle dieptelagen samen, zonder wegingsfactor) te zien voor de vakken waarin dit is gemeten tijdens de verschillende bemonsteringsrondes.
In Figuur 35, is de ontwikkeling van het zoutgehalte in porievocht door de tijd weergegeven. Het volgende figuur (Figuur 36) laat de ontwikkeling van het zoutgehalte per kilogram klei zien.
De norm/criterium voor klei voor dijken is 4 g/l porievocht en weergegeven als zwarte lijn in Figuur 36. Aangezien er geen formele norm/criterium is voor het zoutgehalte uitgedrukt in g/kg droge stof, is deze omgerekend a.d.h.v. een vochtgehalte van 62% (bij dichtheidsnorm van 1,6 ton/m^3) en zoutgehalte norm van 4 g/l porievocht tot een waarde van 2,48 g/kg droge stof.

Met uitzondering van K2, K8 en K10 is er geen duidelijke afname in de zoutconcentratie van het porievocht zichtbaar tussen monsterronde B, 41 dagen na 2de vulslag, en de laatste monitoringsronde, anderhalf jaar na de tweede vulslag, zie Figuur 36. Tussentijds zijn bij de meeste vakken wel fluctuaties in de zoutconcentraties zichtbaar, waarbij bij bijna alle vakken in ronde C, 193 dagen na de tweede vulslag, hogere zoutconcentraties zijn gemeten dan in ronde B. Dit kan deels verklaard worden door de afname van het vochtgehalte zoals eerder is weergegeven in Figuur 34, wat ervoor zorgt dat de zoutconcentraties toenemen. Dit is met name goed te zien voor de grootste stijging, namelijk in vak K1, het vak dat in dezelfde periode de hoogste daling had in vochtgehalte.

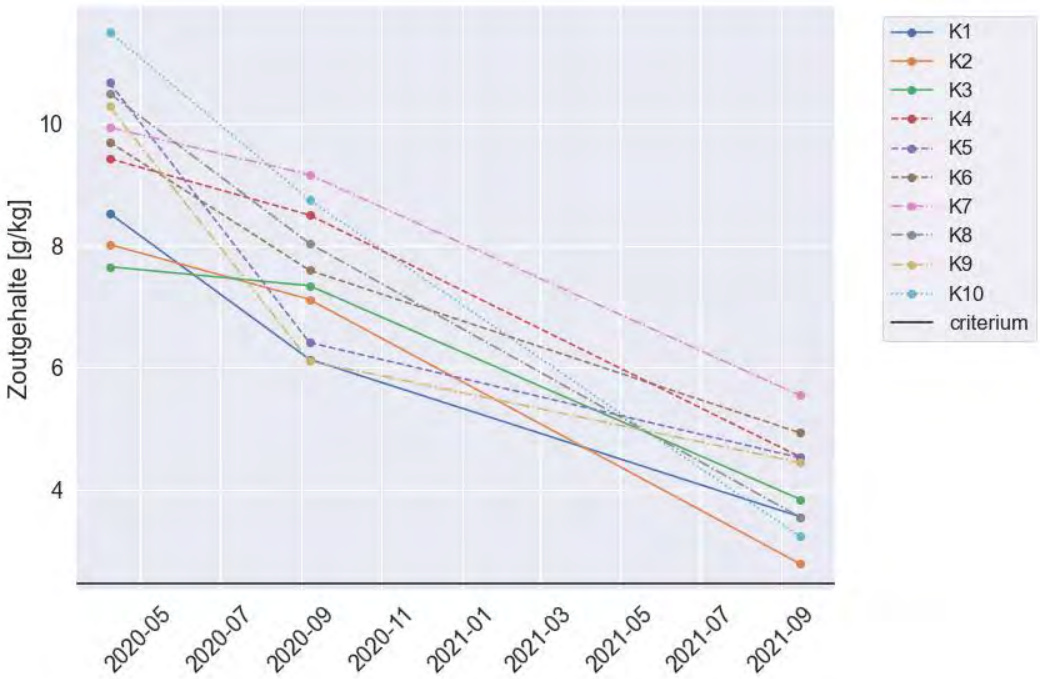
In Figuur 35 is te zien dat ondanks dat de zoutconcentratie in het porievocht niet duidelijk afneemt er wel een afname zichtbaar is in het aantal gram zout per kilogram droge stof. Dit is te verklaren doordat het waterpercentage (% t.o.v droge stof) wel afneemt. Omdat in principe de kg droge stof gelijk blijven tijdens het rijpen is een afname van het aantal gram zout per kilogram droge stof dus ook echt een zoutverwijdering. Vak K2 heeft hierbij het laagste zoutgehalte na anderhalf jaar en nadert met een waarde van rond de 3 g/kg de omgerekende norm van 2,48 g/kg droge stof. Vak K7 heeft met 5,7 g/kg droge stof de hoogste waarde van alle vakken in de laatste meetronde.



Figuur 35: Zoutgehalte in het poriewater, gemeten bij monsternames B t/m D, zwarte lijn is de standaarddeviatie. Bij monstername B is er onderscheid gemaakt tussen metingen op de zandrug en niet op de zandrug.



Figuur 36: Het gemiddelde zoutgehalte [g/L porievocht] per vak tijdens de meetrondes. De norm voor klei voor dijken is 4 g/l porievocht en weergegeven als zwarte lijn.



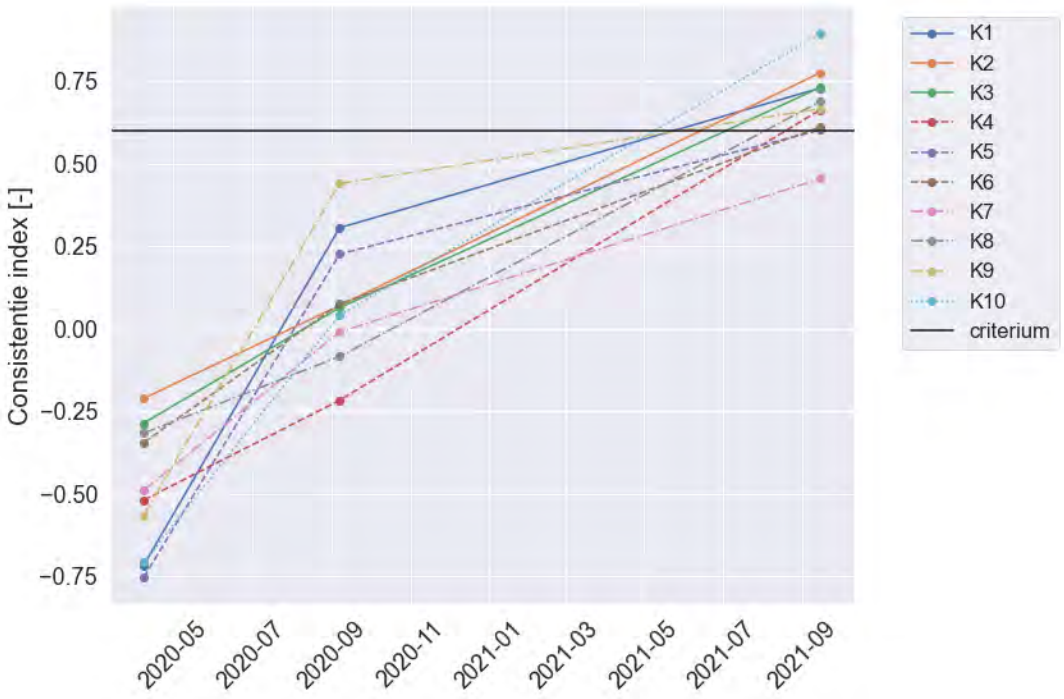
Figuur 37: Het gemiddelde zoutgehalte [g/kg droge stof] per vak tijdens de meetrondes. Er is geen formele norm/criterium voor zoutgehalte uitgedrukt in g/kg droge stof, maar uitgaande van een norm van 4 g/l porievocht is omgerekend een norm van 2,48 g/kg aangehouden.

4.7.1.4 Consistentie-index

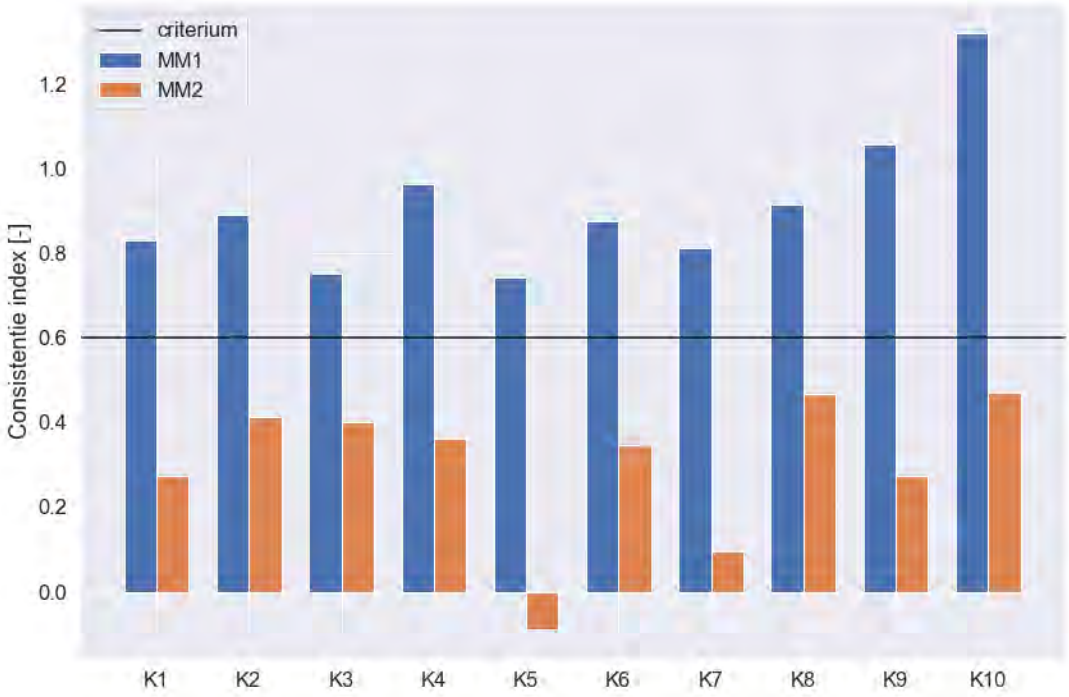
In Figuur 38 wordt de verandering in gemiddelde consistentie-index (alle dieptelagen samen, zonder wegingsfactor) weergegeven voor de verschillende proefvakken tijdens de periode van 2020 – 2021. De consistentie-index is afhankelijk van het actuele waterpercentage en berekend volgens de formule die is weergegeven in paragraaf 2.4. Voor de vloeigrens (W_L) en de uitrolgrens W_P zijn respectievelijk de waarden 87 en 36 % massa ten opzichte van droge stof aangehouden.
De norm voor consistentie-index is >0,6 en wordt in het figuur weer gegeven als zwarte lijn. In Figuur 38 is zien dat de consistentie index toeneemt in de loop van de tijd. De grootste stijging van de consistentie-index vindt plaats bij K1, K5 en K9 in de eerste 6 maanden na de tweede vulslag in februari 2020, waarschijnlijk door de grotere afname in watergehalte. Voor de andere vakken is de toename meer geleidelijk tijdens de meetperiode van anderhalf jaar. Alleen de consistentie index van vak K7 ligt in de meest recente monitoringsronde nog onder de norm van 0,6. Het biologische vak K10 haalt met 0.896 de hoogste waarde in de laatste monitoringsronde. Vak K8, ook een biologisch vak, heeft een gemiddelde waarde ten opzichte van andere vakken.

Waar in ronde B alleen de monsters op de zandrug erg zandig waren werd in monitoringsronde D geconstateerd dat ook de monsters genomen nabij de spuitmond en zandrug erg zanderig waren. Dit betreft alle monsters genomen in de eerste helft van het vak, gemeten vanaf de dijkkant, zie ronde D in bijlage B. Een hoog zandgehalte kan de parameters zoals consistentie-index beïnvloeden. Om deze reden is in Figuur 39 de laatste meetcampagne, campagne D, opgesplitst in twee groepen. MM1 staat voor de metingen aan de dijk kant die uitgevoerd zijn op zanderige monsters en MM2 staat voor de metingen die uitgevoerd zijn op de monsters die hoofdzakelijk klei bevatten. De verschillen tussen de twee groepen zijn aanzienlijk, waarbij de kleigroep (MM2) nog nergens boven de norm voor klei voor dijken is (0,6).

Deze opsplitsing is in bijlage E ook weergegeven voor de overige relevante parameters: dichtheid, vochtgehalte, zoutgehalte en gloeiverlies.



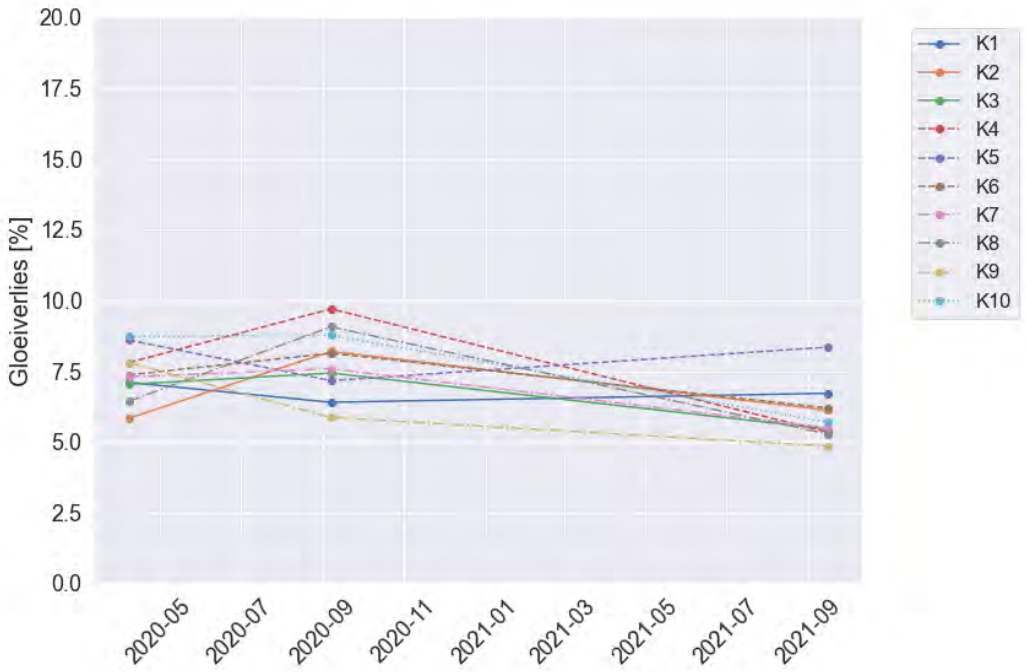
Figuur 38: Consistentie-index per vak tijdens de meetrondes. De norm/criterium voor klei voor dijken is >0,6 en weergegeven als zwarte lijn.



Figuur 39: Consistentie-index per vak tijdens de meetronde D. De norm/criterium voor klei voor dijken is >0,6 en weergegeven als zwarte lijn. Per vak is er onderscheid gemaakt tussen de meer zandige monsters (nabij zandrug, maar niet op de zandrug) aan de dijk kant (blauwe kolommen) en de monsters die voornamelijk klei bevatten aan de kwelder kant (oranje kolommen).

4.7.1.5 Organische stofgehalte

In Figuur 40 is het gemiddelde gloeiverlies (% droge stof) per vak weergegeven in de periode van 2020 en 2021. Het gloeiverlies is een goede indicatie voor de hoeveelheid organische stof en wordt bepaald door te meten hoeveel massa een droog monster kwijtraakt als het wordt uitgegloeid. Bij de meeste vakken in de kleirijperij Kwelder lijkt een zeer licht dalende trend zichtbaar te zijn.



Figuur 40: Het gemiddelde organisch stofgehalte (% droge stof) per vak tijdens de meetrondes van 2020 t/m 2021. De norm/criterium voor klei voor dijken is <5%.

4.8 Relaties tussen verschillende parameters

In de onderstaande paragrafen worden de relaties tussen dichtheid en andere relevante parameters met betrekking tot de kwaliteit van de klei weergegeven. Deze parameters hebben vaak een sterke relatie met elkaar, en voor de interpretatie is het daarom relevant om ze in samenhang te bekijken.

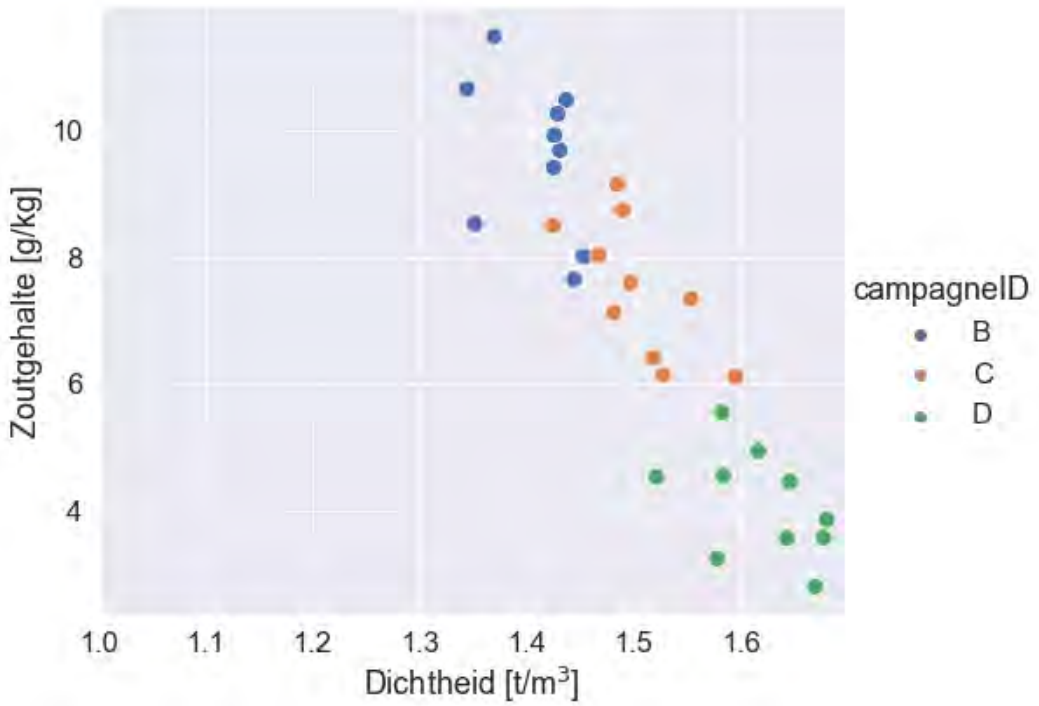
4.8.1 Relaties met de dichtheid

4.8.1.1 Dichtheid ten opzichte van zoutgehalte

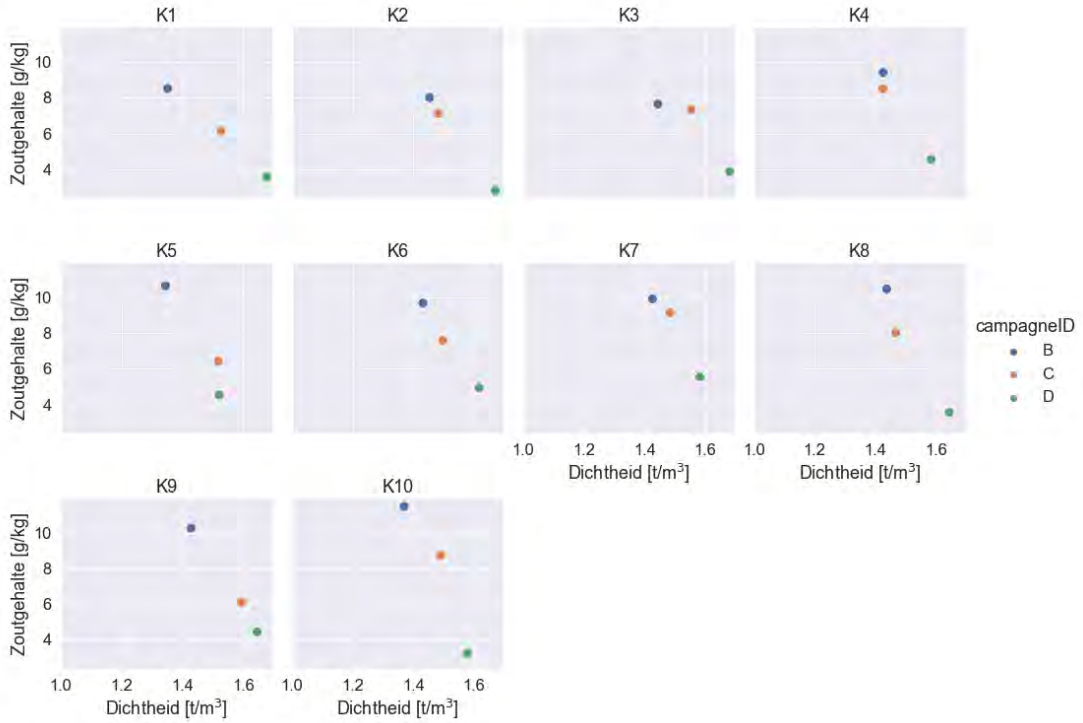
In Figuur 41 wordt de ontwikkeling van de gemiddelde dichtheid, in ton per m^3, ten opzichte van het zoutgehalte, in gram zout per kilogram klei, per vak weergegeven gedurende de verschillende bemonsteringsrondes. Elke kleur representeert een andere bemonsteringsronde en elk punt geeft het gemiddelde van een vak weer dat die ronde bemonsterd is.

Uit het figuur is een negatieve correlatie zichtbaar tussen dichtheid en het zoutgehalte, waarbij vakken met een hogere dichtheid een lager zoutgehalte hebben. Deze negatieve correlatie is over het algemeen ook goed zichtbaar als er per vak naar de

bemonsteringsrondes gekeken wordt, zie Figuur 42. Hierbij worden wel enkele onderlinge verschillen tussen de vakken zichtbaar, zoals bijvoorbeeld tussen vakken K3 en K4.



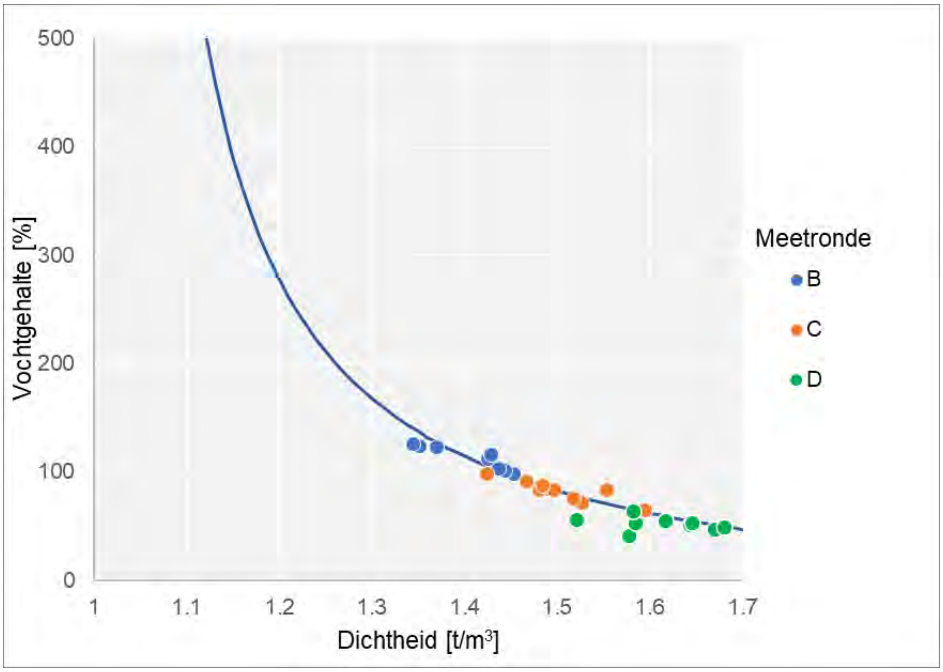
Figuur 41: Dichtheid ten opzichte van zoutgehalte. Gemiddelde dichtheid in ton per m³ per vak (elk punt is 1 vak) is weergegeven op de x-as. Op de y-as wordt het gemiddelde zoutgehalte in g/kg per vak weergegeven. De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D.



Figuur 42: Dichtheid ten opzichte van zoutgehalte per vak. Gemiddelde dichtheid in ton per m³ uitgesplitst per vak is weergegeven op de x-as. Op de y-as wordt het gemiddelde zoutgehalte in g/kg per vak weergegeven. De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D.

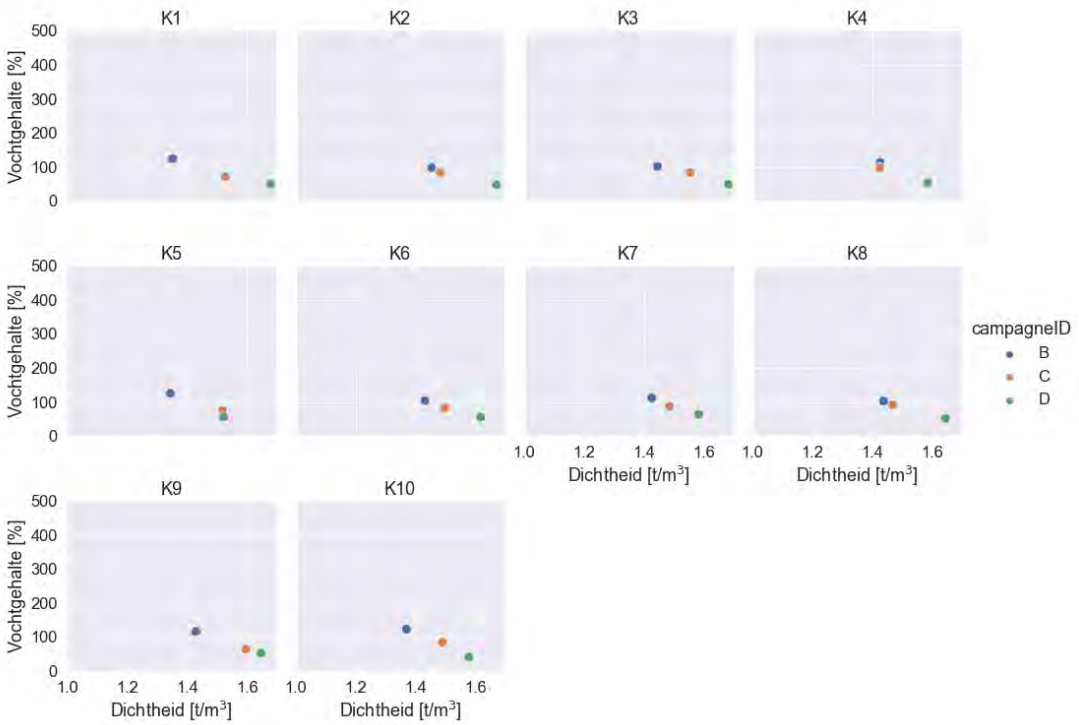
4.8.1.2 Dichtheid ten opzichte van vochtgehalte

In Figuur 43 wordt de ontwikkeling van de gemiddelde dichtheid, in ton per m^3, ten opzichte van het vochtgehalte, in percentage ten opzichte van droge stof per vak weergegeven gedurende de verschillende bemonsteringsrondes. Elke kleur representeert een andere bemonsteringsronde en elk punt geeft het gemiddelde van een vak weer dat die ronde bemonsterd is. Uit het figuur is een relatief constante afnemende negatieve correlatie zichtbaar tussen dichtheid en het vochtgehalte die in de laatste meetronde lijkt te beginnen met afvlakken. Deze negatieve correlatie is over het algemeen ook goed zichtbaar als er per vak naar de bemonsteringsrondes gekeken wordt, zie Figuur 44.



Figuur 43: Dichtheid ten opzichte van vochtgehalte. Gemiddelde dichtheid in ton per m^3 per vak (elk punt is 1 vak) is weergegeven op de x-as. Op de y-as wordt het gemiddelde vochtgehalte in % ten opzichte van droge stof per vak weergegeven. De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D. De blauwe lijn is de theoretische relatie tussen dichtheid en vochtgehalte bij verzadigde klei.[10]

[10] De relatie is: $w = 100\% \cdot \frac{\rho_S - \rho}{\rho - \rho_w} \cdot \frac{\rho_w}{\rho_S}$, waarbij
w=watergehalte (% tov droge stof),
ρ=dichtheid (situ, verzadigd), ρ_S= soortelijk (korrel)gewicht (hier 2,51 t/m^3) en ρ_w= dichtheid van water (hier 1,01 t/m^3)

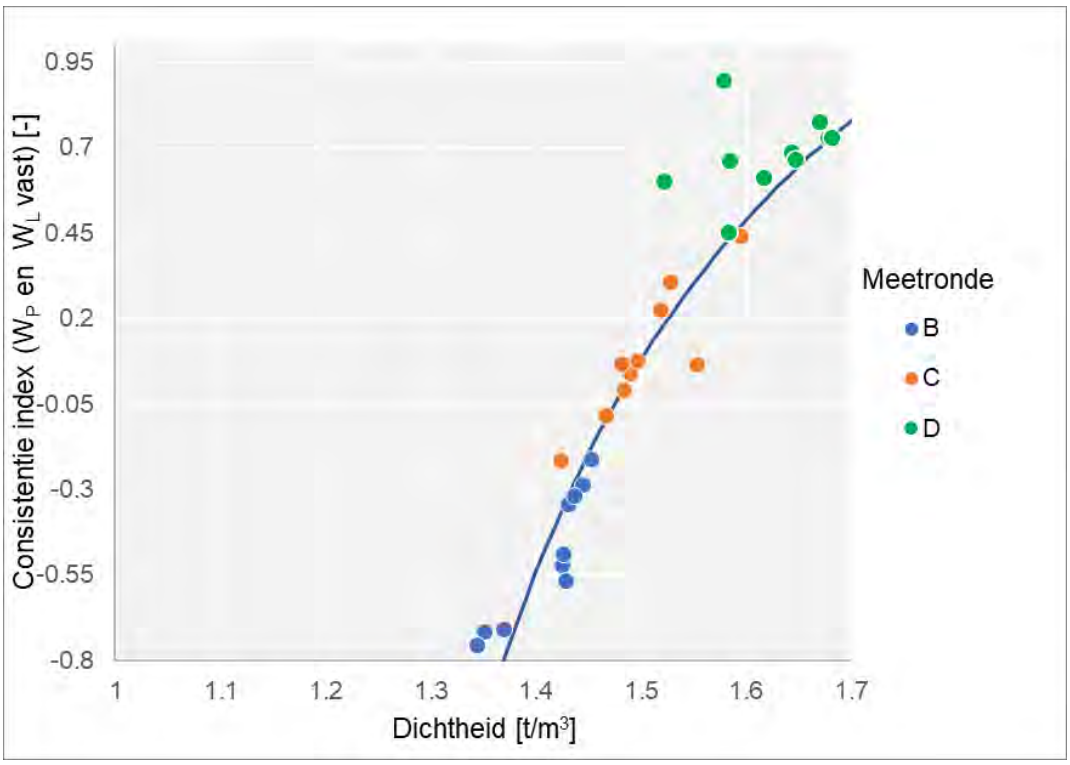


Figuur 44: Dichtheid ten opzichte van vochtgehalte per vak. Gemiddelde dichtheid in ton per m³ uitgesplitst per vak is weergegeven op de x-as. Op de y-as wordt het gemiddelde vochtgehalte in % ten opzichte van droge stof per vak weergegeven. De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D.

4.8.1.3 Dichtheid ten opzichte van consistentie-index

In Figuur 45 wordt de ontwikkeling van de gemiddelde dichtheid, in ton per m³, ten opzichte van de consistentie-index weergegeven gedurende de verschillende bemonsteringsrondes. Elke kleur representeert een andere bemonsteringsronde en elk punt geeft het gemiddelde van een vak weer dat die ronde bemonsterd is. Bij de consistentie-index zijn voor de vloeigrens (WL) en de uitrolgrens (WP) respectievelijk de vaste waarden 87 en 36 % massa ten opzichte van droge stof aangehouden, vergelijkbaar met paragraaf 4.7.1.4.

Het figuur geeft een relatief constante positieve correlatie weer tussen dichtheid en de consistentie-index, waarbij de correlatie in de laatste meetronde wat lijkt af te vlakken, vergelijkbaar met de dichtheid-vochtgehalte relatie. De positieve correlatie, met een sterkere stijging in de eerste 6 maanden, is over het algemeen ook goed zichtbaar als er per vak naar de bemonsteringsrondes gekeken wordt, zie Figuur 46.



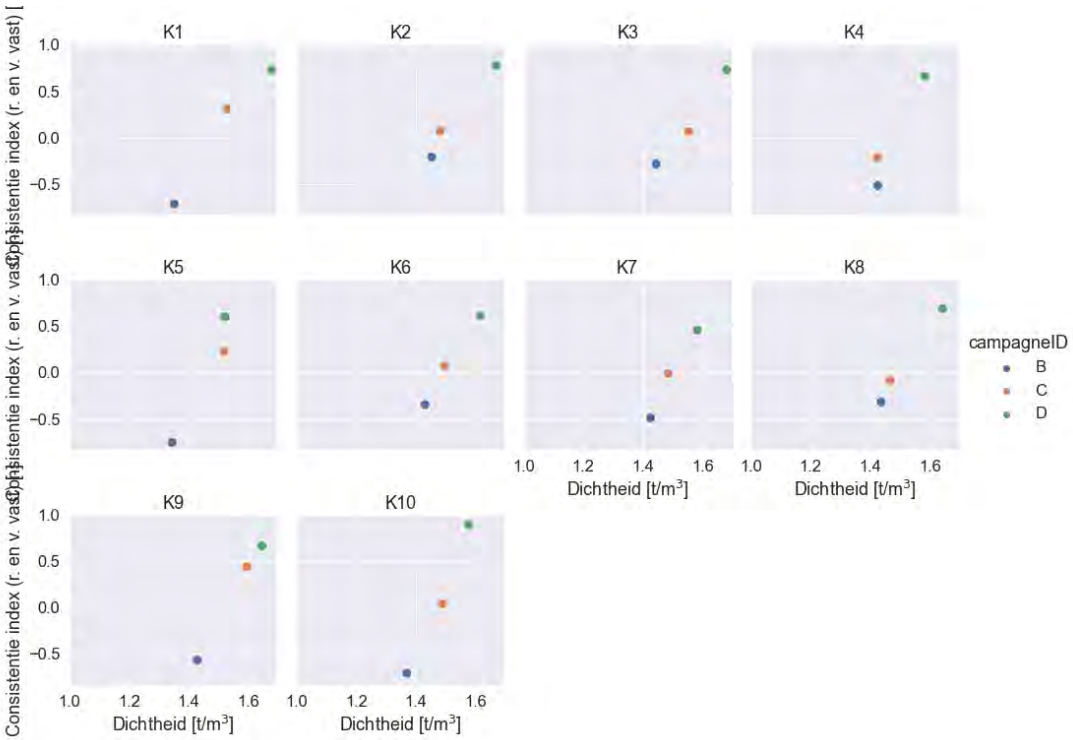
Figuur 45: Dichtheid ten opzichte van consistentie-index. Gemiddelde dichtheid in ton per m³ per vak (elk punt is 1 vak) is weergegeven op de x-as. Op de y-as wordt de consistentie-index weergegeven waarbij vaste waarden voor de rol en vloeigrens zijn aangehouden (36 & 87% massa ten opzichte van droge stof respectievelijk). De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D. De blauwe lijn is de theoretische relatie tussen dichtheid en consistentie-index aan bij verzadigde klei.[11]

[11] De relatie is: $C_I = \frac{w_L - \left[100\% \cdot \frac{\rho_S - \rho}{\rho - \rho_w} \cdot \frac{\rho_w}{\rho_S}\right]}{w_L - w_P}$, waarbij

C_I= consistentie-index (-)

w=watergehalte (% tov droge stof), w_L=vloeigrens (hier 87%), w_P=uitrolgrens (hier 36%)

ρ=dichtheid (situ, verzadigd), ρ_S= soortelijk (korrel)gewicht (hier 2,51 t/m³) en ρ_w= dichtheid van water (hier 1,01 t/m³)

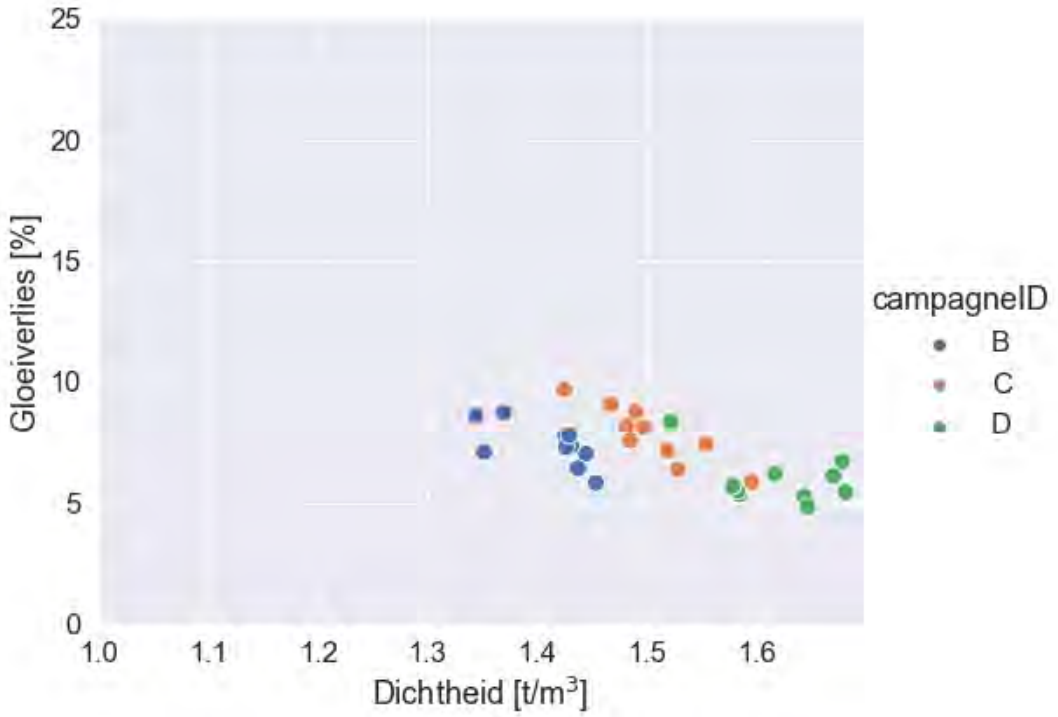


Figuur 46: Dichtheid ten opzichte van consistentie-index per vak. Gemiddelde dichtheid in ton per m³ uitgesplitst per vak is weergegeven op de x-as. Op de y-as wordt de consistentie-index weergegeven waarbij vaste waarden voor de rol en vloeigrens zijn aangehouden (36 & 87% massa ten opzichte van droge stof respectievelijk). De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D.

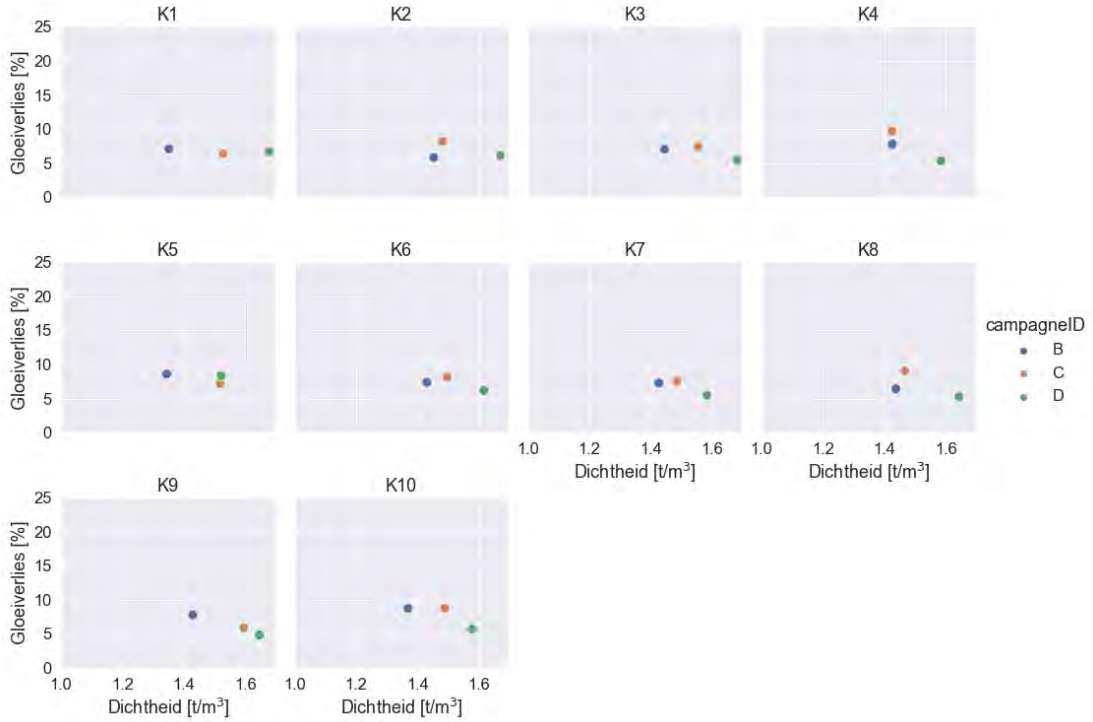
4.8.1.4 Dichtheid ten opzichte van gloeiverlies

In Figuur 47 wordt de ontwikkeling van de gemiddelde dichtheid, in ton per m³, ten opzichte van het gloeiverlies weergegeven gedurende de verschillende bemonsteringsrondes. Elke kleur representeert een andere bemonsteringsronde en elk punt geeft het gemiddelde van een vak weer dat die ronde bemonsterd is.

Figuur 48 laat zien dat tot en met bemonsteringsronde C (193 dagen na de tweede vulslag) het percentage gloeiverlies relatief stabiel blijft ten opzichte van de dichtheid. Na bemonsteringsronde C lijkt een negatieve correlatie zichtbaar te worden, waarbij vakken met een hogere dichtheid een lager percentage gloeiverlies hebben. Dit komt doordat tussen ronde C en D het organische stofgehalte afneemt. Bij de individuele vakken lijkt deze trend ook zichtbaar, zie Figuur 48.



Figuur 47: Dichtheid ten opzichte van gloeiverlies. Gemiddelde dichtheid in ton per m³ per vak (elk punt is 1 vak) is weergegeven op de x-as. Op de y-as wordt het gemiddelde gloeiverlies in % ten opzichte van droge stof per vak weergegeven. De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D.

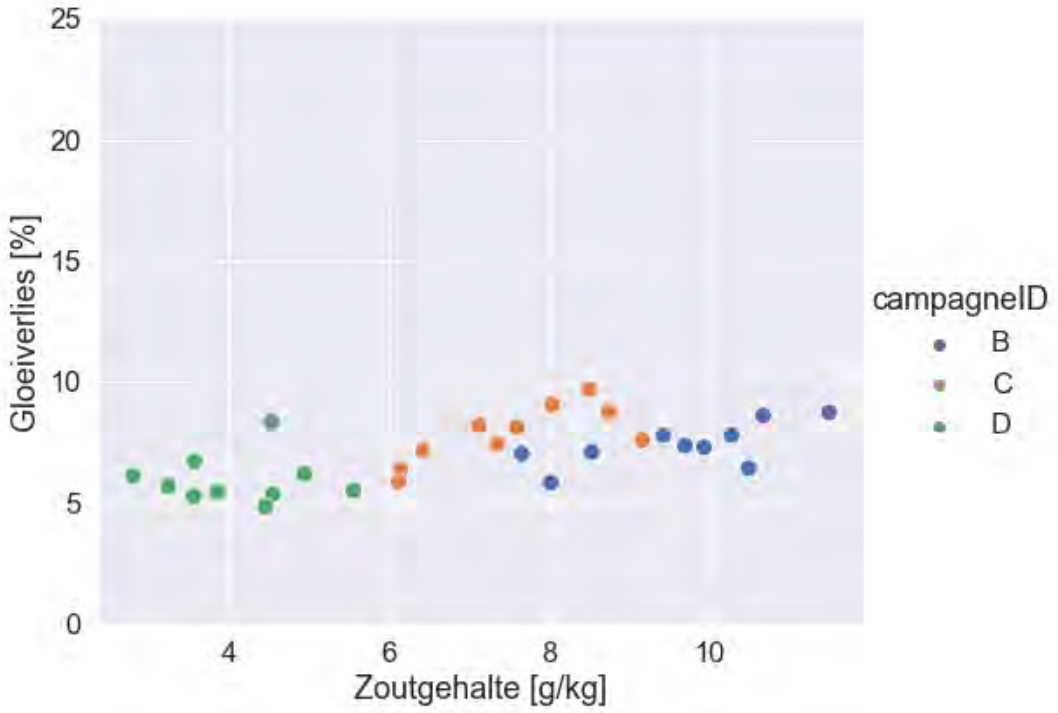


Figuur 48: Dichtheid ten opzichte van gloeiverlies per vak. Gemiddelde dichtheid in ton per m³ uitgesplitst per vak is weergegeven op de x-as. Op de y-as wordt het gemiddelde gloeiverlies in % ten opzichte van droge stof per vak weergegeven. De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D.

4.8.2 Relatie tussen zoutgehalte en gloeiverlies

In Figuur 49 wordt de ontwikkeling van de gemiddelde percentage gloeiverlies van de klei, % ten opzichte van droge stof, ten opzichte van het zoutgehalte weergegeven gedurende de verschillende bemonsteringsrondes. Elke kleur representeert een andere bemonsteringsronde en elk punt geeft het gemiddelde van een vak weer dat die ronde bemonsterd is.

Figuur 49 laat, vergelijkbaar met de dichtheid (Figuur 48) zien dat tot en met bemonsteringsronde C (193 dagen na de tweede vulslag) het percentage gloeiverlies relatief stabiel blijft. Na bemonsteringsronde C lijkt een positieve correlatie zichtbaar, waarbij vakken met een lager % gloeiverlies een lager zoutgehalte hebben.

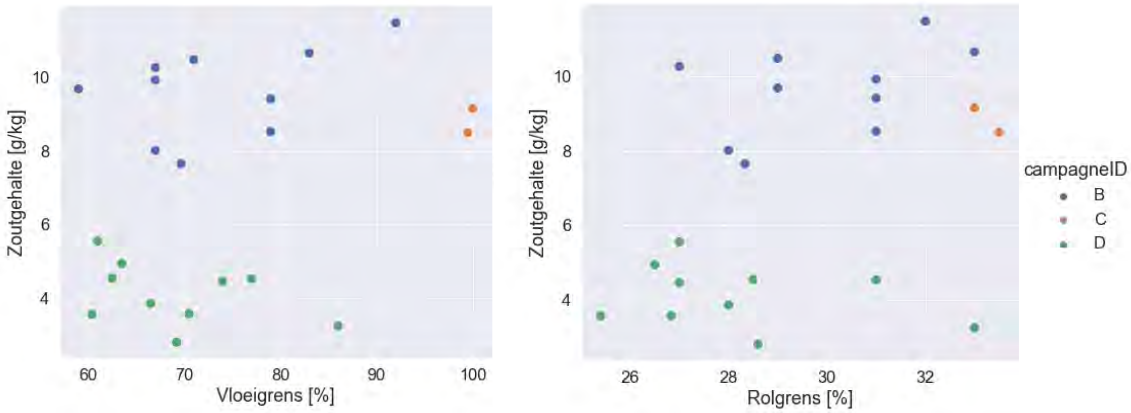


Figuur 49: Zoutgehalte ten opzichte van gloeiverlies. Gemiddelde gloeiverlies in % ten opzichte van droge stof per vak (elk punt is 1 vak) is weergegeven op de y-as. Op de x-as wordt het gemiddelde zoutgehalte in gram per kilogram klei weergegeven. De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D.

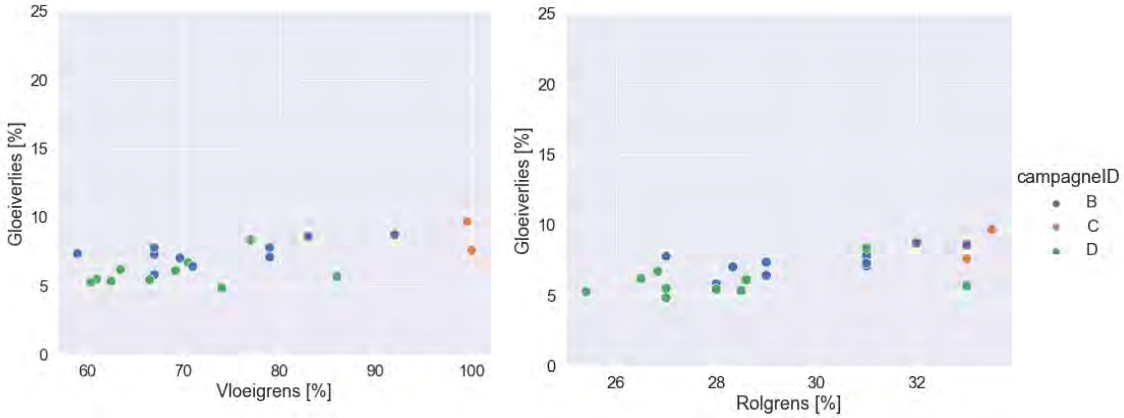
4.8.3 Effect van zoutgehalte en gloeiverlies op de Atterbergse grenzen

In de onderstaande figuren wordt het effect van zoutgehalte en gloeiverlies op de Atterbergse grenzen weergegeven. Hoe de Atterbergse grenzen (vloei- en rolgrens) berekend zijn is eerder beschreven in paragraaf 2.4. Los van het afnemende zoutgehalte (en in mindere mate gloeiverlies) in de loop van tijd lijkt er met name voor het gloeiverlies een positieve correlatie te zijn met Atterbergse grenzen, zie Figuur 50 en Figuur 51. Ook valt hierin op dat de waarden van monitoringsronde C afwijken van B en D.

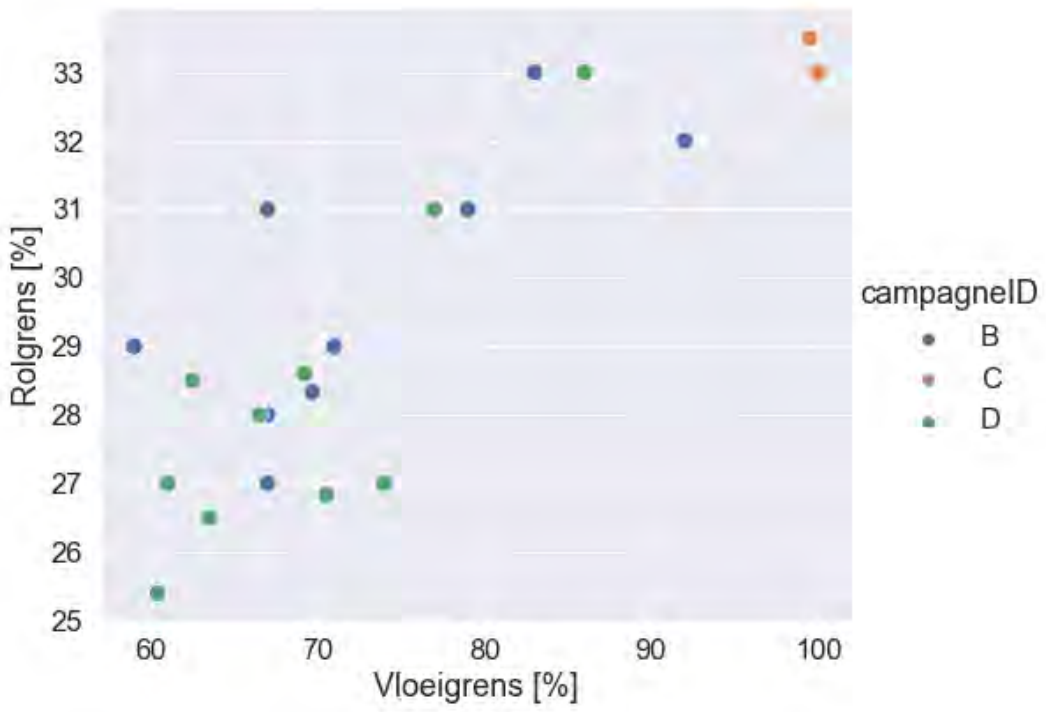
Figuur 52 geeft de relatie tussen de vloeigrens en de rolgrens in percentage ten opzichte van droge stof weer. Hieruit is een zwak positief verband zichtbaar tussen vloei- en rolgrens.



Figuur 50: Vloeigrens (links) en rolgrens (rechts) ten opzichte van zoutgehalte. De vloeigrens en rolgrens in % ten opzichte van droge stof per vak (elk punt is 1 vak) is weergegeven op de x-as. Op de y-as wordt het gemiddelde zoutgehalte in gram per kilogram klei weergegeven. De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D. Let op de verschillen in waarden op de x-as tussen vloeigrens en rolgrens.



Figuur 51: Vloeigrens (links) en rolgrens (rechts) ten opzichte van gloeiverlies. De vloeigrens en rolgrens in % ten opzichte van droge stof per vak (elk punt is 1 vak) is weergegeven op de x-as. Op de y-as wordt het gemiddelde gloeiverlies in percentage ten opzichte van droge stof weergegeven. De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D. Let op de verschillen in waarden op de x-as tussen vloeigrens en rolgrens.



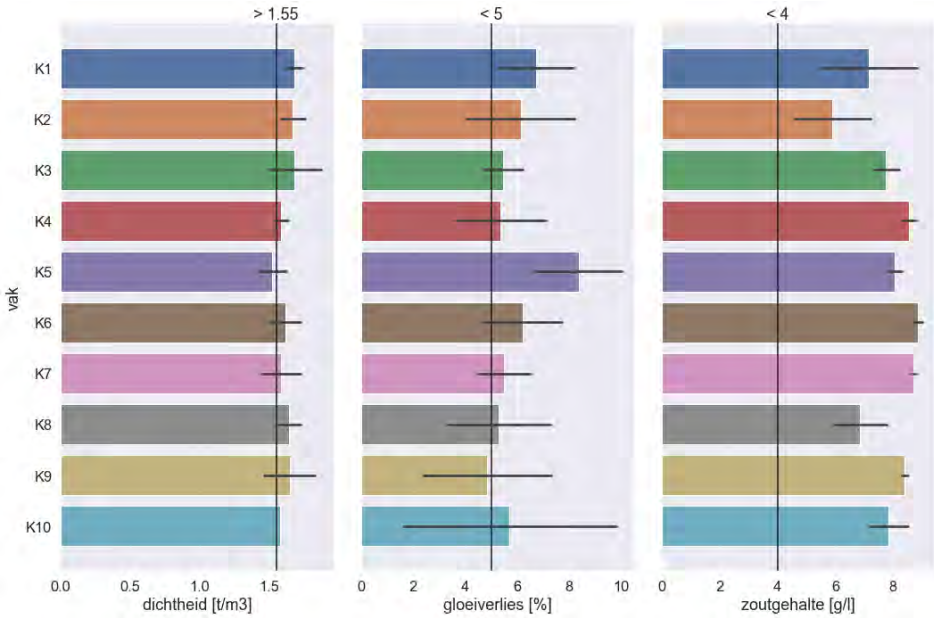
Figuur 52: Vloeigrens ten opzichte van rolgrens. De verschillende kleuren representeren de verschillende meetperiodes B t/m D.

4.9 Resultaten per proefvak, laatste monitoringsronde

De laatste monitoringsronde vormde het sluitstuk van de metingen op de kleirijperij is daarom afzonderlijk weergegeven.

Tijdens bemonsteringsronde D (september 2021) zijn onder andere dichtheid, zoutgehalte, organisch gehalte, gloeiverlies, plasticiteitsindex en vloeigrens gemeten. Deze resultaten zijn al afzonderlijk gerapporteerd hierboven, maar worden hier (omdat het de laatste reguliere ronde is) nog apart weergegeven.

In Figuur 53 worden waarden voor dichtheid, zoutgehalte en gloeiverlies van de meest recente bemonsteringsronde getoond. De zwarte verticale lijn in de grafiek toont het criterium van klei voor dijken. Voor dichtheid is de waarde bij 20% afname van Atterbergse grenzen genomen. Dit is de in het Kwaliteitsplan parameter slib meegenomen inschatting voor afname tijdens het rijpingsproces na ruim 2 jaar.



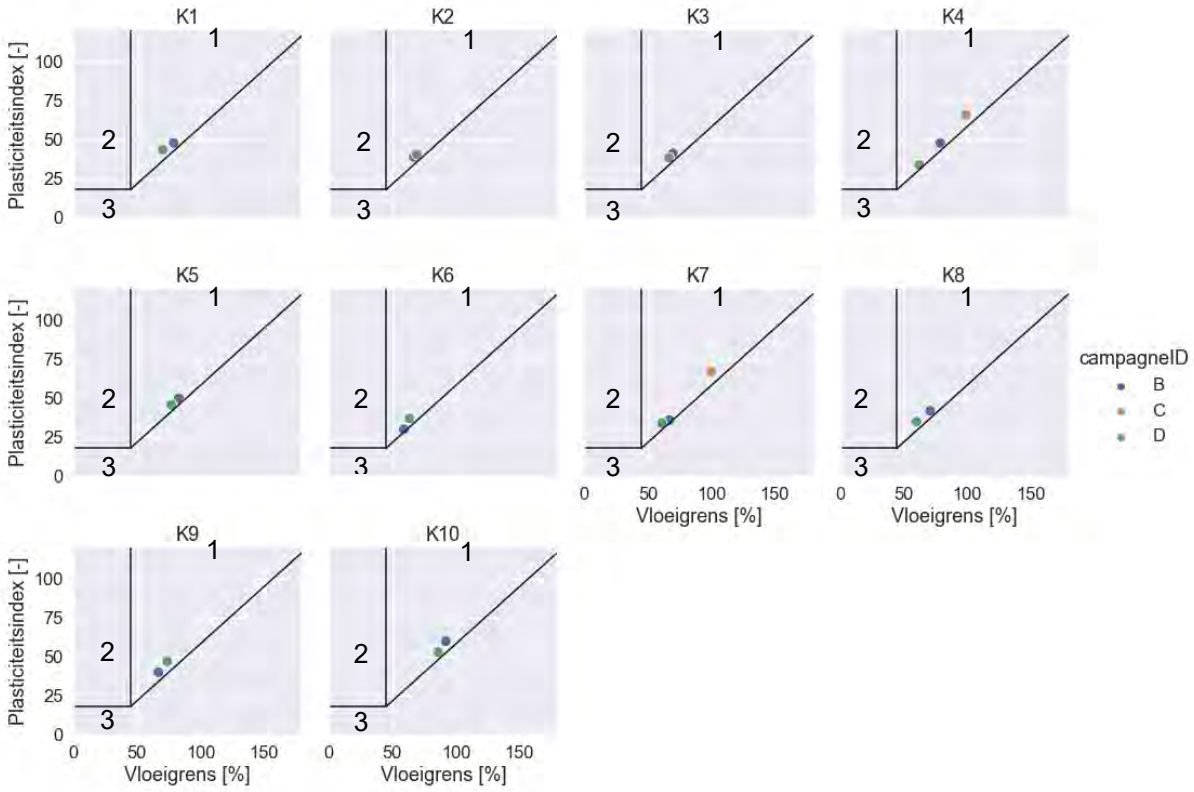
Figuur 53: Dichtheid, gloeiverlies en zoutgehalte voor alle vakken; zwarte horizontale lijnen in de balken is de standaarddeviatie; zwarte verticale lijn is het criterium van klei voor dijken. Data van monstername D.

Een overzicht van de getalsmatige resultaten wat betreft de belangrijkste parameters is per vak weergegeven in Tabel 18.

De plasticiteitsindex en vloeigrens worden per vak weergegeven in Figuur 54 en gerelateerd aan de erosieklasse voor dijkenklei. Alle monsters uit de meetcampagnes van 2020 tot 2021, liggen net boven de A-lijn en voldoen dus aan de eisen voor erosieklasse 1. De plasticiteitsindex voor de laatste meetronde (september 2021) is bij bijna alle vakken kleiner dan of gelijk aan de eerdere metingen, met uitzondering van K6 en K9.

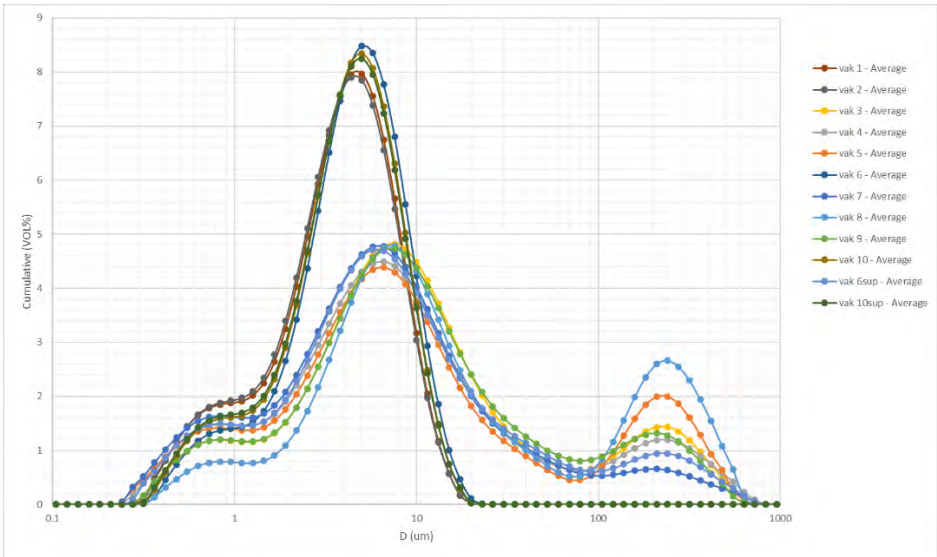
Tabel 18: Hoofdkarakteristieken van de vakken tijdens de eind-meetronde D (2021).

Vak	Organische stofgehalte [%]	Gloeiverlies [%]	Zoutgehalte [g/L]	Zoutgehalte [g/kg]	Dichtheid [kg/m^3]	Consistentie-index [-]	Dichtheid [TDS/m^3]
K1	5,42	6,72	7,17	3,57	1680	0,73	1,12
K2	3,6	6,12	5,9	2,8	1670	0,776	1,1
K3	3,4	5,45	7,75	3,85	1680	0,731	1,12
K4	3,45	5,35	8,55	4,54	1580	0,664	0,96
K5	2,25	8,35	8,05	4,53	1520	0,602	0,856
K6	2,7	6,2	8,85	4,94	1620	0,612	1,01
K7	2,1	5,5	8,7	5,55	1580	0,455	0,958
K8	3,2	5,28	6,86	3,56	1640	0,689	1,06
K9	1,55	4,85	8,4	4,45	1650	0,667	1,06
K10	0,2	5,7	7,85	3,24	1580	0,896	0,95



*Figuur 54: Plasticiteitsdiagram per vak op basis van Atterbergse grenzen tijdens monstername B, C en D. De nummers 1, 2 en 3 representeren de Erosieklassen 1 t/m 3 voor dijkenklei en zijn afgebakend met zwarte lijnen. De zogenaamde A-lijn is Ip = 0.73 * (W_L - 20) en in dit figuur weergegeven als schuine lijn.*

De korrelgrootteverdeling is bepaald voor mengmonsters van alle proefvakken op basis van de metingen tijdens monstername B. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 55. Daaruit blijkt dat er twee groepen zijn te onderscheiden wat betreft de korrelgrootteverdeling en dat de meest voorkomende korrelgroottefractie rond de 5 - 10 µm is. Opvallend is de tweede piek bij vakken K3 – K8 met een korrelgrootte van 100-200 µm, wat toch duidt op zand in deze vakken, ondanks dat dat grotendeels bij het stortpunt bleef. Bij het op de kant zetten van deze fractie is het waarschijnlijk gedeeltelijk meegenomen en vermengd. Een dergelijke vermenging zal waarschijnlijk ook optreden bij het “oogsten” van de gerijpte klei.



Figuur 55: Korrelgrootteverdeling van monsters genomen tijdens meetcampagne B.

5 Discussie en conclusies

De Kleirijperij Kwelder was kleiner dan Kleirijperij Delfzijl, met een beperkter aantal vakken. Het aantal aangebrachte variaties was dan ook kleiner. Bovendien begon het vullen 1 (vulslag 1) tot 2 (vulslag 2) jaar later, waardoor er eerder analyses beschikbaar waren voor de kleirijperij Delfzijl. Vandaar dat in deze discussie regelmatig wordt teruggegrepen op de conclusies wat betreft de kleirijperij Delfzijl (Meshkati Shahmirzadi, et al. 2023).

5.1 Ingangsmateriaal en ontgravingsmethode

De gebruikte ontgravingsmethode (met een cutter) zorgt dat grote hoeveelheden water met het slib worden vermengd, waardoor de dichtheid bij aanvang een stuk lager is. Dit leidde - volgens verwachting - niet tot langere rijpingstijden omdat al vrij snel door bezinking veel water bovenop het slib kwam te staan, waarna dit kon worden afgelaten. De methode leidde echter wel tot segregatie van het materiaal, waardoor zand direct bij de stortpijp bezonk. In een toepassingsfase kan dat betekenen dat er eerst gemengd moet worden om tot een homogene toepassing te komen. Hoewel zandig materiaal minder “rijping” nodig heeft, was een bijzonder effect te zien in de overgang van zandig naar minder zandig materiaal: vooral daar waar aan de bovenkant zand aanwezig was, leidde dit tot minder rijping van het slib eronder. Scheuren kunnen immers in dit geval niet tot bovenin komen, en ook kunnen minder hoge zuigspanningen gegenereerd worden in het materiaal door de zon. De situatie is te vergelijken met “sand capping” dat soms in drogere (woestijn)gebieden wordt toegepast, om de uitdroging tegen te gaan.

Voor de Kleirijperij op de Kwelder waren de randvoorwaarden -sterker dan op de Kleirijperij Delfzijl - ingegeven door de omgeving en de aard van het aangebrachte materiaal: het bronmateriaal kwam immers van een onderhoudswerk waarbij het volledige gebaggerde profiel (inclusief inhomogeniteiten) naar de kleirijperij moest worden verplaatst. Bovendien moest bij de aanleg rekening gehouden worden met de inpassing in een Natura2000-gebied, wat een aantal variaties (zoals een drainerende zandlaag en het opmengen met zoet water) onmogelijk maakte. Het werken met een groter aantal randvoorwaarden is echter ook een logische werkwijze bij prakschaaltoepassingen, zodat het ook nuttig is dat dit bij één van de pilots ook daadwerkelijk het geval was.

Het ingebrachte slib voldoet aan alle eisen die gesteld worden voor de productie van dijkenklei, en waarvan het de verwachting is dat ze níet meer zullen wijzigen: de milieukwaliteit is conform de verwachting, en ook parameters die sterk zullen (moeten) wijzigen in de kleirijperij (zoutgehalte, watergehalte en organische stofgehalte) zijn conform verwachting. Een vergelijking tussen de gemeten parameters en de verwachte waardes conform het Kwaliteitsplan Parameters Slib is weergegeven in Tabel 19.

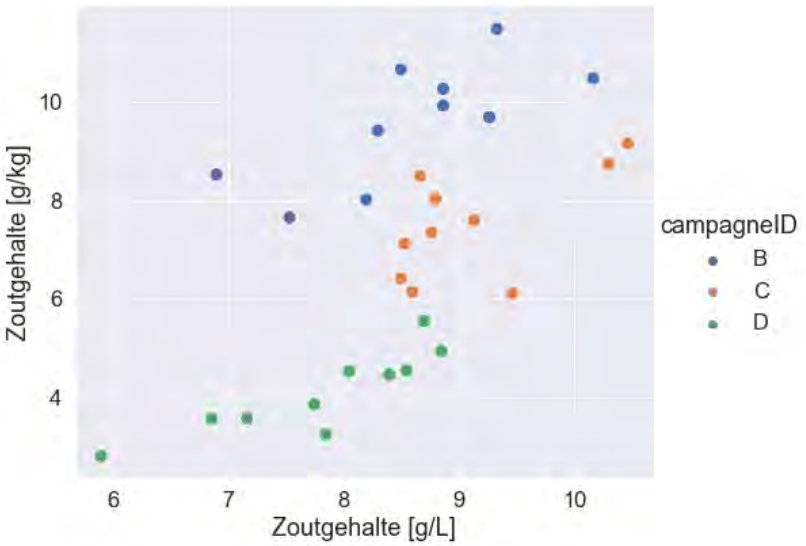
Tabel 19: Informatie over het uitgangsmateriaal, vergeleken met de ingeschatte waarde.

Parameter		Eenheid	Ingeschatte Range (situ Breebaart)	Gemeten Waarde (situ Breebaart)	Gemeten Waarde (meetronde B)	Norm
Dichtheid		t/m^3	1,20-1,60	-	1,2	>1,48-1,60
Soortelijk gewicht		t/m^3		2,51		-
Atterbergse grenzen	vloeigrens	%	68-151		60-75	
	rolgrens	%	28-53		27-33	
	plasticiteitsindex	%	40-98		30-60	
Consistentie-index			–5- +0.5	-3,2	-30- -10	0,6
Zoutgehalte		g/L (porievocht)			7,6	<4
Organische stof		%	4,2-10,4		7,5	<5
Kalkgehalte		%				<25
Zandgehalte		%	13			<40

5.2 Verloop van de belangrijkste parameters

Het ingangsmateriaal voldeed aan de erosieklasse I-eisen voor dijkenklei wat betreft de Atterbergse grenzen: het materiaal lag boven de A-lijn. Tijdens het rijpen was een afname van zowel de rol- als de vloeigrens te zien, maar bleef het materiaal in deze erosieklasse. Dit was vergelijkbaar met het verloop van deze parameters in Delfzijl en kan ook hier maar gedeeltelijk verklaard worden: de afname van organische stofgehalte waar het vaak aan wordt toegeschreven vond immers maar beperkt plaats.

Het ingebrachte materiaal had vergeleken met de Kleirijperij Delfzijl een lager zoutgehalte, omdat er in de polder met gedempt getij waarschijnlijk ook een regenwaterinvloed was, maar ook omdat de locatie verder van de Waddenzee en Noordzee is gelegen, waardoor het zoutgehalte sowieso lager is in dit deel van de Eems-Dollard. Daarmee was minder ontzouting nodig. De korte rijpingsperiode leidde echter niet tot een afname van de zoutconcentratie, hoewel met het uittredende/afstromende water wel veel zout verdween (Figuur 56). Waarschijnlijk zal bij een langere rijpingsperiode de ontzouting (nadat onverzadiging optreedt en regenwater kan intreden) wel plaatsvinden.



Figuur 56: Verloop van het zoutgehalte (in g/kg droge stof, y-as), en de concentratie van zout in het poriewater).

Het organische stofgehalte daalde in de Kleirijperij in het eerste jaar nauwelijks, maar daalde wel in het volgende jaar. Omdat verwijdering van organische stof gehinderd wordt door het in zeewater aanwezige sulfaat, is het waarschijnlijk dat de afname van het zoutgehalte de “trigger” is geweest voor de start van de verwijdering van organische stof.

5.3 Effect van rijpingsstrategieën

De resultaten van de kleirijperij in de verschillende vakken is afhankelijk van de toegepaste rijpingsstrategie. In de Rapportage Evaluatie Rijpingsmethodes is deze verder uitgewerkt (Meshkati, Wesdorp en van der Star 2023). De effecten van de verschillende biologische methodes zijn beschreven door Van der Ouderaa et al. (2023).

Het meest bepalende effect was net als bij de Kleirijperij Delfzijl de initiële vulhoogte. Op basis van de vulhoogtes in de drie vakken waren 3 verschillende hoogtes te onderscheiden, waarbij de hoogste vulhoogte de langste rijpingstijd had, of de meeste aandacht bij bewerkingen. De 2 biologische vakken (K8 en K10) werden niet bewerkt. Deze afwezigheid van bewerking had een duidelijker effect dan het verschil tussen de verschillende ingezaaide soorten.

De vakken die op enig moment onder water zijn gezet om op die manier te voorkomen dat korstvorming de opwaartse waterflux zou verminderen, leidden niet tot een snellere rijping, waarschijnlijk om dat geen gesloten korst aanwezig was. Deze rijpingsoptie is vooral mogelijk relevant in het begin van de rijping wanneer er nog veel consolidatiewater moet uittreden en indien er zich een gesloten korst zou vormen aan de bovenzijde. Een voldoende gescheurde korst stimuleert de consolidatie juist, doordat de bovenbelasting hierdoor toeneemt ten opzichte van een toplaag onder water en consolidatiewater via de scheuren toch de korst kan passeren en uittreden. Ook kan onder water zetten (in een periode met weinig regen, anders is dit niet nodig) helpen om een zoute korst te verzoeten.

5.4 Eindresultaat

Het eindresultaat is klei met de waarden per vak zoals weergegeven in Tabel 18. De gemiddelde waardes daarvan zijn hieronder weergegeven in Tabel 20.

Tabel 20: Eindwaardes voor Kleirijperij Kwelder

Parameter	Vereiste waarde	Eind-waarde	Verandering tijdens rijpingsproces verwacht?
Zoutgehalte in porievocht	< 4 g/L	6-9	Ja
Organische stofgehalte	< 5 % droge stof	1,5-5,4	Ja
Erosiebestendigheid **-plasticiteitsindex** **-vloeigrens** **-uitrolgrens**	Erosieklasse 1[12] >0,73*(vloeigrens-20%) - -	Erosieklasse 1 60-75%	Nee -Ja -Ja -Ja (beperkt)
Consistentie-index	>0,6	0,45-0,90	Ja
Dichtheid[13]	>1,55-1,65 t/m^3	1,52-1,68	Ja

Te zien is dat diverse waardes niet voldoen aan de gestelde normen. Hoewel het waarschijnlijk is dat meer tijd en dunnere lagen tot een beter resultaat zouden leiden, is het niet gezegd dat de huidige gerijpte klei ongeschikt is voor dijken. Om dit te beproeven is (mede) van dit materiaal een proefdijk gemaakt (Boskalis en Van Oord 2020), en is het materiaal succesvol beproefd in op golfbelasting in de Deltagoot (van Steijn en Klein Breteler 2021).

[12] Erosieklasse 2 is ook acceptabel, maar op basis van het ingangsmateriaal is dat niet te verwachten. Voor erosieklasse 2 geldt een minimum plasticiteitsindex van 18%.

[13] De dichtheid is niet een formele eis, maar indien de consistentie-index-eis wordt gehaald, zal de dichtheid rond de 1,55-1,65 t/m^3.

6 Referenties

BH Photo Videos. 2019. *BH Photo Videos.* Geopend 01 03, 2022. https://www.bhphotovideo.com/c/product/1298134-REG/dji_cp_pt_000607_phantom_4_pro.html.

Boskalis en Van Oord. 2020. „De Aanleg van een Proefdijk."

CROW. 2015. „Standaard RAW Bepalingen 2015."

Deltares. 2019. *Transect functie.* 6 maart. kleirijperij.openearth.eu.

Economie en Ecologie Eems-Dollard in balans. 2015. „Eindrapport MIRT-onderzoek."

Ecoshape. 2019. „Expertgroep Pilot Kleirijperij." *Rijpingsstrategieën.*

Ecoshape. 2017. „Plan van Aanpak Kleirijperij."

Meshkati Shahmirzadi, E., D. Van Keulen, W. Van der Star, K. Wesdorp, en T. Vreeken. 2023. *Monitoringsrapportage Kleijrijperij Delfzijl. Deltares rapport 11201344-002-ZKS-0003.* EcoShape.

Meshkati, E, K Wesdorp, en W van der Star. 2023. *Evaluatie Rijpingsmethodes Kleirijperij. Deltares rapport 11201344-000-ZKS-0011.* EcoShape.

NEN. 1995. „Geotechniek - Bepaling van het watergehalte van grond in het laboratorium."

NEN. 2016. „Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 3: Bepaling van de dichtheid van gronddeeltjes."

NEN. 2019. „Geotechnisch onderzoek en beproeving - Identificatie en classificatie van grond - Deel 2: Grondslagen voor een classificatie ."

Satelliet data portaal. 2018. *Satelliet data portaal.* augustus. https://satellietdataportaal.nl/.

Sittoni, Luca, Erik Hendriks, Ebi Meshkati Shahmirzadi, Maria Barciela Rial, en Stefan Janssen. 2022. *TKI Living Lab for Mud (TKI LLM).* Delft: TKI Deltatechnologie.

Sjenitzer, S, D. Derks, W. van der Star, en Meshkati Shahmirzadi. 2020. *Historisch (literatuur) onderzoek Pilot Kleirijperij. RHDHV rapport WATRC_BC8760-111_R0001_901691_f1.0.* Ecoshape.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. 1996. „Technisch rapport Klei voor dijken."

van den Heuvel, M. 2018. *Kwaliteitsplan Parameters Slib, WP1.2.7.* EcoShape.

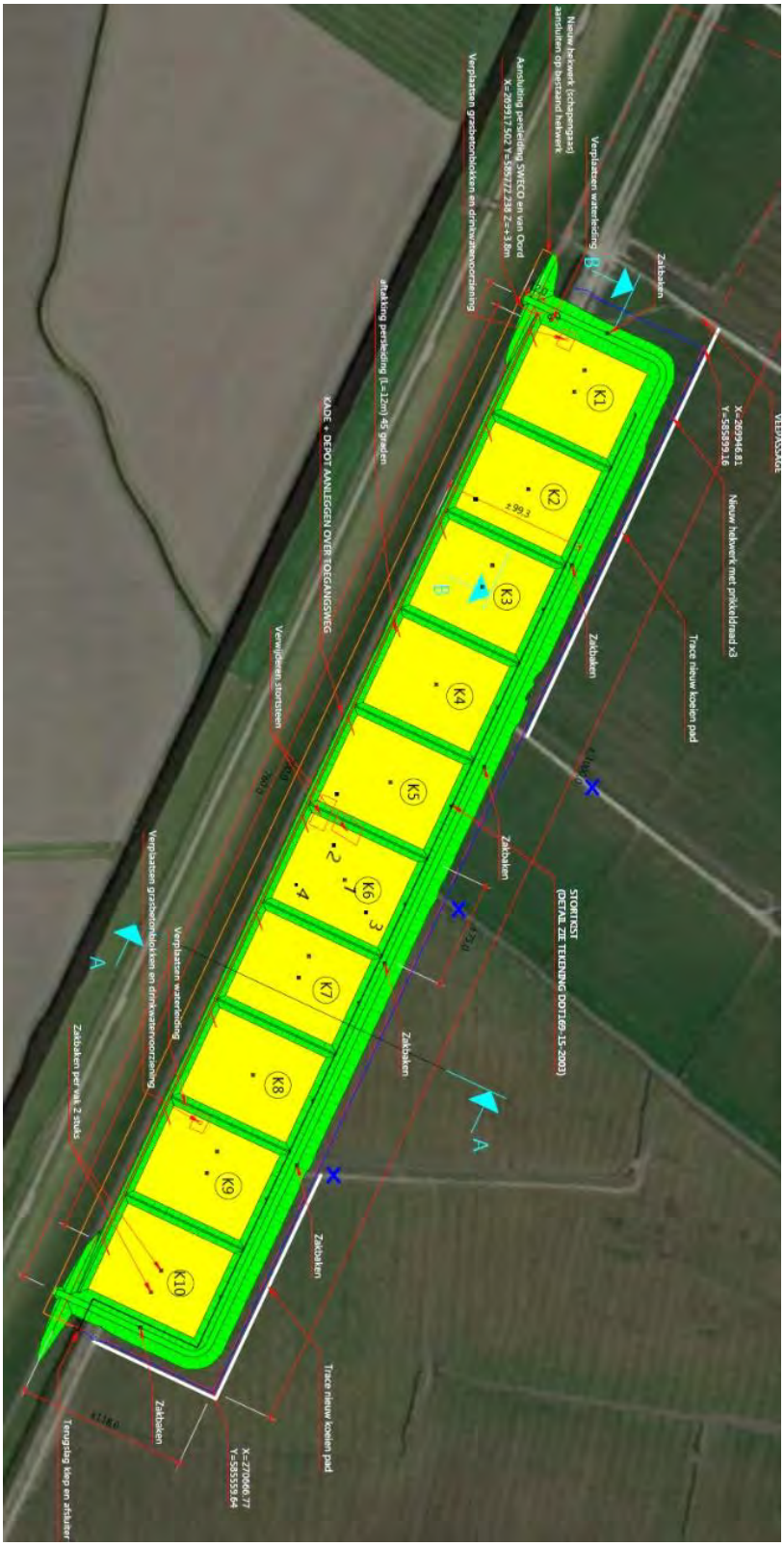
van der Ouderaa, I, M van Puijenbroek, K Elschot, P Essink, en M Scholl. 2023. *Building with Nature - Pilot kleirijperij – effecten van biologische bewerkingsmethoden op het rijpen van klei:.* Wageningen Marine Research rapport C058/22. EcoShape.

van der Star, W, B Wichman, en J Boganen. 2018a. „Monitoringsplan Kleirijperij locatie Delfzijl, WP4.1.2. Deltares rapport 11201344-000-ZKS-0005." EcoShape.

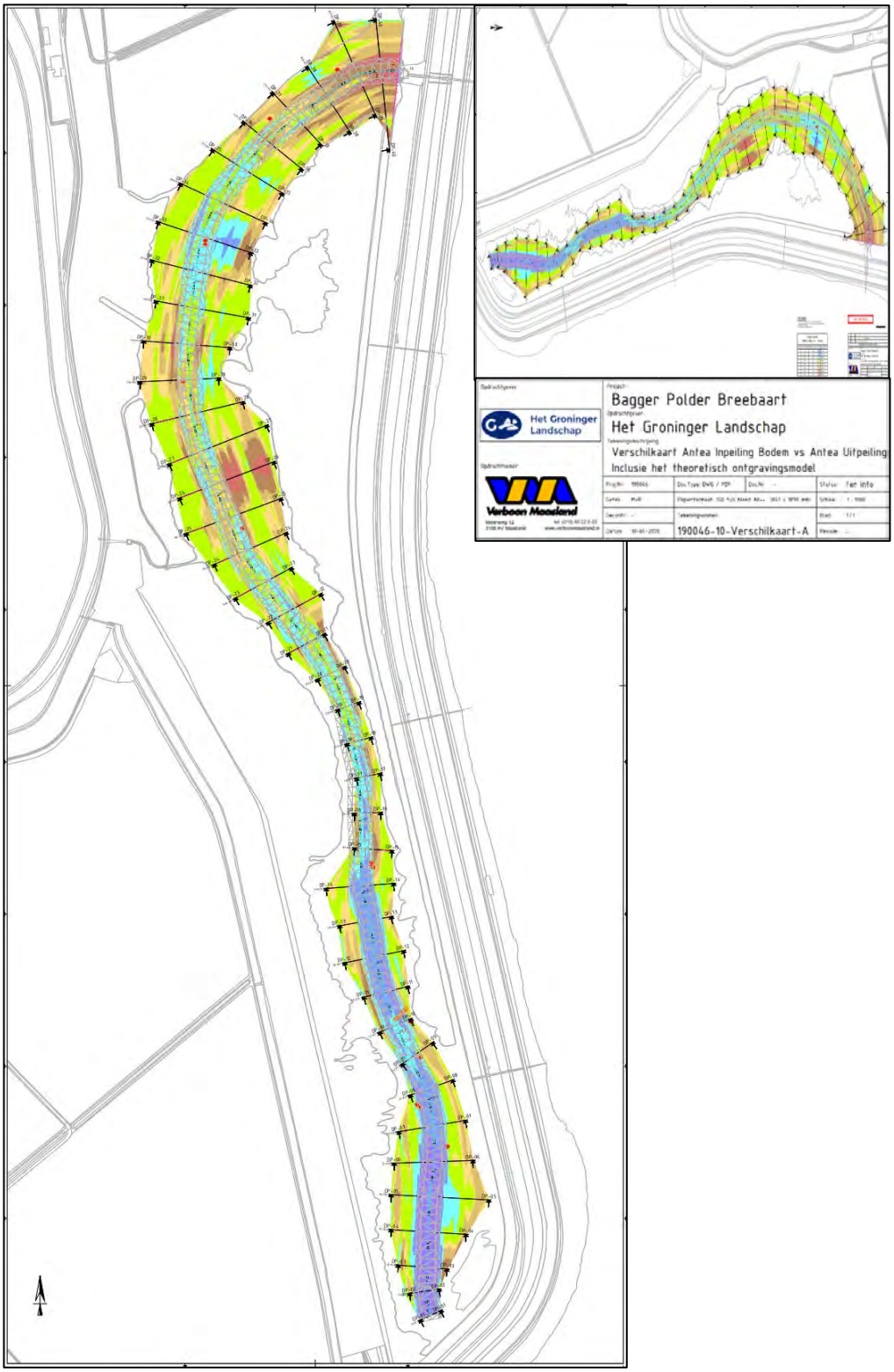
van der Star, W, B. Wichman, en J. Boganen. 2018b. *Monitoringsplan Kleirijperij Locatie Kwelder. Deltares rapport 11201344-000-ZKS-0008.* EcoShape.

van Steijn, P, en M Klein Breteler. 2021. „Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk. Stap 9: Meting erosiebestendigheid deltaklei met Deltagootproeven. Deltares Rapport 11206194-002-HYE-0014."

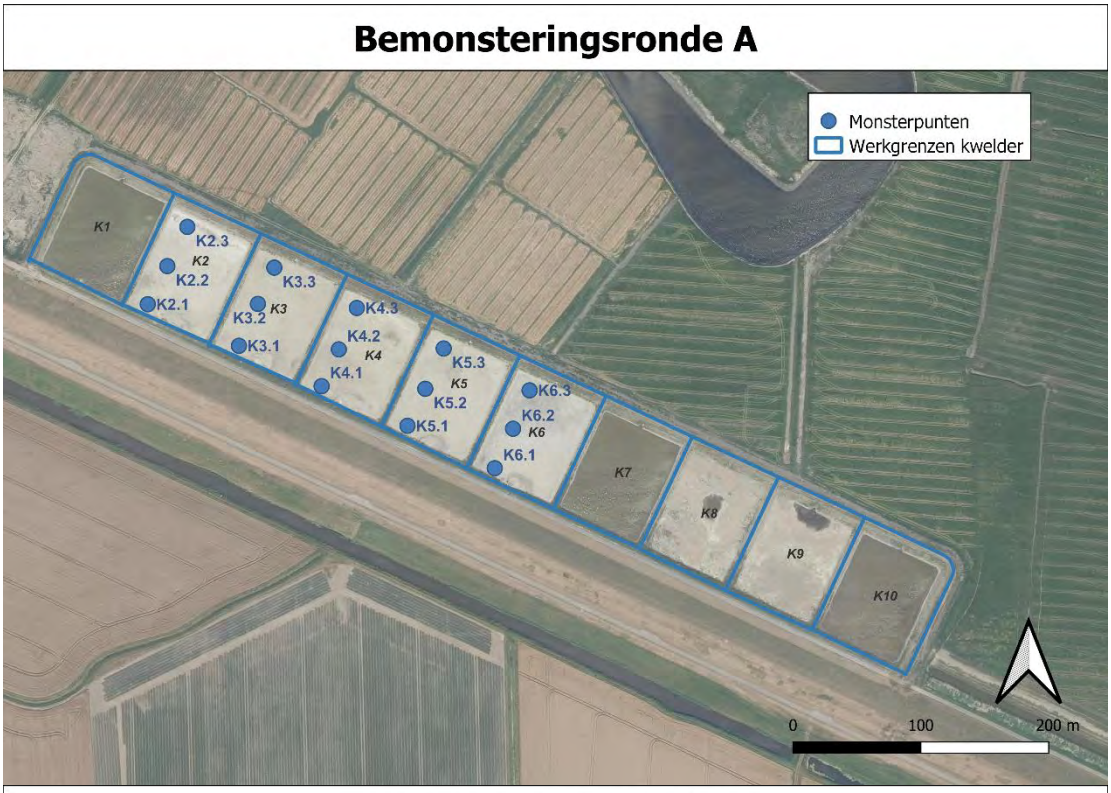
A Definitief ontwerp slibdepot Kwelder

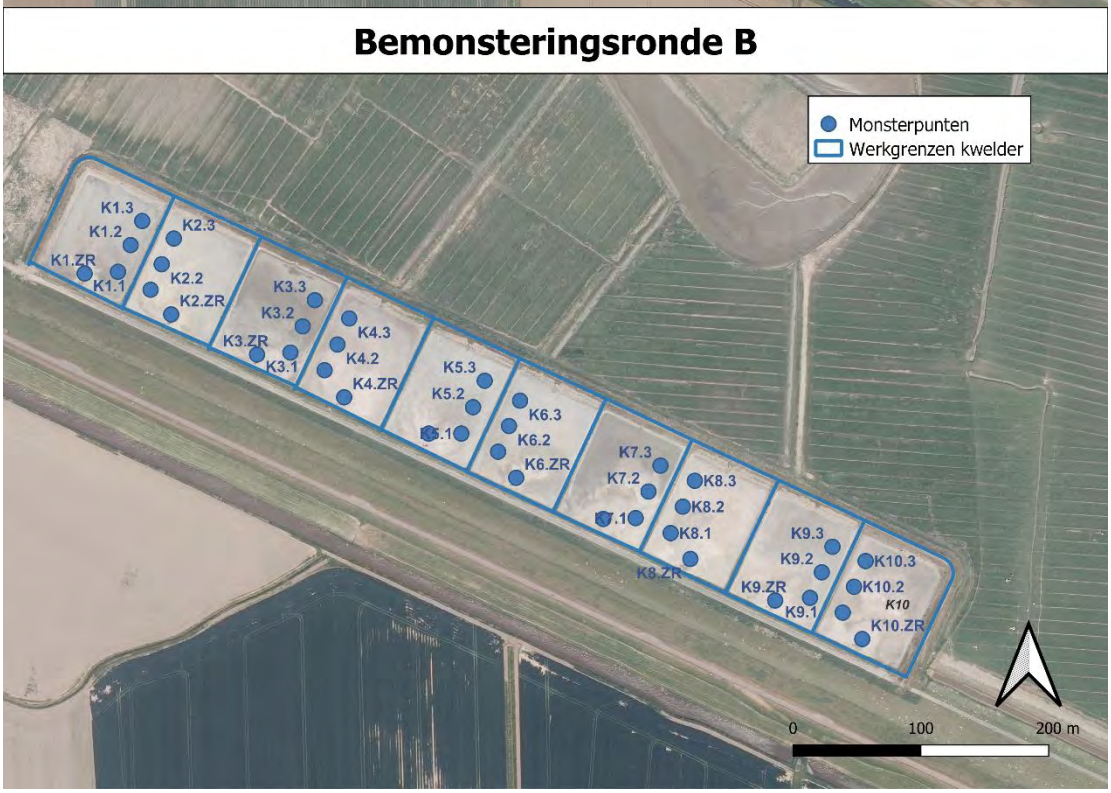


B Verschilkaart polder Breebaart inpeiling ten opzichte van uitpeiling inclusie het theoretisch ontgravingsmodel



C Locaties monstername A tot D





Bemonsteringsronde C

Bemonsteringsronde D

D Inmetingen

D.1 Drone kenmerken

Specificaties van de hoogteopnames en dataverwerking zijn hieronder weergegeven.

NOTES

GEODETIC PARAMETERS:

Source Ellipsoid:	ETRS 1989		
	Semi major axis (a): 6378137.000		Inverse Flattening (1/f) : 298.257222101004
Target Ellipsoid:	Bessel 1841		
	Semi major axis (a): 6377397.155		Inverse Flattening (1/f) : 299.152812544765
Datum Shift:	ETRS 1989 -> Bessel 1841		
	Dx: -565.4136	Rx (seconds): 0.398950	Sf(ppm): -4.07250
	Dy: -50.3360	Ry (seconds): -0.343980	
	Dz: -465.5516	Rz (seconds): 1.877400	
Projection:	RD Oblique Equatorial Stereographic		
	Latitude of Origin: 52°09'22.17800"N		False Easting: 155000.000
	Longitude of Origin: 005°23'15.50000"E		False Northing: 463000.000
	Scale factor: 0.99990790		
Geoid Model:	Geoid Model: RDNAPTRANS2008		
Vertical datum :	NAP		

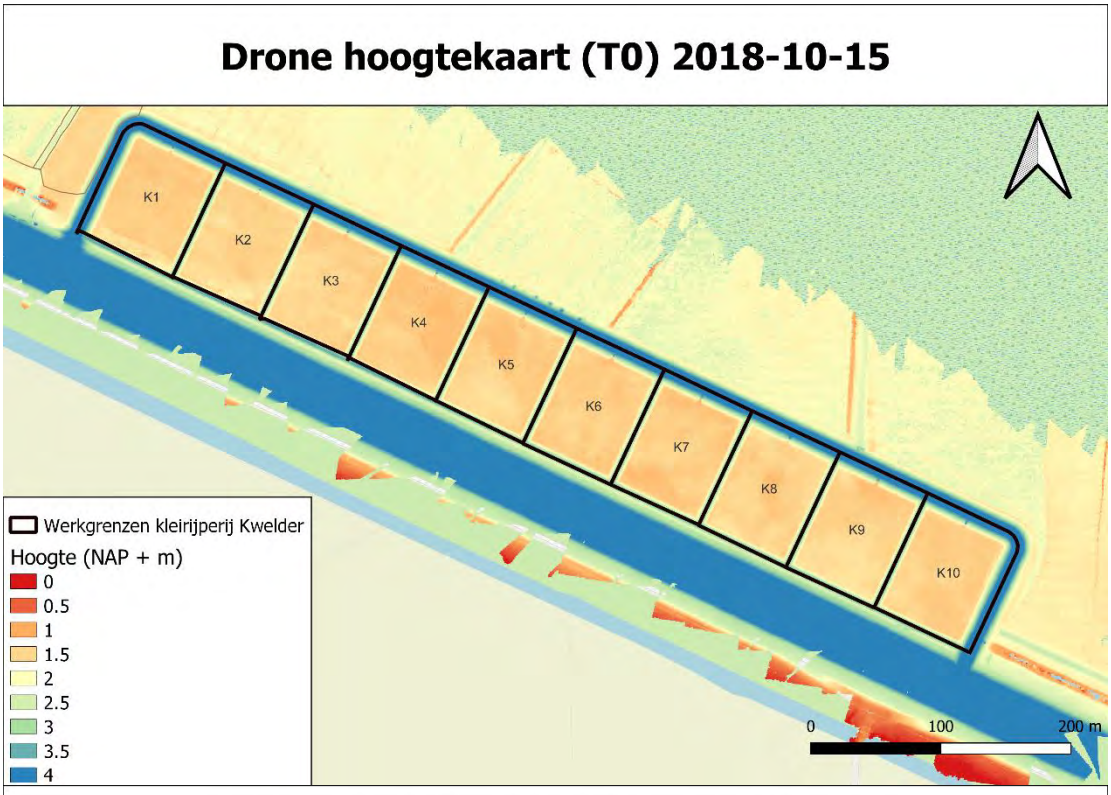
EQUIPMENT:

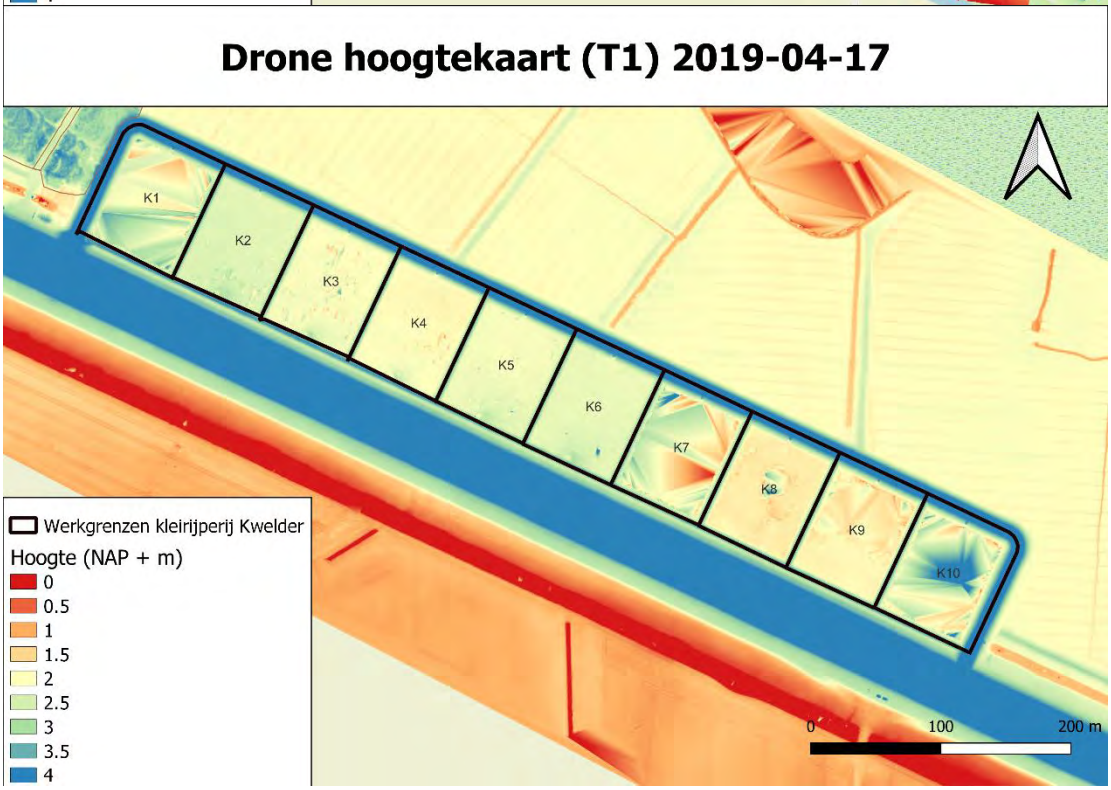
Drone System	DJI Phantom Pro 4
Positioning System:	GCP's measured with Trimble RTK

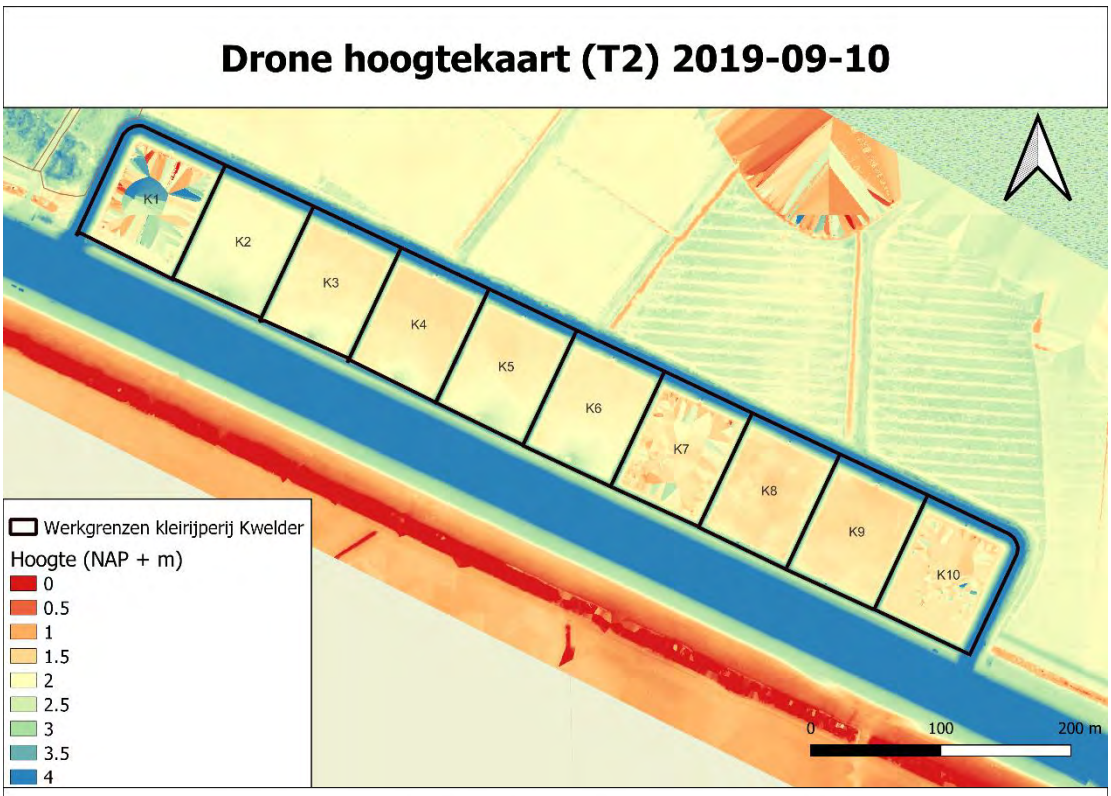
SOFTWARE:

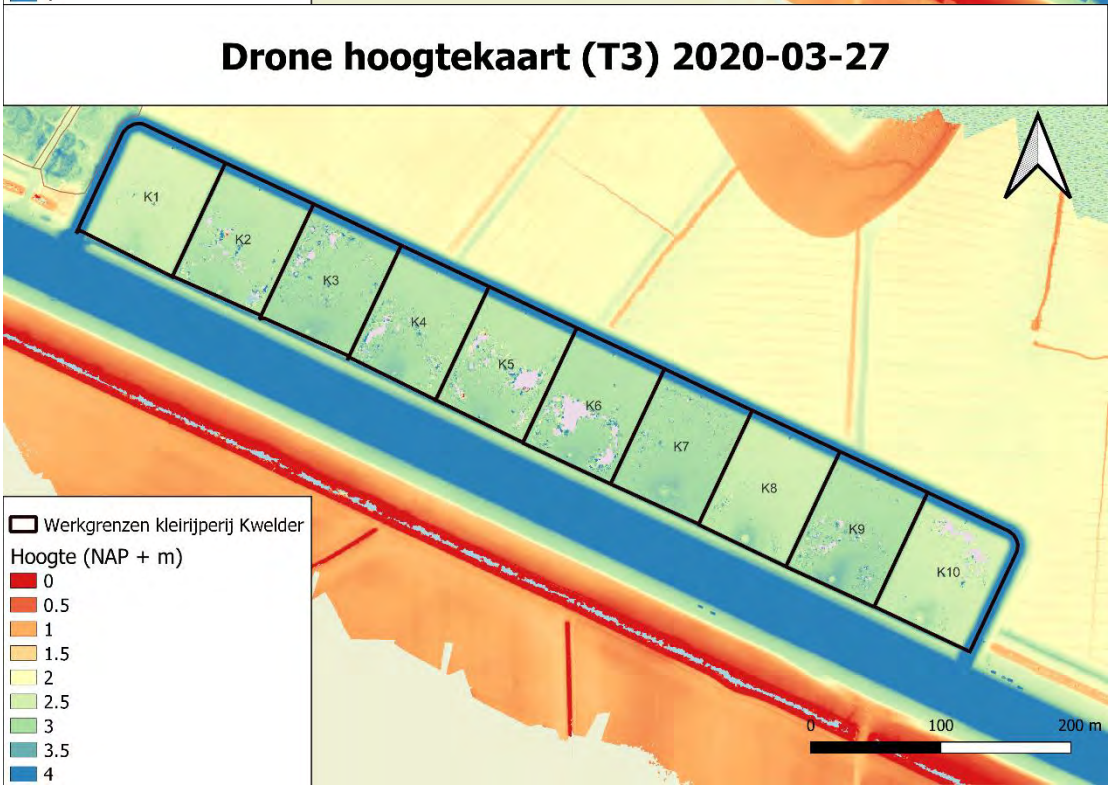
Acquisition Software:	PDS2000
Processing Software:	Pix4D
SURVEY PERIOD:	23-04-2018

D.2 Fotogrammetrische hoogtekaarten

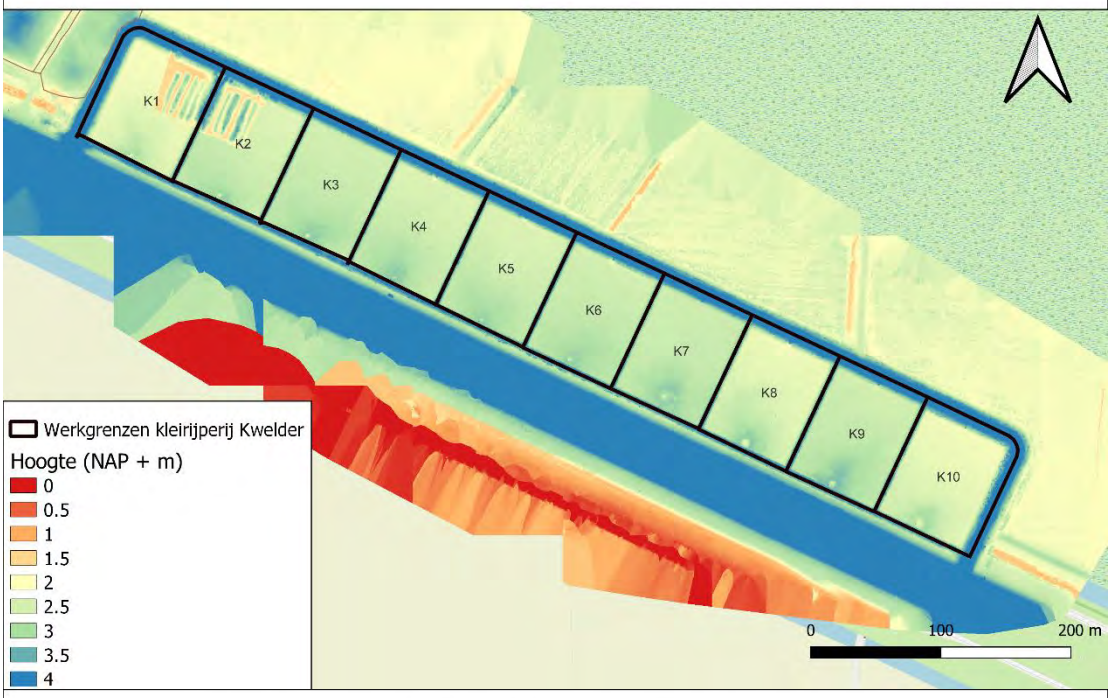




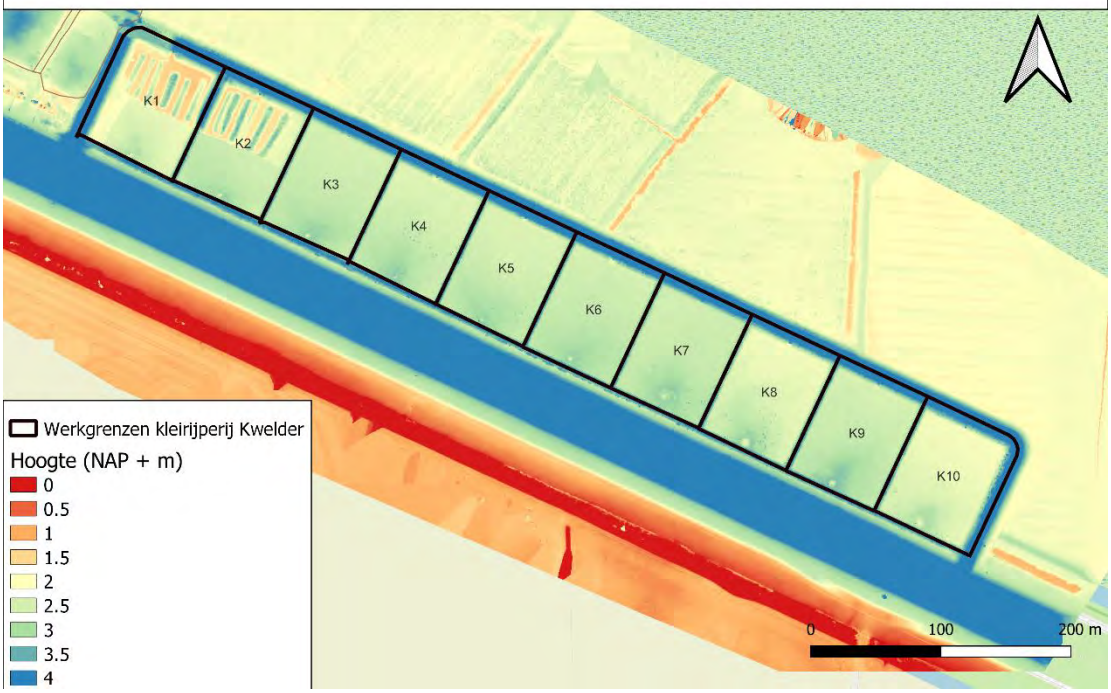

Drone hoogtekaart (T2) 2019-09-10
K1
K2
K3
K4
K5
K6
K7
K8
K9
K10
Werkgrenzen kleirijperij Kwelder
Hoogte (NAP + m)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
0
100
200 m


Drone hoogtekaart (T3) 2020-03-27
K1
K2
K3
K4
K5
K6
K7
K8
K9
K10
Werkgrenzen kleirijperij Kwelder
Hoogte (NAP + m)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
0
100
200 m

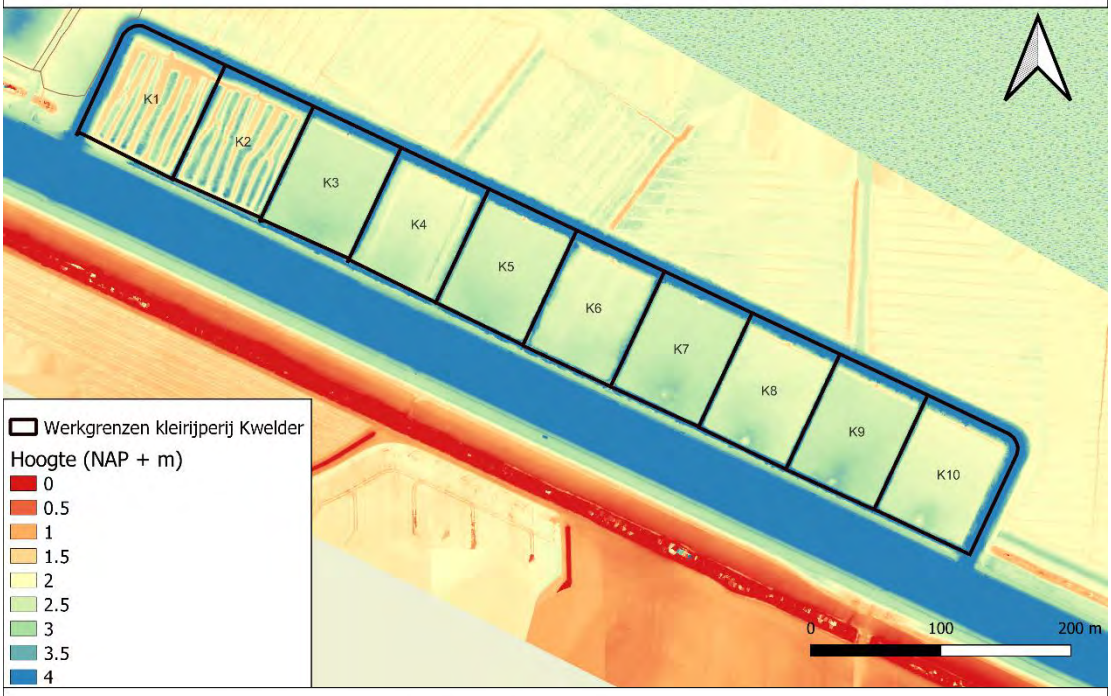
Drone hoogtekaart (T4) 2020-08-31



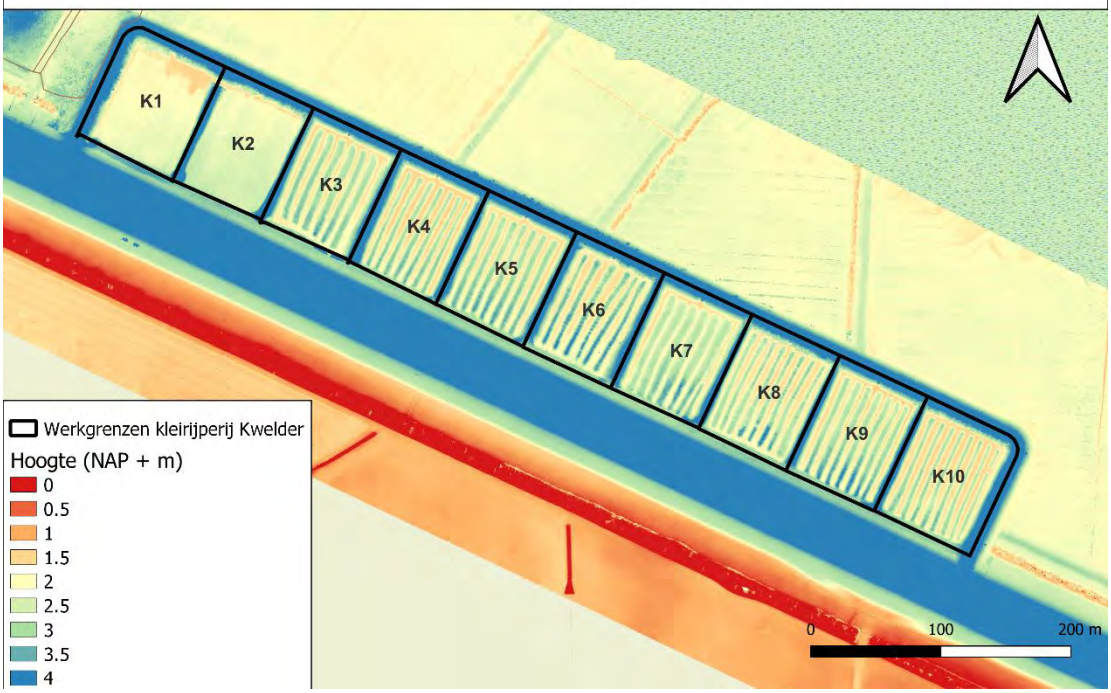
Drone hoogtekaart (T5) 2020-09-30



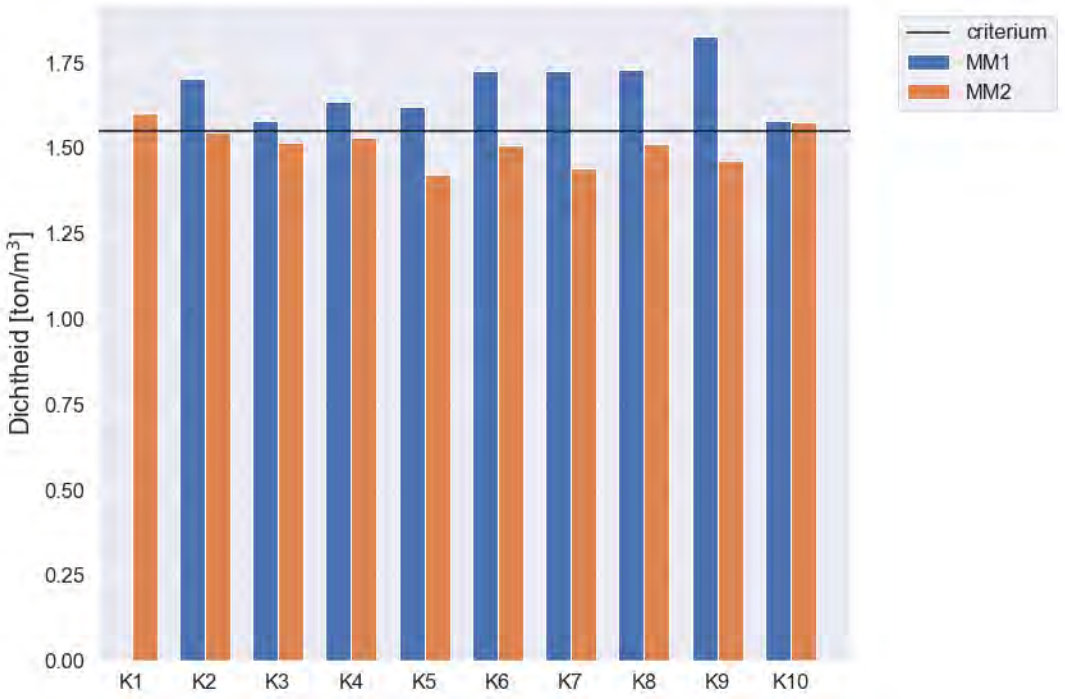
Drone hoogtekaart (T6) 2021-06-16

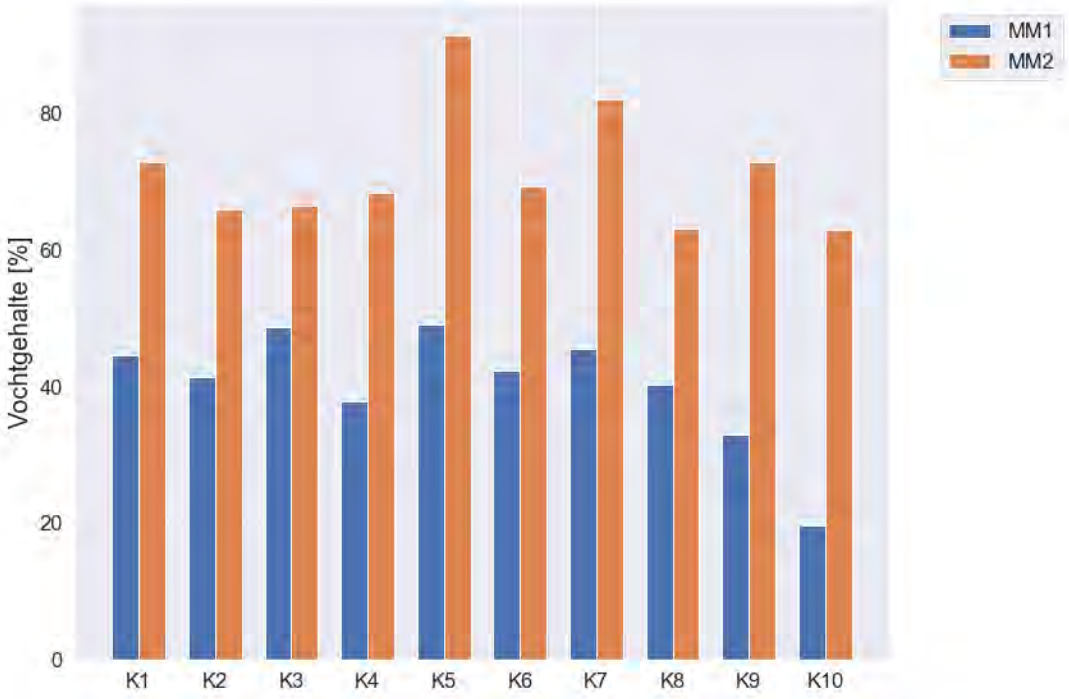


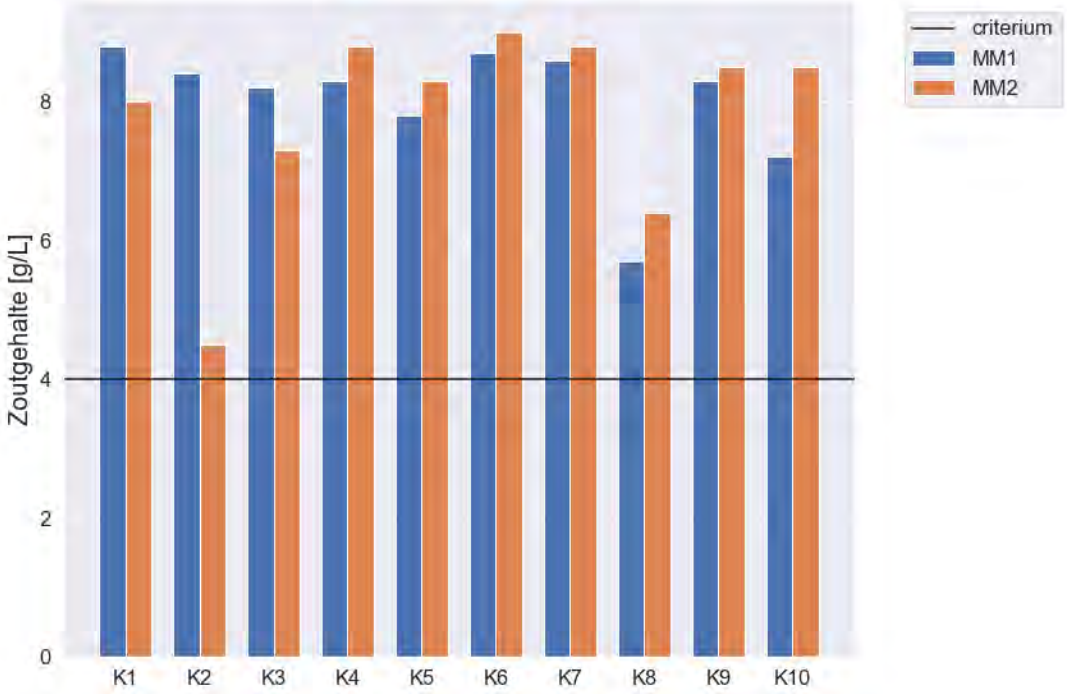
Drone hoogtekaart (T7) 2021-10-26

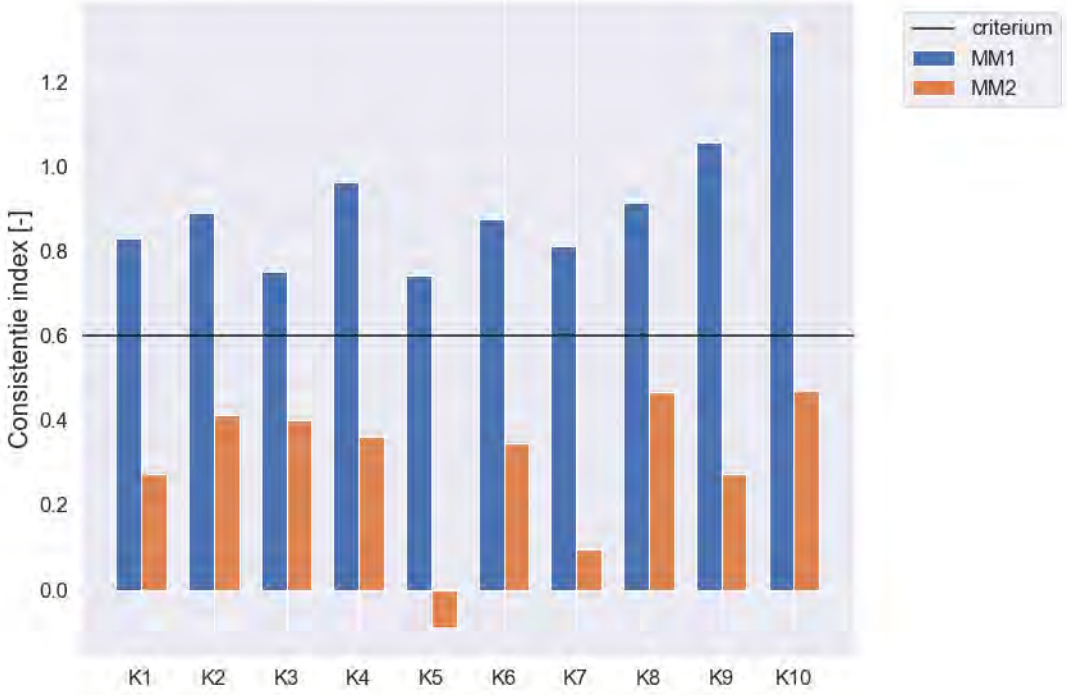


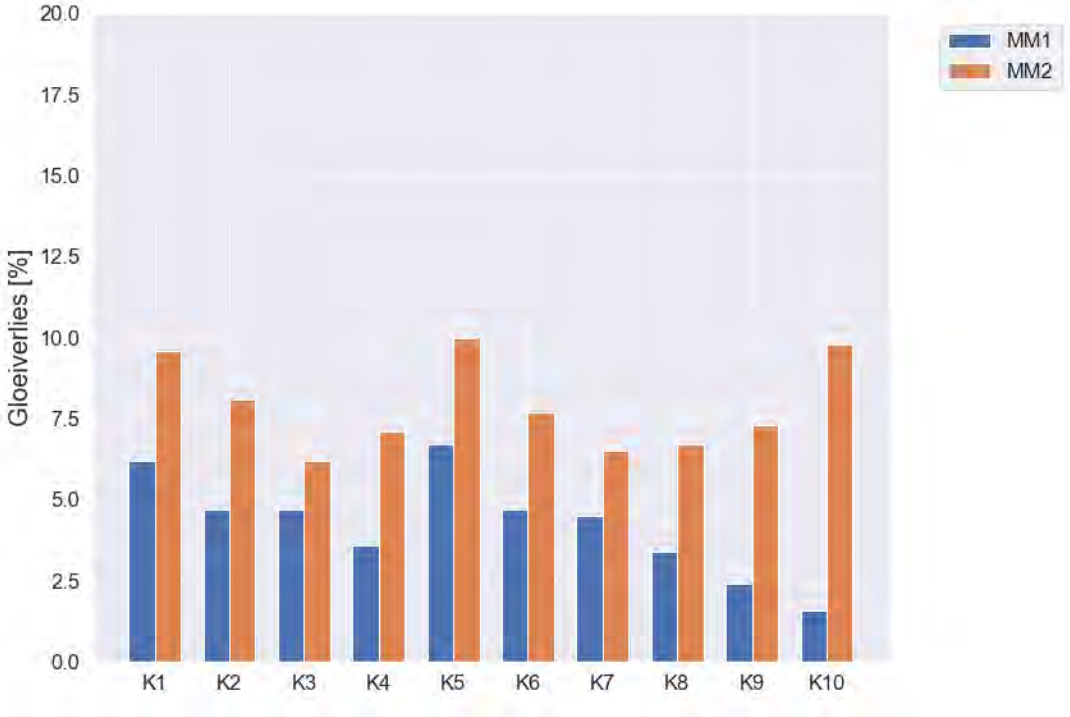
E Onderscheid tussen zandig (MM1) en klei (MM2) metingen in ronde D






criterium
MM1
MM2
Zoutgehalte [g/L]
0
2
4
6
8
K1
K2
K3
K4
K5
K6
K7
K8
K9
K10


criterium
MM1
MM2
Consistentie index [-]
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
K1
K2
K3
K4
K5
K6
K7
K8
K9
K10


20.0
17.5
15.0
12.5
10.0
7.5
5.0
2.5
0.0
Gloeiverlies [%]
K1
K2
K3
K4
K5
K6
K7
K8
K9
K10
MM1
MM2

F Proefsleuven

Aan
Wouter van der Star - Deltares

Van
Tjibbe Postma

Kopie
Joey Boganen
Corne Appelo

VELDWERK RAPPORTAGE

UITVOEREN PROEFSLEUVEN VAK K1 EN K2 – KLEIRIJPERIJ LOCATIE KWELDER

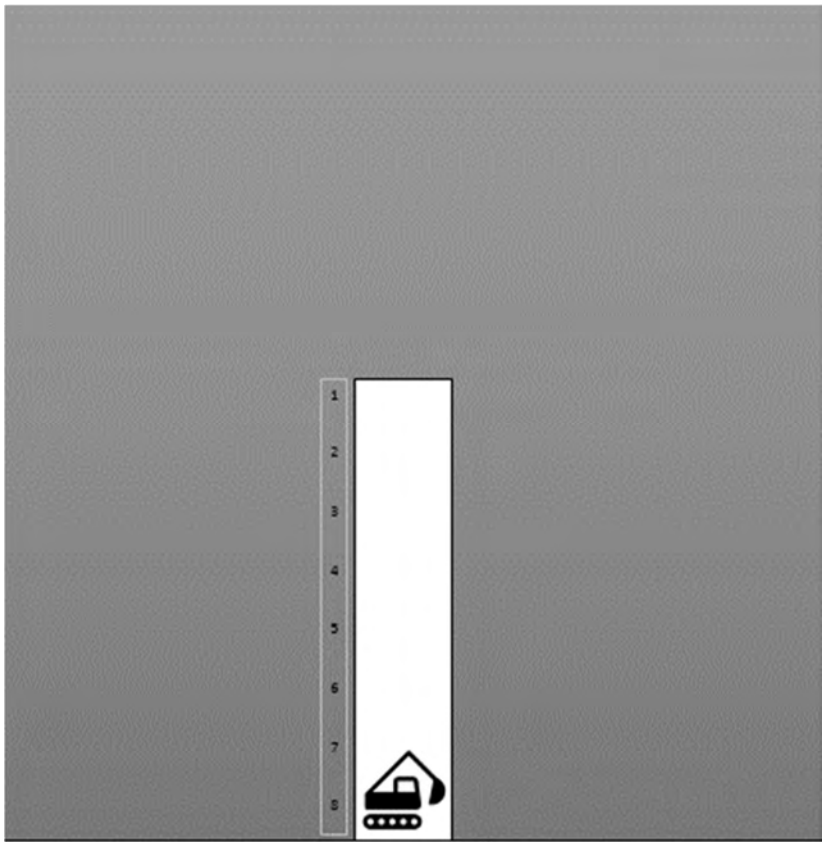
Datum
22 Oktober 2020

Doc. Ref:
234616_20201019_tpos_V1

Op 1 oktober 2020 is een aanvullend onderzoek op de kleirijperij locatie Kwelder uitgevoerd bestaande uit het ontgraven van proefsleuven in de vakken K1 en K2. Doel van het onderzoek is om een beeld te krijgen van zowel de horizontale als verticale opbouw van de depots.

Vanaf halverwege het vak tussen de stortpijp en stortkist is met een graafmachine een proefsleuf gegraven richting de stortpijp. Er is tot onderzijde depot ontgraven. De ontgraven sleuf is in de lengterichting in 8 secties opgedeeld en per sectie zijn 2 foto's gemaakt van de laag opbouw. De sleuf die is ontgraven ligt in het midden van het vak tussen de Oostkade en de Westkade. In onderstaande schets is de indeling van de ontgraven secties schematisch weergeven.

Een overzicht van de laagopbouw is op de volgende pagina's gegeven d.m.v. een fotorapportage. De beschrijving start bij sectie 1 halverwege het vak en eindigt bij sectie 8, nabij de stortpijp.



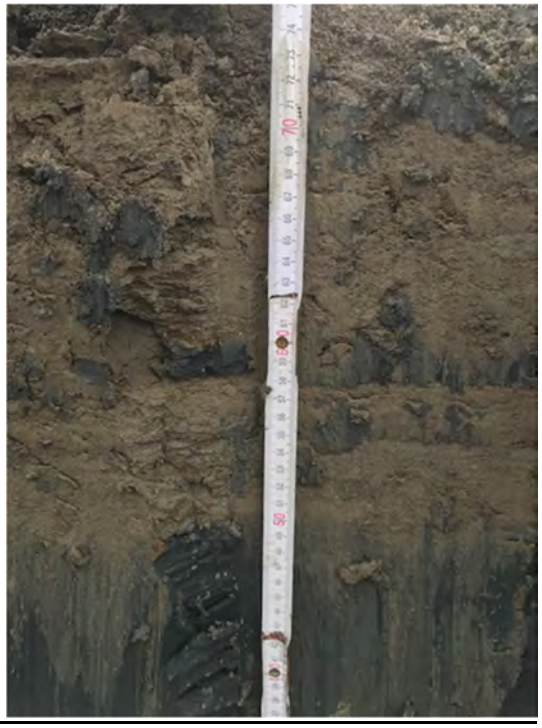
Vak K1

Sectie 1 (0-4 meter)

Sectie 2 (4-8 meter)

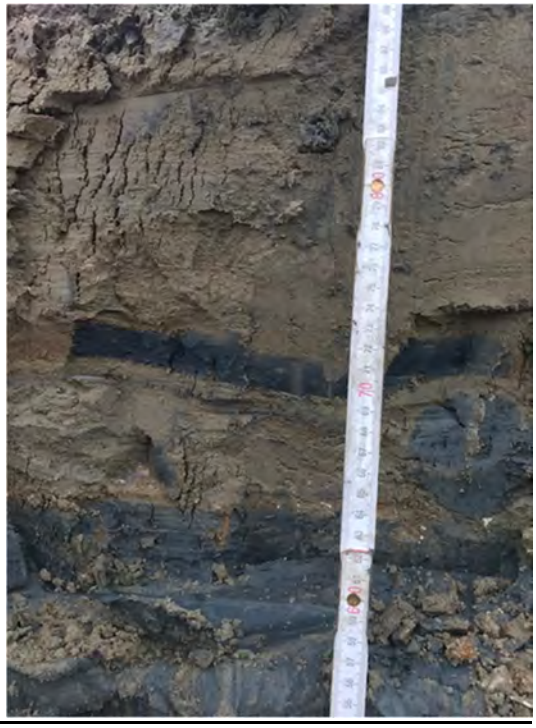
Sectie 3 (8-12 meter)

Sectie 4 (12-16 meter)

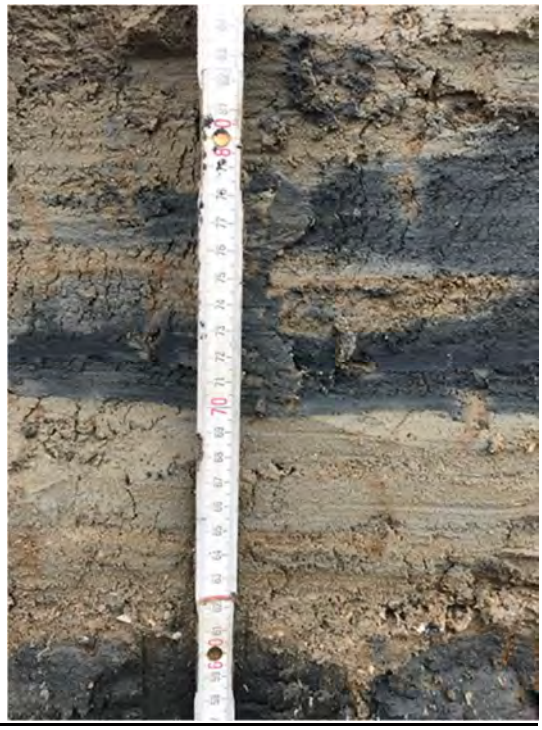


Sectie 5 (16-20 meter)

Sectie 6 (20-24 meter)



Sectie 7 (24-28 meter)



Sectie 8 (28-32 meter)

Totaaloverzicht proefsleuf vak K1

Boskalis
Environmental

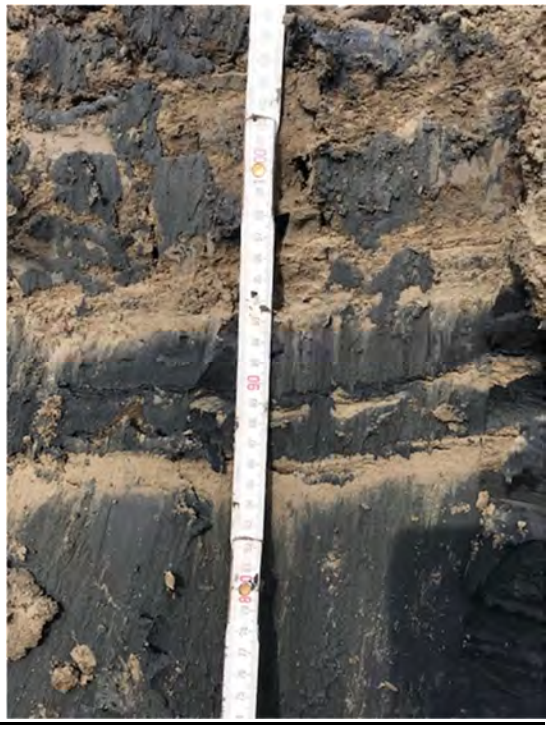
Vak K2

Sectie 1 (0-4 meter)

Sectie 2 (4-8 meter)

Sectie 3 (8-12 meter)

Sectie 4 (12-16 meter)



Sectie 5 (16-20 meter)

Sectie 6 (20-24 meter)

Sectie 7 (24-28 meter)

Sectie 8 (28-32 meter)

Totaaloverzicht proefsleuf vak K2

G Partijkeuringen

Kleirijperij Kwelder

		Partijkeuringen Kleirijperij Delftzijl - Fase 2 D2021-640-01 22-11-2021 2021190055			Partijkeuringen Kleirijperij Delftzijl - Fase 2 D2021-640-02 22-11-2021 2021190054			Partijkeuringen Kleirijperij Delftzijl - Fase 2 D2021-640-03 23-11-2021 2021190837			Partijkeuringen Kleirijperij Delftzijl - Fase 2 D2021-640-04 23-11-2021 2021190847			Partijkeuringen Kleirijperij Delftzijl - Fase 2 D2021-640-05 23-11-2021 2021190849			Partijkeuringen Kleirijperij Delftzijl - Fase 2 D2021-640-06 23-11-2021 2021190852		
Analyse	Eenheid	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem
Eindoordeel BBK (T1 en T3)			**Altijd toepasbaar Landbouw/ Natuur**	**Altijd toepasbaar OW en OWRW**		**Altijd toepasbaar Landbouw/ Natuur**	**Altijd toepasbaar OW en OWRW**		**Altijd toepasbaar Landbouw/ Natuur**	**Altijd toepasbaar OW en OWRW**		**Altijd toepasbaar Landbouw/ Natuur**	**Altijd toepasbaar OW en OWRW**		**Altijd toepasbaar Landbouw/ Natuur**	**Altijd toepasbaar OW en OWRW**		**Altijd toepasbaar Landbouw/ Natuur**	**Altijd toepasbaar OW en OWRW**
Eindoordeel Handelingskader PFAS (Categorie 4.1 en 4.8.2)																			
Eindoordeel Handelingskader PFAS (Categorie 4.7: verspreiden)				**Verspreidbaar**			**Verspreidbaar**			**Verspreidbaar**			**Verspreidbaar**			**Verspreidbaar**			**Verspreidbaar**
Bodemtype correctie																			
Organische stof		4.05			4.25			4.5			5.65			5			6.2		
Lutum		32			28.25			7.4			27.05			15.85			8.1		
Voorbehandeling																			
Hoeveelheid aangeleverd monster	kg																		
Massa percentage artefacten	% (m/m)																		
Cryogeen malen																			
Bodemkundige analyses																			
Droge stof	% (m/m)	59.55			58.4			64.8			54			65.15			60.6		
Organische stof	% (m/m) ds																		
Lutum	% (m/m) ds																		
Metalen																			
Arseen (As)	mg/kg ds	13.3	<= AW	<=AW	12.46	<= AW	<=AW	15.66	<= AW	<=AW	14.45	<= AW	<=AW	15.5	<= AW	<=AW	15.4	<= AW	<=AW
Barium (Ba)	mg/kg ds	41.2			42.66			83.12			43.64			59.51			90.25		
Cadmium (Cd)	mg/kg ds	0.2324	<= AW	<=AW	0.16	<= AW	<=AW	0.2017	<= AW	<=AW	0.1553	<= AW	<=AW	0.1784	<= AW	<=AW	0.1873	<= AW	<=AW
Chroom (Cr)	mg/kg ds	34.65	<= AW	<=AW	33.49	<= AW	<=AW	45.48	<= AW	<=AW	34.09	<= AW	<=AW	34.68	<= AW	<=AW	51.36	<= AW	<=AW
Kobalt (Co)	mg/kg ds	7.115	<= AW	<=AW	7.119	<= AW	<=AW	13.9	<= AW	<=AW	7.983	<= AW	<=AW	9.335	<= AW	<=AW	14.34	<= AW	<=AW
Koper (Cu)	mg/kg ds	10.31	<= AW	<=AW	9.004	<= AW	<=AW	11.49	<= AW	<=AW	11.42	<= AW	<=AW	11.22	<= AW	<=AW	13.13	<= AW	<=AW
Kwik, niet vluchtig (Hg)	mg/kg ds	0.1291	<= AW	<=AW	0.1103	<= AW	<=AW	0.1118	<= AW	<=AW	0.1352	<= AW	<=AW	0.161	Wonen	A	0.1649	Wonen	A
Nikkel (Ni)	mg/kg ds	20.44	<= AW	<=AW	20.35	<= AW	<=AW	34.14	<= AW	<=AW	22.18	<= AW	<=AW	24.95	<= AW	<=AW	35.79	Wonen	A
Molybdeen (Mo)	mg/kg ds	1.05	<= AW	<=AW	1.05	<= AW	<=AW	1.05	<= AW	<=AW	1.05	<= AW	<=AW	1.05	<= AW	<=AW	1.05	<= AW	<=AW
Lood (Pb)	mg/kg ds	28.64	<= AW	<=AW	25.81	<= AW	<=AW	26.01	<= AW	<=AW	30.31	<= AW	<=AW	30.52	<= AW	<=AW	33.05	<= AW	<=AW
Zink (Zn)	mg/kg ds	80.57	<= AW	<=AW	72.03	<= AW	<=AW	101.5	<= AW	<=AW	82.69	<= AW	<=AW	92.21	<= AW	<=AW	117.2	<= AW	<=AW
Minerale olie																			
Minerale olie (C10-C12)	mg/kg ds	8.707			9.015			8.373			6.234			7.292			5.651		
Minerale olie (C12-C16)	mg/kg ds	8.707			9.015			8.373			6.234			7.292			5.651		
Minerale olie (C16-C21)	mg/kg ds	8.707			9.015			8.373			6.234			7.292			5.651		
Minerale olie (C21-C30)	mg/kg ds	45.21			29.24			16.75			12.47			14.58			15.21		
Minerale olie (C30-C35)	mg/kg ds	38.88			24.55			9.864			9.349			9.125			9.948		
Minerale olie (C35-C40)	mg/kg ds	8.707			9.015			8.373			6.234			7.292			5.651		
Minerale olie totaal (C10-C40)	mg/kg ds	100.6	<= AW	<=AW	63.11	<= AW	<=AW	58.61	<= AW	<=AW	43.64	<= AW	<=AW	51.04	<= AW	<=AW	39.56	<= AW	<=AW
Organo chloorbestrijdingsmiddelen, OCB																			
alfa-HCH	mg/kg ds	0.0017	<= AW	<=AW	0.0018	<= AW	<=AW	0.0016	<= AW	<=AW	0.0012	<= AW	<=AW	0.0014	<= AW	<=AW	0.0011	<= AW	<=AW
beta-HCH	mg/kg ds	0.0017	<= AW	<=AW	0.0018	<= AW	<=AW	0.0016	<= AW	<=AW	0.0012	<= AW	<=AW	0.0014	<= AW	<=AW	0.0011	<= AW	<=AW
gamma-HCH	mg/kg ds	0.0017	<= AW	<=AW	0.0018	<= AW	<=AW	0.0016	<= AW	<=AW	0.0012	<= AW	<=AW	0.0014	<= AW	<=AW	0.0011	<= AW	<=AW
delta-HCH	mg/kg ds	0.0017			0.0018			0.0016			0.0012			0.0014			0.0011		
Hexachloorbenzeen	mg/kg ds	0.0017	<= AW	<=AW	0.0018	<= AW	<=AW	0.0016	<= AW	<=AW	0.0012	<= AW	<=AW	0.0014	<= AW	<=AW	0.0011	<= AW	<=AW
Heptachloor	mg/kg ds	0.0017	<= AW	<=AW	0.0018	<= AW	<=AW	0.0016	<= AW	<=AW	0.0012	<= AW	<=AW	0.0014	<= AW	<=AW	0.0011	<= AW	<=AW
Heptachloorepoxide(cis- of A)	mg/kg ds	0.0017			0.0018			0.0016			0.0012			0.0014			0.0011		
Heptachloorepoxide(trans- of B)	mg/kg ds	0.0017			0.0018			0.0016			0.0012			0.0014			0.0011		
Hexachloorbutadieen	mg/kg ds	0.0017	<= AW	<=AW	0.0018	<= AW	<=AW	0.0016	<= AW	<=AW	0.0012	<= AW	<=AW	0.0014	<= AW	<=AW	0.0011	<= AW	<=AW
Aldrin	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
Dieldrin	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
Endrin	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
Isodrin	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
Telodrin	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
alfa-Endosulfan	mg/kg ds	0.0017	<= AW	<=AW	0.0018	<= AW	<=AW	0.0016	<= AW	<=AW	0.0012	<= AW	<=AW	0.0014	<= AW	<=AW	0.0011	<= AW	<=AW
Endosulfansulfaat	mg/kg ds	0.0034			0.0036			0.0033			0.0024			0.0029			0.0022		
alfa-Chloordaan	mg/kg ds	0.0017			0.0018			0.0016			0.0012			0.0014			0.0011		
gamma-Chloordaan	mg/kg ds	0.0017			0.0018			0.0016			0.0012			0.0014			0.0011		
o,p'-DDT	mg/kg ds	0.0017			0.0018			0.0016			0.0012			0.0014			0.0011		
p,p'-DDT	mg/kg ds	0.0017			0.0018			0.0016			0.0012			0.0014			0.0011		
o,p'-DDE	mg/kg ds	0.0017			0.0018			0.0016			0.0012			0.0014			0.0011		
p,p'-DDE	mg/kg ds	0.0017			0.0023			0.0016			0.0012			0.0014			0.0011		
o,p'-DDD	mg/kg ds	0.0017			0.0018			0.0016			0.0012			0.0014			0.0011		
p,p'-DDD	mg/kg ds	0.0017			0.0018			0.0016			0.0012			0.0014			0.0011		
HCH (som) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0069		<=AW	0.0072		<=AW	0.0066		<=AW	0.0049		<=AW	0.0058		<=AW	0.0045		<=AW
Drins (som) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0052	<= AW	<=AW	0.0054	<= AW	<=AW	0.005	<= AW	<=AW	0.0037	<= AW	<=AW	0.0043	<= AW	<=AW	0.0033	<= AW	<=AW
Heptachloorepoxide (som) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0034	<= AW	<=AW	0.0036	<= AW	<=AW	0.0033	<= AW	<=AW	0.0024	<= AW	<=AW	0.0029	<= AW	<=AW	0.0022	<= AW	<=AW
DDD (som) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0034	<= AW		0.0036	<= AW		0.0033	<= AW		0.0024	<= AW		0.0029	<= AW		0.0022	<= AW	
DDE (som) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0034	<= AW		0.0041	<= AW		0.0033	<= AW		0.0024	<= AW		0.0029	<= AW		0.0022	<= AW	
DDT (som) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0034	<= AW		0.0036	<= AW		0.0033	<= AW		0.0024	<= AW		0.0029	<= AW		0.0022	<= AW	
DDX (som) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0104		<=AW	0.0113		<=AW	0.01		<=AW	0.0074		<=AW	0.0087		<=AW	0.0067		<=AW
Chloordaan (som) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0034	<= AW	<=AW	0.0036	<= AW	<=AW	0.0033	<= AW	<=AW	0.0024	<= AW	<=AW	0.0029	<= AW	<=AW	0.0022	<= AW	<=AW
OCB (som) LB (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0365	<= AW		0.0383	<= AW		0.0351	<= AW		0.0261	<= AW		0.0306	<= AW		0.0237	<= AW	
OCB (som) WB (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0417		<=AW	0.0437		<=AW	0.0401		<=AW	0.0299		<=AW	0.035		<=AW	0.0271		<=AW
Polychloorbifenylen, PCB																			
PCB 28	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
PCB 52	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
PCB 101	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
PCB 118	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
PCB 138	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
PCB 153	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
PCB 180	mg/kg ds	0.0017		<=AW	0.0018		<=AW	0.0016		<=AW	0.0012		<=AW	0.0014		<=AW	0.0011		<=AW
PCB (som 7) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0121	<= AW	<=AW	0.0126	<= AW	<=AW	0.0117	<= AW	<=AW	0.0087	<= AW	<=AW	0.0102	<= AW	<=AW	0.0079	<= AW	<=AW
PerFluorKoolwaterstoffen(PFC)																			
perfluorbutaanzuur (PFBA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluorpentaanzuur (PFPeA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluorhexaanzuur (PFHxA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluorheptaanzuur (PFHpA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluoroctaanzuur (PFOA) lineair	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.085	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluoroctaanzuur (PFOA) vertakt	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluornonaanzuur (PFNA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluordecaanzuur (PFDA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluorundecaanzuur (PFUnDA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluordodecaanzuur (PFDoA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluortridecaanzuur (PFTrDA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluortetradecaanzuur (PFTeDA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluorhexadecaanzuur (PFHxDA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluoroctadecaanzuur (PFODA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluorbutaansulfonzuur (PFBS)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluorpentaansulfonzuur (PFPeS)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluorheptaansulfonzuur (PFHpS)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluoroctaansulfonzuur (PFOS) lineair	µg/kg ds	0.4	<= AW	<= AW	0.085	<= AW	<= AW	0.085	<= AW	<= AW	0.2	<= AW	<= AW	0.35	<= AW	<= AW	0.15	<= AW	<= AW
perfluoroctaansulfonzuur (PFOS) vertakt	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
perfluordecaansulfonzuur (PFDS)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
4:2 fluortelomeer sulfonzuur (4:2 FTS)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
6:2 fluortelomeer sulfonzuur (6:2 FTS)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW

		Partijkeuringen Kleirijperij Delftzijl - Fase 2 D2021-640-01 22-11-2021 2021190055			Partijkeuringen Kleirijperij Delftzijl - Fase 2 D2021-640-02 22-11-2021 2021190054			Partijkeuringen Kleirijperij Delftzijl - Fase 2 D2021-640-03 23-11-2021 2021190837			Partijkeuringen Kleirijperij Delfzijl - Fase 2 D2021-640-04 23-11-2021 2021190847			Partijkeuringen Kleirijperij Delftzijl - Fase 2 D2021-640-05 23-11-2021 2021190849			Partijkeuringen Kleirijperij Delftzijl - Fase 2 D2021-640-06 23-11-2021 2021190852		
Analyse	Eenheid	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem	GSSD gem.	Oordeel Landbodem	Oordeel Waterbodem
8:2 fluortelomeer sulfonzuur (8:2 FTS)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
10:2 fluortelomeer sulfonzuur (10:2 FTS)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
N-methylperfluoroctaansulfonamideacetaat(MeFOSAA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
N-ethylperfluoroctaansulfonamideacetaat (EtFOSAA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.135	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.085	<= AW	<= AW
perfluoroctaansulfonamide (PFOSA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
N-methylperfluoroctaansulfonamide (MeFOSA)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
8:2 fluortelomeerfosfaatdiester (8:2 diPAP)	µg/kg ds	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW	0.07	<= AW	<= AW
som PFOA (*0,7)	µg/kg ds	0.14	<= AW	<= AW	0.14	<= AW	<= AW	0.14	<= AW	<= AW	0.14	<= AW	<= AW	0.155	<= AW	<= AW	0.14	<= AW	<= AW
som PFOS (*0,7)	µg/kg ds	0.47	<= AW	<= AW	0.155	<= AW	<= AW	0.155	<= AW	<= AW	0.27	<= AW	<= AW	0.42	<= AW	<= AW	0.22	<= AW	<= AW
Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen, PAK																			
Naftaleen	mg/kg ds	0.035			0.035			0.035			0.035			0.035			0.035		
Fenanthreen	mg/kg ds	0.035			0.035			0.035			0.035			0.035			0.035		
Anthraceen	mg/kg ds	0.035			0.035			0.035			0.035			0.035			0.035		
Fluorantheen	mg/kg ds	0.0515			0.035			0.035			0.035			0.035			0.035		
Benzo(a)anthraceen	mg/kg ds	0.035			0.035			0.035			0.035			0.035			0.035		
Chryseen	mg/kg ds	0.035			0.035			0.035			0.035			0.035			0.035		
Benzo(k)fluorantheen	mg/kg ds	0.035			0.035			0.035			0.035			0.035			0.035		
Benzo(a)pyreen	mg/kg ds	0.035			0.035			0.035			0.035			0.035			0.035		
Benzo(ghi)peryleen	mg/kg ds	0.035			0.035			0.035			0.035			0.035			0.035		
Indeno(123-cd)pyreen	mg/kg ds	0.035			0.035			0.035			0.035			0.035			0.035		
PAK VROM (10) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.3665	<= AW	<=AW	0.35	<= AW	<=AW	0.35	<= AW	<=AW	0.35	<= AW	<=AW	0.35	<= AW	<=AW	0.35	<= AW	<=AW
Fysisch-chemische bepalingen																			
Meettemperatuur (pH-CaCl2)	°C																		
Zuurgraad (pH-CaCl2)																			
Overige org.-verontreinigingen																			
Tributyltin (TBT)	mg/kg ds																		
Triphenyltin (TPhT)	mg/kg ds																		
Tributyltin (TBT) Sn	mg Sn/kg ds	0.0069	<= AW	<=AW	0.0072	<= AW	<=AW	0.0066	<= AW	<=AW	0.0049	<= AW	<=AW	0.0058	<= AW	<=AW	0.0045	<= AW	<=AW
Triphenyltin (TPhT) Sn	mg Sn/kg ds	0.0069			0.0072			0.0066			0.0049			0.0058			0.0045		
Organotin som Sn factor 0,7	mg Sn/kg ds	0.0375	<= AW	<=AW	0.0388	<= AW	<=AW	0.0361	<= AW	<=AW	0.0268	<= AW	<=AW	0.0314	<= AW	<=AW	0.0243	<= AW	<=AW
Organotin som (factor 0,7)	mg/kg ds																		
Legenda																			

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl