

# De Aanleg van een Proefdijk

Verslaggeving van uitvoeringsaspecten en verdichtingsmetingen van een Proefdijk bestaande uit gebiedseigen klei uit de Eems-Dollard t.b.v. Demonstratieproject Brede Groene Dijk van het Waterschap Hunze en Aa's.



## Auteurs:

Heuvel, M.J.M. van den (Marcel)

Boganen, J. (Joey)

Postma, T. (Tjibbe)

26 november 2020

## Inhoud

1.	Inleiding.....	3
2.	Onderzoek.....	6
2.1	Onderzoeksopzet .....	6
2.2	Doelstelling .....	8
3.	Achtergronden .....	9
3.1	Samenstelling van de vier partijen klei .....	9
3.1.1	Toelichting partijen klei.....	10
3.1.2	Resultaten uit de T <sub>0</sub> -meting van de vier partijen klei .....	11
3.1.3	Analyse methodes.....	15
3.2	Toelichting Atterbergse grenzen en consistentie index .....	15
3.3	Locatie .....	16
4.	Resultaten .....	20
4.1	Realisatie .....	20
4.2	Waarnemingen en bevindingen tijdens de aanleg van de Proefdijk .....	20
4.3	Verdichtingsmetingen .....	23
4.4	Verdere resultaten en waarnemingen.....	26
5.	Conclusie en aanbevelingen .....	30
5.1	Deelconclusies.....	30
5.2	Hoofdconclusie .....	31
5.3	Aanbevelingen voor Demonstratieproject BGD .....	32
	Bijlage A – Memo 1e concept, voorstel proefdijk Kleirijperij, H&A's .....	33
	Bijlage B – Werkplan Realisatie Proefdijk Kwelderlocatie .....	34
	Bijlage C – Partijkeuringen .....	35
	Bijlage D – Resultaten T <sub>0</sub> -meting 4 partijen klei .....	36
	Bijlage E – Verslag waarnemingen tijdens de aanleg van de Proefdijk .....	37
	Bijlage F – Dagrapportage Laboratoriumtesten.....	38
	Bijlage G – Rapportage verdichtingsmetingen.....	39
	Bijlage H – Foto verslag.....	40

## 1. Inleiding

Eén van de projecten binnen het innovatieprogramma ‘Nuttig Toepassen Slib’ van het Meerjarig Adaptief Programma Eems-Dollard 2050 (ED2050) is het Project Pilot Kleirijperij, waarbij in twee Kleirijperij depots klei wordt gemaakt uit marien slib met als doel om te onderzoeken of gerijpte klei op grote schaal kan worden toegepast en mogelijk bruikbaar is voor toekomstige dijkversterkingen.

Een ander Project dat in dit kader van belang is, is het demonstratieproject Brede Groene Dijk (BGD) van het Waterschap Hunze & Aa’s (H&A). Klei uit de Kleirijperij depots zal geleverd worden aan het Waterschap voor de aanleg van de BGD. Het Waterschap heeft een dijkversterkingsopgave en heeft de ambitie om de dijk te versterken met gebiedseigen materiaal. Het betreft een grasdijk, waarbij de combinatie gras en klei dient als bekleding van de kering, met een flauw talud dat goed past in de kwelderomgeving. Tevens levert de BGD hiermee een bijdrage aan het bredere plan en ambitie vanuit het programma ED2050: namelijk het onttrekken van slib uit de Eems-Dollard met als doel het verbeteren van de ecologische omstandigheden en dus de biodiversiteit.

Voor aanleg van de Brede Groene Dijk vindt het onderzoekstraject “Toepasbaarheid en voorspelbaarheid van lokaal gewonnen klei voor dijken” plaats. De belangrijkste vraag bij dit onderzoekstraject is: “Kan er met gerijpt materiaal van mariene oorsprong een veilige dijk worden gebouwd?”. De Proefdijk maakt onderdeel uit van dit onderzoekstraject, net als literatuur- en laboratoriumonderzoek.

Het uiteindelijke antwoord op de onderzoeksvraag zal gegeven worden na afloop van dit onderzoekstraject en evaluatie van demonstratieproject BGD (circa 1 km dijk gemaakt van gebiedseigen materiaal), die als voorloper kan dienen voor de gehele dijkversterking met een BGD (12 km dijk).

De toepassing van gebiedseigen materiaal (zoals klei gemaakt uit slib uit de Eems-Dollard, of het gebruik van kwelderklei) is de laatste jaren sterk onder de aandacht gekomen. Zo is binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma een Project Overstijgende Verkenning (POV) Dijkversterking met Gebiedseigen Grond (DGG) gestart. Bij toepassing van gebiedseigen materiaal werken de huidige eisen (onder andere de algemene klei eisen: organisch stofgehalte, zoutgehalte, kalkgehalte, klasse-indeling: erosieklasse 1 of 2, of de klei is “ongeschikt”) zoals die is beschreven in de TAW 1996, belemmerend. Door goed te kijken naar de functionele eisen van het materiaal in relatie met de erosiebestendigheid, en door in het ontwerp rekening te houden met de eigenschappen van beschikbare materialen kan met een breder spectrum aan grondtypen toch een goede en waterveilige dijk worden gebouwd. Een vereiste is wel dat meer kennis moet worden opgedaan over de eigenschappen van deze materialen en de vertaling daarvan naar een ontwerp.

De volgende stap in het kennis opdoen over deze gebiedseigen materialen is het onderzoeken of dit materiaal ook toe te passen en te verwerken is voor toekomstige dijkversterkingen. Hiervoor wordt een Proefdijk gerealiseerd met verschillende soorten klei. Dit onderzoek loopt parallel aan het Project Pilot Kleirijperij

De Proefdijk bestaat uit 4 segmenten met klei van verschillende locaties:

- Klei uit de Kleirijperij Delfzijl;
- Klei uit de Kleirijperij Kwelder;
- Klei uit de Klutenplas (huidige toepassing: ringdijk Kleirijperij Kwelder);
- Klei uit een depot bij Nieuw Statenzijl (referentieklei) .

Bij het realiseren van de Proefdijk zal worden gekeken naar de verwerkbaarheid van het materiaal en naar de juiste methode van verdichting in combinatie met het ophoogschema. Tijdens de aanleg van de Proefdijk vindt monitoring plaats, waarbij vooral gekeken zal worden naar de belangrijkste parameters voor deze verwerkbaarheid van klei, namelijk de te behalen verdichtingsgraad, het vochtgehalte en de consistentie index.

Na realisatie zal gedurende een periode van 1.5 jaar (twee stormseizoenen) visuele monitoring worden uitgevoerd door medewerkers van het waterschap. Bovendien zal door Van Oord / Boskalis regelmatig met een drone hoogtemetingen aan de Proefdijk worden uitgevoerd. Na afloop van deze periode zal bovendien een nieuwe bemonsteringsronde plaatsvinden op het materiaal uit de vier segmenten en worden beproefd in het laboratorium. Tevens zal de gestructureerdheid van het materiaal worden onderzocht door middel van het maken van proefkuilen. Deze onderzoeken aan de Proefdijk na realisatie vallen buiten de scope van dit rapport en zullen in een andere rapportage (H&A, Deltares) worden uitgewerkt. Dit rapport beschrijft de aanleg van de Proefdijk en de karakterisatie van het bronmateriaal. Dit rapport zal daarmee dienen als input voor het vervolgonderzoek.

De veiligheid van de dijk hangt af van de erosiebestendigheid van het materiaal. Hierbij heeft de verdichting van het materiaal een grote invloed op de erosiebestendigheid (sterk verdicht materiaal heeft een hoge cohesie). Sterk verdicht materiaal, bij een juist vochtgehalte, vertoont op termijn minder scheurvorming.

Het vochtgehalte van de klei heeft invloed op de mogelijkheid om het materiaal te verdichten:

- Veiligheid van de dijk is afhankelijk van erosiebestendigheid;
- De erosiebestendigheid is afhankelijk van verdichtingsgraad;
- De verdichtingsgraad is sterk afhankelijk van vochtgehalte (consistentie-index).

Met de realisatie van de Proefdijk wordt ervaring opgedaan met het verwerken van “te zoute” klei en klei met een “te hoog organisch stofgehalte”, die -gezien het moment van toepassing- ook nog eens vaak “te nat” is. De waterveiligheid bij deze test is niet relevant, aangezien de Proefdijk geen deel uit maakt van een waterkering. De uiteindelijke toepassingstest (inclusief het lange termijngedrag) zal plaatsvinden binnen het HWBP KIA onderzoekstraject en het demonstratieproject Brede Groene Dijk, waarvoor een deel van de Dollard-dijk wordt versterkt met klei uit de beide Kleirijperij depots en met materiaal afkomstig uit de Kwelder.

*Tabel 1 – Overzicht en doelstellingen van de diverse projecten*

<i>Project</i>	<i>Periode</i>	<i>Doelstelling</i>
Pilot Project Kleirijperij	2018 – 2022	Omzetten van marien slib in dijkklei
Toepasbaarheid en voorspelbaarheid lokaal gewonnen klei voor dijken	2020 - 2022	Aantonen van de verwerkbaarheid en de erosiebestendigheid van gerijpte gebiedseigen klei door veld- en laboratoriumproeven en desk studies. De Proefdijk is Fase 1 van dit traject, met als specifiek doel het aantonen van de verwerkbaarheid van gedeeltelijk gerijpte klei. Na goedkeuring zullen Fase 2 en Fase 3 ook worden uitgevoerd.
Demonstratieproject BGD	2022 – 2025	Bouwen van een brede groene demonstratiedijk met gebiedseigen materiaal
Dijkversterking BGD	2025 - 2035	Dijkversterking / waterveiligheidsdoelstelling 2050



Alle werkzaamheden omtrent de aanleg van de Proefdijk zijn uitgevoerd door Boskalis en Van Oord. Deze werkzaamheden omvatten:

- Voorbereidende werkzaamheden;
- Bepaling uitgangspareters ( $T_0$ -meting);
- Aanvoer van 4 partijen klei;
- Aanleg en verdichten Proefdijk;
- Monstername en verdichtingscontrole tijdens aanleg;
- Aanvullende laboratoriumtesten;
- Rapportage.

De werkzaamheden en bevindingen zijn inhoudelijk besproken met de experts van Deltares en het Waterschap Hunze & Aa's voorafgaand, tijdens en na afloop van de aanleg van de Proefdijk.



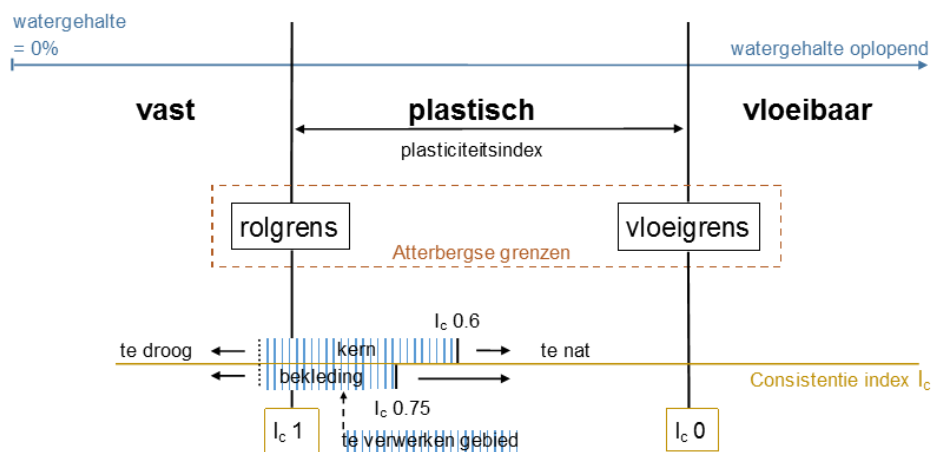
## 2. Onderzoek

Het primaire doel van de Proefdijk is het testen van de verwerkbaarheid, ophoog- en verdichtingsmethode van uit marien slib (gebiedseigen materiaal) gemaakte klei, alsmede de monitoring van het gedrag (onder anderen zetting, scheurvorming, afslag na storm) gedurende 1.5 jaar. Deze rapportage beschrijft de resultaten van de realisatiefase en dient daarom ter vastlegging van de gegevens over de aanlegfase en ter beantwoording van onderzoeksvragen over de mate waarin het materiaal verwerkt kan worden in de dijk.

### 2.1 Onderzoeksopzet

Klei op basis van marien slib heeft -indien ontzouting en verwijdering van organische stof onvolledig is- andere eigenschappen dan klei die regulier in civiele werken wordt toegepast. Dat geldt voor de drie kleien die worden voorgesteld voor gebruik in de Brede Groene Dijk: de Klutenplasklei (die immers bestaat uit natuurlijk aangeslibde kwelderbodern) en de klei uit beide Kleirijperij depots (waar marien slib als basis diende). Buiten de verhoogde gehalten aan zout en organische stof is het watervasthoudend vermogen van deze kleien veel hoger. Waar een "normale" klei met een watergehalte van 100% zich als een vloeistof gedraagt (en dus niet verwerkbaar is), vertonen kleien uit marien slib nog steeds plastisch gedrag. Dit komt (onder andere) doordat organische stof het watervasthoudend vermogen vergroot.

Ook voor kleien van niet-mariene oorsprong, zit er een groot verschil in het watervasthoudend vermogen, onder anderen door de verschillende mineralen waaruit klei kan zijn opgebouwd zoals illiet, smectiet en montmorilloniet. Een algemeen geldende minimale of maximale watergehalte-eis kan dus niet worden vastgesteld. Daarom wordt gebruik gemaakt van de consistentie-index ( $I_c$ ). Deze index is 0 bij het watergehalte waarbij de klei zich als vloeistof gedraagt (vloeigrens) en 1 bij het watergehalte waar de klei begint te verbrokkelen (rolgrens). Tijdens het rijpen van de klei neemt het watergehalte af en daarmee neemt de consistentie-index toe. De relatie tussen watergehalte, en de consistentie-index is weergegeven in Figuur 1. In Hoofdstuk 3.2 (Toelichting Atterbergse grenzen en consistentie-index), wordt dieper ingegaan op deze termen.



Figuur 1 – Consistentie index geplot t.o.v. Atterbergse grenzen

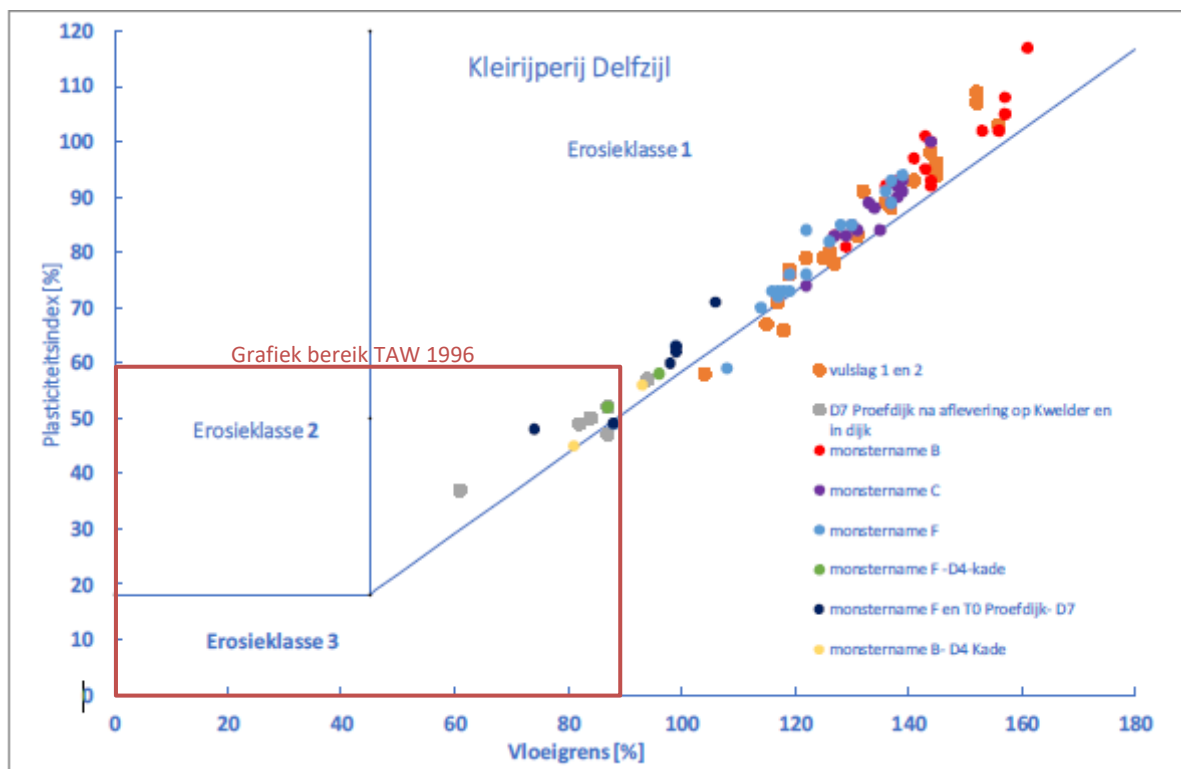
De eisen die worden gesteld aan de verwerkbaarheid zijn gebaseerd op de consistentie-index en hebben als doel om na aanleg te voorkomen dat scheurvorming ontstaat. In een dijk zal uiteindelijk een waterevenwicht ontstaan tussen de dijk zelf en de omgeving. Als het watergehalte te hoog is, zal veel water uittreden wat leidt tot een eenmalige krimp, hetgeen met vorming van grote scheuren

gepaard gaat. In de eisen voor dijkklei (Technisch Rapport Klei voor Dijken, TR17, mei 1996 – TAW 1996) worden twee normen genoemd:  $I_c > 0.6$  voor de kern en  $I_c > 0.75$  voor de bekleding (TAW 1996, pagina 16).

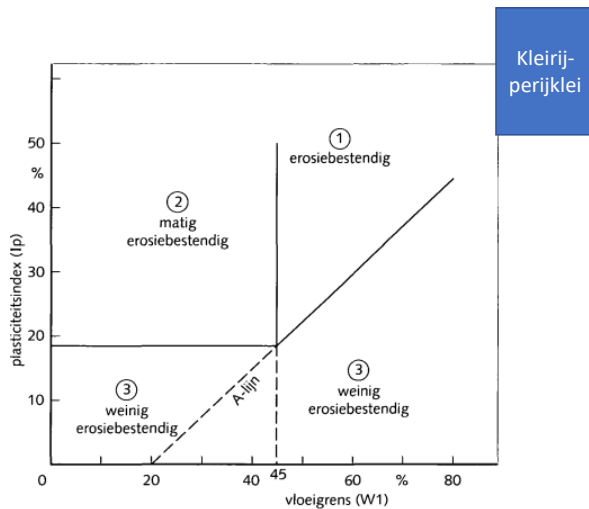
Om te zorgen dat een voldoende hoge dichtheid gehaald kan worden met de toe te passen klei, is het van belang dat tijdens de verwerking de klei niet een te hoog watergehalte heeft. Bij een te hoog watergehalte zal de klei tijdens het compacteren of aantrillen wegpersen, en wordt dus geen hogere dichtheid behaald. Voor deze ‘mogelijkheid tot verwerking’ is geen eis vastgesteld, maar indien de consistentie-index als toetsing kan worden gebruikt, zal het watergehalte lager zijn dan het watergehalte behorend bij de  $I_c 0.6$  eis die wordt benoemd in TAW 1996.

*Opmerking: De consistentie index zegt derhalve niet iets over de mogelijkheid tot verwerking van de klei, maar iets over het vochtgehalte dat de klei moet hebben tijdens verwerking vanwege de langetermijneffecten.*

Gelden de bovengenoemde verwerkbaarheidseisen ook voor klei gemaakt van marien slib? Dat kan niet zonder meer aangenomen worden. De TAW 1996 is immers opgesteld met laag organische kleien in gedachten, die een veel lagere vloeigrens hebben. Ter illustratie is hieronder de figuur voor erosiebestendigheid weergegeven op basis van plasticiteitsindex (PI, het verschil tussen vloeigrens en rolgrens) en de vloeigrens. Als daarin de Kleirijperij-klei parameters worden ingevuld liggen die buiten de grenzen van de figuur.



Figuur 2a – Data monitoring Kleirijperij Delfzijl



Figuur 2b – BRON: TAW 1996 Erosiebestendigheid uitgezet in het plasticiteitsdiagram, met de locatie van meetgegevens over de kleirijperij (buiten het grafiekbereik) toegevoegd.

In de Proefdijk wordt daarom voor deze bijzondere kleien gekeken of de consistentie-index ook voor kleien gemaakt uit marien slib geschikt is. Omdat de consistentie-index eis wel een relatie heeft met verdichtbaarheid en met het behalen van een evenichtswaterspanning vindt de beoordeling plaats op twee momenten: de verwerkbaarheid ten behoeve van het halen van de dichtheid wordt tijdens de aanleg beproefd, terwijl de verwerkbaarheid ten behoeve van het bereiken van een goed watergehalte evenwicht pas kan worden beproefd enkele jaren na aanleg (bijvoorbeeld door middel van het maken van profielkuilen, of herhaalde monsternamen). In deze rapportage (binnen 1 maand na aanleg) wordt alleen de verwerkbaarheid met betrekking tot het behalen van de dichtheid beoordeeld en de mate waarin met de conventionele methoden de dijk kan worden aangelegd.

De hypothese voor de verwerkbaarheid in de aanlegfase is, dat de reguliere minimumwaarde voor de consistentie-index van 0.6 ook bij kleien van marien slib van toepassing is.

De hoofdparameters voor de monitoring zijn dan ook de te behalen dichtheid en het watergehalte van de klei, in combinatie met de Atterbergse grenzen. Deze worden vooraf ( $T_0$ ), en in het werk gemonitord. Bovendien wordt gebruik gemaakt van de ervaringen tijdens de uitvoering en gekeken of er factoren zijn die de aanlegduur bij de toepassing van dit type kleien verkorten of verlengen. Daartoe wordt ook gebruik gemaakt van een regulier toegepaste klei (afkomstig uit Nieuw Statenzijl, gewonnen in binnendijks zoet water milieu) die dient als referentie.

## 2.2 Doelstelling

Het doel van de realisatie van de Proefdijk is onderzoeken (door een combinatie van laboratoriumanalyses en visuele waarnemingen) of het materiaal dat vrijkomt uit de beide Kleirijperij depots en de Kwelderbodem (van uit marien slib gemaakte klei), te verwerken en verdichten is conform de conventionele technieken en of normale grenzen wat betreft consistentie-index voor deze kleien ook van toepassing zijn. Dit in vergelijking met de verwerkbaarheid van klei die voldoet aan de huidige eisen die worden gehanteerd bij toepassing klei als dijkenklei.

Het tweede doel van de realisatie is de rapportage van de situatie tijdens de aanleg, zodat die kunnen worden verwerkt bij de analyse gedurende de komende 1.5 jaar dat de proefdijk er ligt.



### 3. Achtergronden

In dit hoofdstuk wordt de achtergrond van de realisatie van de Proefdijk beschreven. In paragraaf 3.1 worden de te gebruiken kleistromen besproken. In paragraaf 3.2 wordt toelichting gegeven op de Atterbergse grenzen en consistentie Index. In paragraaf 3.3 wordt de locatie van de Proefdijk en het ontwerp met de dimensies van de Proefdijk besproken.

#### 3.1 Samenstelling van de vier partijen klei

Het demonstratieproject BGD zal gebruik maken van drie bronnen van klei. Om de verwerkbaarheid te testen worden deze drie partijen verwerkt in de Proefdijk. Tevens wordt 1 partij als referentieklei toegepast. De referentie klei betreft klei die aan alle reguliere dijkkenlei eisen voldoet zoals vermeld in de TAW 1996 en is afkomstig uit het depot van H&A in Nieuwe-Statenzijl. Bij de overige partijen zijn enkele parameters (met name het organisch stof- en zoutgehalte) verhoogd ten aanzien van de geldende eisen. Deze vier partijen klei zijn toegepast in de vier segmenten van de Proefdijk.

Een overzicht van de toegepaste partijen klei is opgenomen in Tabel 2. Ze worden hieronder verder beschreven.

Tabel 2: In de Proefdijk verwerkte klei-typen.

Partij	Naam	Bron	Verwerkingsdatum bronlocatie	Oorspronkelijke bron
Partij 1	NSZ-klei (referentie)	Depot Nieuw Statenzijl	2015	Westerwoldse Aa (verbreding)
Partij 2	Kleirijperij Delfzijl	Kleirijperij Delfzijl (D7)	2018	Havenkanaal Delfzijl
Partij 3	Kleirijperij Kwelder	Kleirijperij Kwelder (K1 en K2)	2020	Polder Breebaart
Partij 4	Klutenplasklei	Ontgraving waterpartij rond Klutenplas	2018	Kwelder (uitgraven klutenplas)

Opmerking: Op de partijen klei die over de openbare weg zijn getransporteerd zit een geldige milieuhygiënische verklaring (partijkeuring). De resultaten van deze keuringen zijn bijgevoegd in Bijlage C.

Om de vier partijen klei goed te kunnen classificeren, is er een nulmeting ( $T_0$ -meting) uitgevoerd. Op 6 augustus zijn de vier partijen bemonsterd voor deze  $T_0$ -meting. De kleimonsters zijn vervolgens beproefd in het laboratorium. De resultaten van de  $T_0$ -meting zijn bijgevoegd in Bijlage D. Er zijn na het uitvoeren van de  $T_0$  nog een aantal uitgangspunten gewijzigd. Hierdoor is nog een aanvullende  $T_0$  uitgevoerd op 7 september. Een toelichting op de partijen alsook een samenvatting van de resultaten zijn hieronder weergegeven. In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de analyse resultaten.

### 3.1.1 Toelichting partijen klei

#### Partij 1 – Klei uit depot Nieuw Statenzijl – referentie klei (NSZ-klei)

De klei komt uit een kleidepot gelegen in Nieuwe Statenzijl en deze dient als referentie. Deze klei, vrijgekomen bij de verbreding van de Westervoldse Aa, is beschikbaar gesteld door H&A's en voldoet aan alle eisen die zijn gesteld aan dijkklei. Deze klei heeft ruim 5 jaar in depot gelegen.

#### Partij 2 – Klei uit het Delfzijldepot van de Kleirijperij (Kleirijperij Delfzijl)

De klei uit Kleirijperij Delfzijl is gelegen aan de Valgenweg Oost en heeft zijn oorsprong als onderhouds-slib uit de Haven van Delfzijl. In april en juni 2018 is onderhoudsbaggerslib uit de haven van Delfzijl verwijderd en in het Delfzijl depot van de Kleirijperij gebracht. Het slib is van oorsprong zeer homogeen en bevat nagenoeg geen zand. Tijdens het vullen van de proefvakken heeft er geen 'ontmenging' plaatsgevonden.

Het kleidepot is verdeeld in 15 vakken (D1 tot en met D15) waar in totaal zo'n 200,000 m<sup>3</sup> slib is gebracht. De in-situ dichtheid in de in de depots was rond de 1.20 t/m<sup>3</sup> (T<sub>0</sub>-meting Kleirijperij Delfzijl). Voor de Proefdijk is de klei uit vak D7 gebruikt. De laagdikte van het slib direct na inbrengen was circa 92 cm, en was daarmee het vak met de laagste laagdikte. In november 2018 is deze klei voor de eerste keer omgezet en op ruggen geplaatst. Door de kleinere laagdikte is deze klei sneller gerijpt en liep daarmee vooruit op de andere vakken. Deze klei van vak D7 is nogmaals omgezet in 2019 en 2020.

Tijdens de T<sub>0</sub>-meting van 6 augustus is de monstername uitgevoerd op de ruggen in vak D7 voorafgaand aan transport naar de Kwelder locatie. Er is een mengmonster samengesteld over de diepte, korst materiaal en de kern van de rug. Uit de analyseresultaten en bevindingen in het veld bleek de kern van de rug nog erg nat. De resultaten hiervan staan weergegeven in Tabel 3. Er is besloten enkele de korst van de ruggen te gebruiken voor de realisatie van de Proefdijk. Er is een tweede T<sub>0</sub> uitgevoerd op 7 september 2020 op het aangevoerde materiaal (Kleirijperij Delfzijl) naar de Kwelder locatie. Bij deze meting is enkel gekeken naar de consistentie-index voor start werkzaamheden. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 4.

#### Partij 3 – Klei uit het Kwelderdepot van de Kleirijperij (Kleirijperij Kwelder)

De klei uit het Kwelderdepot van de Kleirijperij vindt zijn oorsprong als onderhouds-slib en waterbodembodem uit het natuurgebied van de Polder Breebaart (getijde bekken). In de winter van 2019 / 2020 is tijdens een incidentele baggercampagne het gebaggerde slib verpompt van Polder Breebaart over een afstand van zo'n 8 km naar het Kwelderdepot van de Kleirijperij. In vergelijking met het havenslib van Delfzijl is het slib van deze locatie meer heterogeen en heeft gemiddeld gezien ook een hoger zandgehalte. Door het verpompen met een lage dichtheid (< 1.10 t/m<sup>3</sup>) heeft er bij het vullen van het depot, ontmenging plaats gevonden. De zandfractie is vooral bij de inlaat terecht gekomen, terwijl het slib en daarmee de fijnere delen (onder andere lutum en organische delen) meer richting de stortkist zijn bezonken. Ook is er laagsgewijs gevuld waarbij steeds het materiaal moest bezinken en perswater afgelaten moest worden door de stortkisten voordat een nieuwe laag aangebracht kon worden. Door de heterogeniteit van de ondergrond in Polder Breebaart heeft ook niet iedere laag dezelfde samenstelling. Hierdoor zijn er in alle vakken zowel lateraal als verticaal (geringe) verschillen in samenstelling van het materiaal.

Het Kwelderdepot is verdeeld in 10 vakken (K1 tot en met K10). Voor de Proefdijk is materiaal gebruikt uit de vakken K1 en K2. Hiervoor is enkel vanaf de inlaat gezien de tweede helft van het depot gebruikt (zijde stortkist). Vanwege de visuele hoge zandfractie van het depot aan de inlaatzijde, ten tijde van de aanleg van de Proefdijk, is dit deel van het depot vermeden.

De gedachte was aanvankelijk om een deel van het materiaal in de vakken K1 en K2 te laten drogen door het materiaal een aantal keer om te zetten. Dit had mede door het natte weer eind augustus, begin september onvoldoende effect waardoor deze klei bij aanvang van de realisatie van de Proefdijk nog een te hoog vochtgehalte had om te kunnen verwerken. Tijdens de uitvoering is daarom besloten om alleen de korst van deze ruggen te gebruiken en daarnaast de korst te gebruiken van het niet omgezette materiaal. Uiteindelijk zijn beide helften (stortkistzijde) van vakken K1 en K2 ontdaan van de droge top laag / korst en verwerkt in de Proefdijk.

Uit de  $T_0$ -meting blijkt dat de consistentie index van deze klei ( $I_c$  0.12), nog veel te laag is voor verwerking in de Proefdijk (standaard eis TAW 1996 is  $I_c$  0.6). Op 7 september heeft een nieuwe bemonstering plaatsgevonden op de korst van de niet-omgezette klei in de vakken K1 en K2 en is op dit materiaal een nieuwe meting uitgevoerd. Het gemiddelde van deze (vier) metingen komt uit op  $I_c$  0.53 (spreiding tussen  $I_c$  0.31 en  $I_c$  0.79). Deze gemiddelde meting (tweede  $T_0$ -meting) vangt hiermee de resultaten van de eerdere meetronde en is ook als zodanig weergegeven in Tabel 2. Zowel de heterogeniteit als drooglocatie en duur kunnen een verklaring geven voor deze spreiding. De dermate lage  $I_c$ -waarden die nu worden aangetroffen, in vergelijking met de overige partijen, hebben met name te maken met de beperkte rijpingstijd die deze kleirijperij locatie heeft gehad (vulling winter 2019/2020 en  $T_0$ -meting augustus/september 2020)

#### **Partij 4 – Klei uit de Klutenplas (huidige toepassing: ringdijk Kleirijperij Kwelder / Klutenplas)**

In de maanden april en mei van 2018 is door een aannemer van H&A de Klutenplas aangelegd op de kwelder. Hierbij is een eiland op de kwelder gerealiseerd, waarbij rond het eiland een waterpartij is gegraven. Bij deze ontgraving is klei vrijgekomen. De klei uit de Klutenplas is te drogen gelegd op het beoogde terrein van het Kwelderdepot van de Kleirijperij. Het doel was om deze klei kort te laten drogen en vervolgens te gebruiken om de perskades aan te leggen voor de Kleirijperij Kwelder. In de maanden september en oktober van 2018 is met deze klei de buitenste ringdijk van het depot aangelegd.

Voor de kleistroom naar de Proefdijk is het stuk ringdijk aan de zeezijde van vak K1 ontgraven en getransporteerd naar de locatie van de Proefdijk. Deze klei vertoont visueel nog wat blauwzwarte kluiten (door het verwerkingsproces is -niet gerijpte- klei ingesloten. Hierdoor heeft geen verdere rijping meer plaats kunnen vinden).

#### **3.1.2 Resultaten uit de $T_0$ -meting van de vier partijen klei**

In onderhavige alinea zal een samenvatting worden gegeven van de resultaten van de  $T_0$ -meting op de vier partijen klei. Daarnaast zal een toelichting worden gegeven op de aangetroffen waarden en verschillen tussen de partijen onderling. Zoals in Alinea 3.1.1. aangegeven zijn er twee momenten geweest waarop de  $T_0$ -meting is uitgevoerd. De eerste meting op alle vier partijen is uitgevoerd op 6 augustus, deze resultaten staan weergegeven in Tabel 3. Er is een aanvullende meting uitgevoerd op de partijen uit het Delfzijldepot en het Kwelderdepot enkel kijkend naar de vochtgehalten en Atterbergse grenzen op 7 september. De resultaten van de tweede  $T_0$ -meting staan weergegeven in Tabel 4. In zowel Tabel 3 als Tabel 4 zijn per parameter de gemiddelde waarde met daaronder de spreiding aangegeven. Het gemiddelde geeft globaal de ingangsparementen aan, de bandbreedte zegt iets over de homogeniteit van de partijen. In onderstaande toelichting zal de meeste aandacht worden gegeven aan de verschillen tussen de klei uit het Delfzijldepot, Kwelderdepot en Klutenplas. De referentie klei is een afwijkende stroom en is aangevoerd op basis van dat deze reeds geschikt is als toepassing voor dijkenklei.

Tabel 3 – Samenvatting eigenschappen klei  $T_0$ -meting van de vier partijen klei (6 augustus)

Parameters	Eenheid	Partij 1: NSZ-klei	Partij 2: Kleirijperij Delfzijl	Partij 3: Kleirijperij Kwelder	Partij 4: Klutenplas	TAW 1996
Watergehalte	[%]	34.1 (32.4 -38.6)	59.4 (41.1 -73.5)	101.5 (95.1-113.1)	48.8 (48-50.2)	
Droge stof	[%]	74.6 (72.1-75.5)	61.6 (57.9-70.9)	49.7 (46.9-51.3)	67.2 (66.6-67.8)	
Situ dichtheid ( $\rho_{\text{situ}}$ )	[t/m <sup>3</sup> ]	1.82 (1.76-1.85)	1.61 (1.55-1.67)	1.46 (1.40-1.54)	1.65- (1.62-1.67)	
Max. droge dichtheid - 5- puntsproctor	[t/m <sup>3</sup> ]	1.35	1.17	1.17	1.13	
Lutumgehalte	[%]	33.9 (31.3-38.3)	27.8 (26.9-28.8)	37.6 (33.1-41)	32.9 (30.3-36.2)	
Zandgehalte	[%]	3.3 (2-5)	11.8 (7-25)	2 (1-3)	5.5 (5-7)	<40
Specifiek Korrelgewicht	kN/m <sup>3</sup>	26.1 (26.0-26.1)	25.3 (25.2-25.3)	25.4 (25.2-25.4)	25.3 (25.3-25.3)	
Kalkgehalte	[%]	13 (9.5-19.8)	14.7 (9.8-22.4)	15.1 (12.8-17.8)	17 (15.7-21.6)	<25
Gehalte organische stof	[%]	4.5 (4.4-4.7)	10.9 (9.4-11.7)	11.1 (10.1-12.3)	7.6 (7.3-7.9)	<5
Zoutgehalte	g/l bodenvocht	0.2 (0.1-0.2)	15 (13.4-20)	10.9 (9.1-11.8)	17 (16.4-17.4)	<4
Vloeigrens (LL)	[%]	63 (58-68)	94 (74-106)	110 (105-117)	87 (85-88)	
Rolgrens (PL)	[%]	24 (23-26)	34 (26-37)	36 (33-38)	35 (29-38)	
Plasticiteitsindex (PI)	[%]	39 (32-42)	64 (48-71)	74 (70-82)	52 (48-59)	
Consistentie index ( $I_c$ )	[-]	0.76 (0.63-0.84)	0.52 (0.41-0.69)	0.13 (0-0.14)	0.74 (0.64-0.79)	>0.6

De rode getallen geven aan dat deze waarden niet voldoen aan de eisen gesteld in de TAW 1996



Tabel 4 – Samenvatting eigenschappen klei aanvullende  $T_0$ -meting van 2 partijen klei (7 september)

Parameters	Eenheid	Partij 2: Kleirijperij Delfzijl na transport	Partij 3: Kleirijperij Kwelder toplaag	TAW 1996
Watergehalte	[%]	59.3 (55.2-60.7)	55.3 (41.7 -60)	
Droge stof	[%]	62.8 (62-64.4)	64.9 (55.7-70.6)	
Vloeigrens (LL)	[%]	87 (94-82)	79 (62-98)	
Rolgrens (PL)	[%]	36 (33-40)	33 (26-38)	
Plasticiteitsindex (PI)	[%]	52 (49-57)	46 (36-60)	
Consistentie index ( $I_c$ )	-	0.55 (0.51-0.58)	0.53 (0.31-0.79)	>0.6

#### Watergehalte, Droge stof en consistentie index

Nieuw Statenzijl en Klutenplas: In bovenstaande tabellen is te zien dat de klei van zowel de Klutenplas als de referentieklei voldoen aan de gestelde eis voor de consistentie-index. Bij deze klei vallen alle gemeten waarden boven de gestelde eis van  $I_c > 0.6$ . Beide stromen hebben langere tijd in depot gelegen. De stroom Klutenplas klei is gebruikt als ringdijk en is bij verwerken verdicht. Hierdoor is de klei minder afhankelijk van fluctuaties door externe (weers)omstandigheden. Doordat de klei in de ringdijk relatief droog ( $I_c > 0.6$ ) is verwerkt, is deze in de tijd ook droog gebleven. Dit verklaart ook de smalle bandbreedte bij de resultaten, de Klutenplas klei is derhalve homogeen wat betreft het vochtgehalte.

Kleirijperij Kwelder: In eerste instantie was de klei uit Kleirijperij Kwelder veel te nat ( $I_c < 0.2$ ). Monsternamen heeft plaatsgevonden over het gehele pakket, dus korst + onderlaag. Na de tweede meting op de korst geven de resultaten een hogere  $I_c$ -waarde die meer de  $I_c 0.6$  benaderen, al wordt de eis (net) niet behaald. Doordat de analyses 1 week voor aanvang van de werkzaamheden zijn uitgevoerd en de weersomstandigheden optimaal waren mag worden verwacht dat deze waarden tijdens uitvoering dichterbij de gestelde eis zijn komen te liggen.

Er zitten veel fluctuaties in vochtgehaltes, dit heeft onder andere te maken met het feit dat de klei nog in het rijpingsproces zit. Blootstelling aan zon en wind zorgt voor een drogere en iets meer gerijpte korst met daaronder weer een wat natter deel. Doordat de bovenste laag deels wel en deels niet is gedroogd/gerijpt is deze laag niet homogeen qua vochtgehaltes.

De wisselingen in vochtgehaltes zijn ook te verklaren door de locaties van monsternamen. Er zijn vier monsters genomen. Toplaag van de vakken K1 en K2 (beide 1 monster) en de toplaag van de reeds op ruggen gezette klei uit K1 en K2 (beide 1 monster). Al deze resultaten bundelen, geeft een iets vertekend beeld, aangezien de klei niet in dezelfde verhouding zal worden verwerkt in de proefdijk. Het grootste deel zal worden gebruikt uit de drogere toplaag van K1 en deels de toplaag van K2. De nattere toplaag van de ruggen zal minimaal worden toegepast. De uiteindelijke aanvoer zal dus meer homogeen zijn.

Kleirijperij Delfzijl: De fluctuaties in vochtgehalte komen overeen met die van de Kwelderdepot. In eerste instantie is het gehele pakket bemonsterd, hier zijn grotere fluctuaties in vochtgehalte aanwezig. De gewenste  $I_c$ -waarde wordt net niet behaald. Na transport van enkel de korst van het depot (visueel ontgraven) is de klei nogmaals bemonsterd. De  $I_c$ -waarde is iets verbeterd maar er is zeker een verbetering in de bandbreedte van de waarden, de stroom is meer homogeen. Na nogmaals ontgraven uit depot en verwerken zal de homogeniteit alleen nog maar toenemen.

### **Dichtheden in-situ en maximale proctor dichtheid**

De verschillen in in-situ dichtheden tussen de klei uit de Klutenplas, Kwelderdepot en Delfzijldepot zijn te verklaren door een verschil in vochtgehalte, samenstelling (organische stof, zand, lutum) maar ook de wijze van depotvorming. Het grootste verschil tussen de stroom uit de Klutenplas ten opzichte van de klei uit beide Kleirijperij depots, is dat deze stroom al eerder is verdicht/bewerkt en hierdoor de klei meer samengepakt is en dus een hogere in-situ dichtheid ten opzichte van meer “los” gestorte klei van het Kleirijperij depots. In de bandbreedte is nog te zien dat door het verdichten van de klei in de ringdijk de dichtheden nog iets hoger zijn dan de die van het Kleirijperij Delfzijl. De maximale proctor dichtheden van de drie stromen liggen redelijk dicht bij elkaar, dit heeft te maken met dezelfde oorsprong (marien slib) van de drie stromen. Kleine verschillen ontstaan door verschil in samenstelling en eventuele reeds opgetreden rijpingsprocessen.

### **Lutum- en zandgehaltenes**

Deze waarden liggen redelijk dicht bij elkaar en geven aan dat de partijen redelijk homogeen zijn gelet op de samenstelling. Het zandgehalte op de Kleirijperij Delfzijl is iets hoger. Dit heeft met name te maken met dat in 1 monster een uitschieter van het zandgehalte is aangetroffen. Deze waarde trekt het gemiddelde omhoog. Een verklaring zou kunnen zijn dan bij het omzetten van het depot wat zand van de onderlaag mee is ontgraven. Alle waarden voor het zandgehalte blijven ruim onder de eis voor Erosiebestendigheid voor de categorie 1 en 2 klei.

### **Specifiek korrelgewicht**

Geen bijzonderheden.

### **Organische stof, zout en kalkgehalte**

Met name het organische stof gehalte en zoutgehalte zijn de parameters die gezien het doel van het onderzoek de meeste aandacht vragen. De oorsprong van de klei zoals beschreven in Alinea 3.1.1 zorgen ervoor dat deze parameters hoger zijn dan in het technisch rapport Klei voor dijken (TAW 1996). De verschillen in deze parameters hebben te maken met de specifieke locatie van herkomst. Aan de bandbreedte is te zien dat alle waarden wel dicht bij elkaar liggen en dus de overschrijding van deze waarden homogeen is verdeeld. Met andere woorden er zijn geen goede en minder goede locaties. Een verhoging van deze waarden heeft significant effect op het gedrag van de klei en hiermee ook de verdichting. Zowel organische stof als zout zorgen ervoor dat de klei een groter water absorberend vermogen heeft. Een gevolg hiervan zou kunnen zijn dat de klei minder te verdichten is. De derde parameter, het kalkgehalte, voldoet bij alle 3 partijen klei aan de gestelde eisen.

### **Vloeigrens, rolgrens en plasticiteitsindex**

De achtergrond van deze parameters wordt in de volgende alinea 3.2 weergegeven. De verschillen in de partijen onderling zijn het gevolg van het verschil in samenstelling en mogelijke reeds opgetreden rijping. Tijdens het rijpingsproces wordt verwacht dat gezien de afname van zout en organische stof gehalte de vloeigrens en rolgrens dalen. Het verschil in de verschillende monsters onderling zegt iets over de homogeniteit van het depot. De zaken zoals beschreven bij de toelichting van het vochtgehalte

zijn ook van invloed op de Atterbergse grenzen, met name de monstername locatie en hiermee samenhangend de verschillen in Atterbergse grenzen.

Opmerking: Voor de bepaling van de Atterbergse grenzen is gebruik gemaakt van de standaard RAW Proef 14. Omdat deze test is opgesteld voor reeds gerijpte en drogere klei is een aanbeveling om te controleren wat het effect van deze proef is op de klei uit de Kleirijperij depots (klei uit marien slib) en of dit representatieve waarden geeft.

### 3.1.3 Analyse methodes

In de navolgende Tabel 5 zijn de methodes vermeld die zijn aangehouden bij de analyses:

Tabel 5 – Werkmethodes/Standard Operation Procedures

Parameters	Toelichting	Methode	BKE SOP nr*
Vochtgehalte / droge stof	-	NEN-ISO	W002
Situ dichtheid ( $\rho_{\text{situ}}$ )	Dichtheid steekring (Situ)	NEN	W004
Max. droge dichtheid - 5-puntsproctor	Proctor – multi point	RAW	W013a
Lutumgehalte	RAW proef 29a, Lutum	RAW	W034
Zandgehalte	fractie < 63 $\mu\text{m}$ (RAW)	RAW	W039
Specifiek Korrelgewicht	Uitgevoerd door Deltares (NEN-EN-ISO 17892-3)	NEN	-
Gehalte organische stof	Gloeiverlies van de fractie < 2mm	RAW	W038
Kalkgehalte	Massaverlies Zoutzuur	RAW	W036
Zoutgehalte	Zoutgehalte per liter bodemvocht	RAW	W037
Atterbergse grenzen	Rol- en vloeigrens	RAW	W021
Consistentie index ( $I_c$ )	Berekening vanuit Atterbergse grenzen	-	-

\* SOP = Standard Operation Procedure

## 3.2 Toelichting Atterbergse grenzen en consistentie index

De **Atterbergse grenzen** geven de grenzen weer van cohesieve gronden (waaronder klei) waarbij het materiaal overgaat van vast naar plastisch (rolgrens) en van plastisch naar vloeibaar (vloeigrens). Tussen deze grenzen is het materiaal plastisch (vervormbaar), dit gebied wordt uitgedrukt in de 'plasticiteitsindex' (zie Figuur 3).



Figuur 3 - Atterbergse grenzen: rol- en vloeigrens

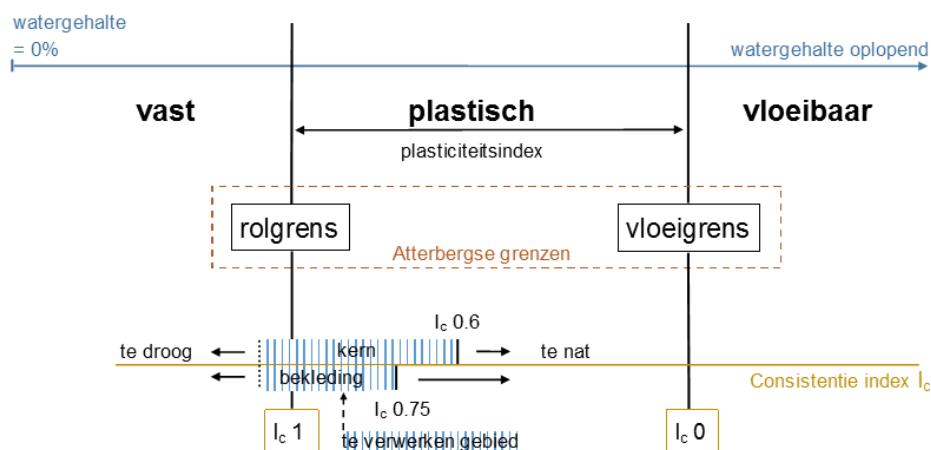
**Vochtgehalte – consistentie index:** van nature heeft klei de eigenschap om te krimpen (waterverlies) en te zwellen (water opname), zonder te scheuren of te vervloeien. Echter zitten hier grenzen aan, alsmede ook aan de verwerkbaarheid.

Om de klei op een juiste manier te verwerken zijn er eisen gesteld aan het water- dan wel vochtgehalte in de klei. Het maximaal toelaatbare vochtgehalte wordt uitgedrukt in de zogenaamde consistentie

index. De consistentie index geeft aan hoe het actuele vochtgehalte van klei zich verhoudt tot de vloeigrens en de rolgrens. Hierbij is de rolgrens gelijk gesteld aan een  $I_c$ -waarde van 1, de vloeigrens is gelijk gesteld aan een  $I_c$ -waarde van 0.

Voor een juiste verwerking dient de klei een vochtgehalte te hebben waarbij de klei te verknedem is. Als klei te droog wordt verwerkt (vochtgehalte ongeveer gelijk aan de rolgrens) schuren kleibrokken tegen elkaar in plaats van dat verkneding plaatsvindt (er zitten kieren/lucht tussen de kleibrokken). Als klei te nat wordt verwerkt, kan verpersing optreden. Op langere termijn vindt krimp plaats door afname van het watergehalte (natuurlijke vochtbalans) waardoor scheuren ontstaan<sup>1</sup>.

Het gebied tussen beide grenzen is in Figuur 4 weergegeven als het te verwerken gebied en is per kleisoort verschillend/afhankelijk van de Atterbergse grenzen.



Figuur 4 - Atterbergse grenzen – consistentie index

Vanwege de invloeden van de atmosfeer en grondwater is in de huidige regelgeving TAW 1996 ein verschil gemacht in het toepasbare vochtgehalte an kleitoepassing als kernmateriaal (eerder onder invloed van grondwater) und als bekleding (eerder onder invloed van de atmosfeer). Voor toepassing als kernmateriaal mag het vochtgehalte maximaal ein  $I_c$ -waarde van 0.6 hebben. Voor toepassing als deklaag is dit maximaal ein  $I_c$ -waarde van 0.75 .

De consistentie index eis heeft derhalve te maken met de vochtbalans tussen de klei und die omgeving (dit betreft ein langetermijneffect) und is niet alleen ein grenswaarde die iets zegt over de mogelijkheid tot verwerking van klei.

### 3.3 Locatie

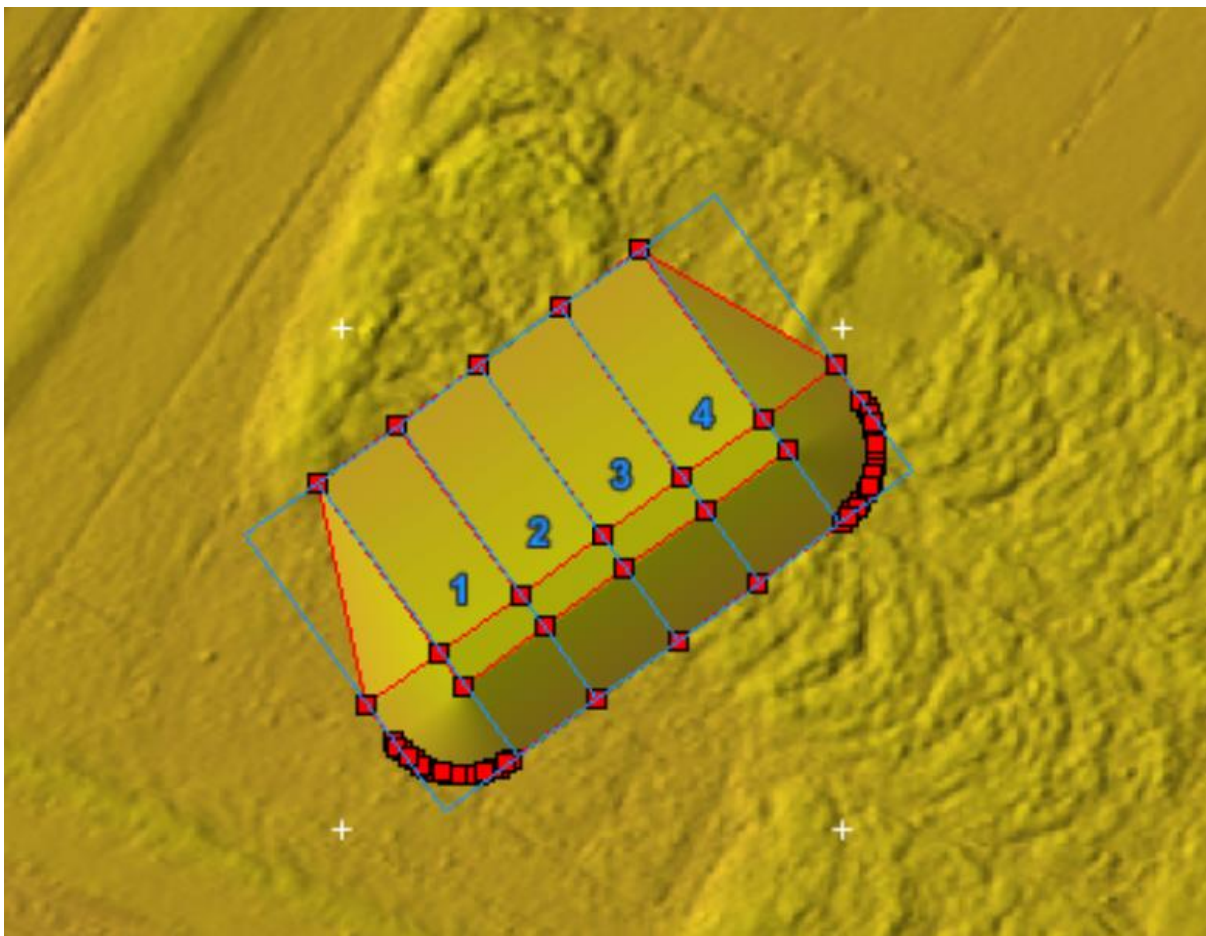
De Proefdijk is buitendijks aangelegd op de kwelder naast de vakken van het Kwelderdepot. Voor het Kwelderdepot was ein terrein beschikbaar dat uiteindelijk niet geheel is gebruikt als depot. Dat betekent dat er ruimte beschikbaar was om de Proefdijk aan te leggen binnen het terrein dat vergund was voor de Pilot Kleirijperij. Op dit deel was klei aanwezig die per as was aangevoerd in januari 2019 und afkomstig is uit de oost-slenk van Polder Breebaart. Voor de aanleg van de Proefdijk is deze klei verplaatst.

<sup>1</sup> TAW 1996: Als klei met ein hoog vochtgehalte wordt aangebracht boven het freatisch vlak, zal het vochtgehalte ervan afnemen tot het in overeenstemming is met de zuigspanning in de omgeving. De klei krimpt daardoor éénmalig, hetgeen met vorming van grote scheuren gepaard gaat.



Voorafgaand aan de start van de realisatie van de proefdijk hebben graafwerkzaamheden plaatsgevonden aan het oorspronkelijke maaiveld ter hoogte van de proefdijklocatie. Bij deze werkzaamheden is het bestaande maaiveld geroerd en is de aanwezige drogere stabiele toplaag doorbroken wat een nadelig gevolg kan hebben voor de draagkracht van de bodem. Het maaiveld waarop de proefdijk is aangelegd bestond visueel uit slappe niet draagkrachtige klei. Dit kan een rol spelen bij het verdichten van de eerste lagen omdat er geen “klankbord” meer onder de aan te brengen lagen ligt. Ook kan dit een rol spelen bij toekomstige zetting/zakking.

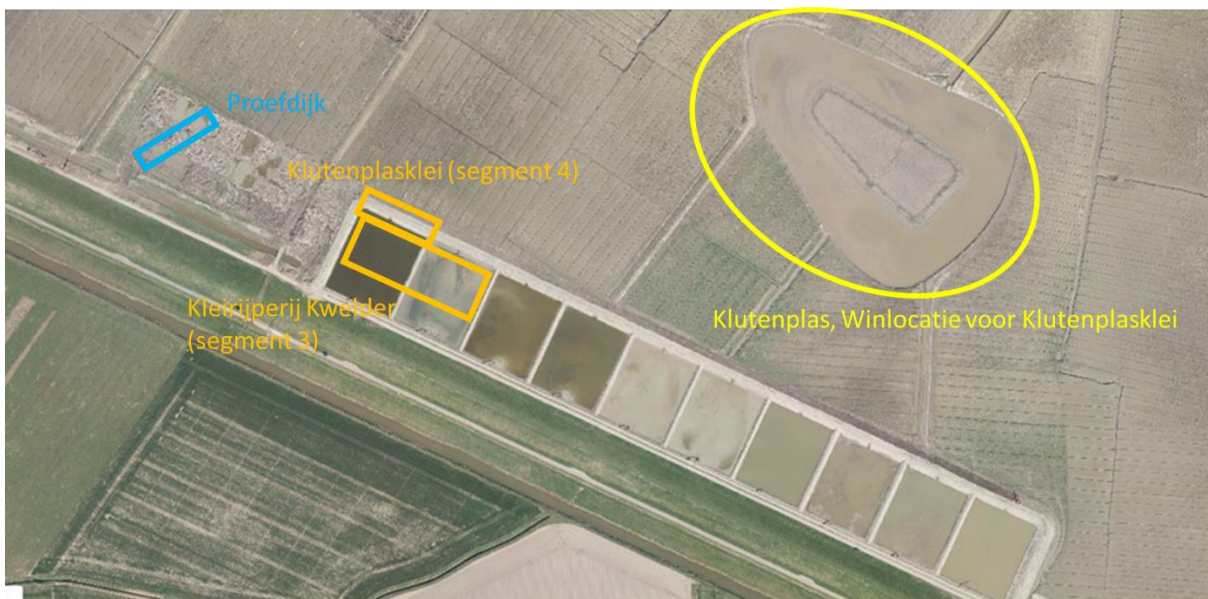
Figuur 5 laat het ontwerp van de Proefdijk zien. Figuur 6 laat het totaal overzicht zien van alle van belang zijnde locaties (geel: winlocaties | oranje: Kleirijperij en/of opslag locaties | blauw: Proefdijk locatie). Figuur 7 laat de gehele Kwelder locatie zien met de locatie van de Proefdijk, Kleirijperij Kwelder en de Klutenplas. In Bijlage A is het voorstel toegevoegd van het H&A, en in Bijlage B is het Werkplan Realisatie Proefdijk bijgevoegd.



Figuur 5 – Ontwerp Proefdijk en ligging van de vier segmenten



Figuur 6 – Projectlocaties Kleirijperij: Delfzijldepot en Kwelderdepot

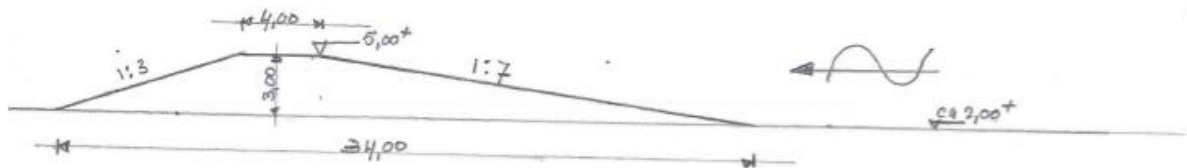


Figuur 7 – Locatie Proefdijk. Blauwe rechthoek betreft de locatie van de Proefdijk



De Proefdijk bestaat uit vier segmenten van elke 10 meter in lengte met klei van elk van de vier partijen klei. Hiervoor is per segment 512 m<sup>3</sup> klei voorzien. De Proefdijk is opgebouwd met een helling van 1:7 richting noordwesten. De dijk is georiënteerd op de maatgevende windrichting bij hoogwater en dus gericht op het opvangen van windgolven. Met 'slechts' 3 km strijklengte bij deze richting (in de luwte van de punt van Reide). De verwachting is dat de golven vanuit de Eems maatgevend zijn; een golfberekening met strijklengte geeft golven van max 1,2 m.

Op die manier kan de Proefdijk gedurende de komende twee stormseizoenen goed beproefd worden op de erosiebestendigheid bij belasting bij golfoploop. De andere taluds zijn opgebouwd onder een helling van 1:3. De kruinbreedte is 4 meter. De kopse kanten zijn rond afgewerkt. De aanleg heeft twee weken geduurd. Figuur 8 geeft de doorsnedes van het profiel.



*Figuur 8 – Schetsontwerp met dimensies van de Proefdijk*

In de twee weken voorafgaand aan de aanleg van de Proefdijk zijn de partijen klei getransporteerd en naast de locatie van de Proefdijk geplaatst (zie ook Bijlage B – Werkplan Realisatie Proefdijk).

Het terrein is voor en na de aanleg van de Proefdijk ingemeten met een drone. Er zijn vijf zakbakens in de Proefdijk geplaatst. De Zakbakens geven inzicht of eventuele zakking heeft plaatsgevonden in de ondergrond of in de aangebrachte kleilaag van de Proefdijk.



*Proefdijk na aanleg [foto op 3 november 2020]*

## 4. Resultaten

### 4.1 Realisatie

De Proefdijk is laagsgewijs opgebouwd en verdicht. Gestart is met lagen van 40 cm die verdicht zijn tot lagen van 20 tot 30 cm. Het verdichten is uitgevoerd met een Doosan 225 (23,000 kg, met 900 mm brede rupsplaten) die een bodemdruk uitoefent van 33 kPa. Met deze kraan zijn ook de lagen klei aangebracht. De dieptewerking van deze rupskraan bij verdichten is 30 cm. De klei is verdicht door versprend over de lagen klei te rijden; voor iedere verdichting is dus tweemaal over dezelfde kleilaag gereden. Bij iedere laag is er een controlemeting uitgevoerd om de verdichting te controleren. Het monster voor de controle meting is midden in het verticaal van een laag uitgestoken. Zie ook Hoofdstuk 5 en Bijlage E.

Aangezien drie van de vier toegepaste kleien een vrij hoog watergehalte hebben, heeft regen een sterk nadelig effect op de verwerkbaarheid. De aanleg is daarom enkel uitgevoerd gedurende droge zonnige omstandigheden. Bij regen of bij een nat oppervlak is gewacht tot het oppervlak weer droog was.

### 4.2 Waarnemingen en bevindingen tijdens de aanleg van de Proefdijk

Voor, tijdens en na aanleg van de Proefdijk zijn door de aanwezige medewerkers van Boskalis en Van Oord waarnemingen verricht. Voor de leesbaarheid van dit rapport zijn deze waarnemingen vastgelegd in Bijlage E. Hieronder is uit Bijlage E een samenvatting gegeven van de belangrijkste waarnemingen en bevindingen gedurende de realisatie, die ook terugkomen in de conclusies en aanbevelingen.

Bijlage H bevat een fotoverslag van de foto's die gemaakt zijn tijdens de aanleg van de Proefdijk.

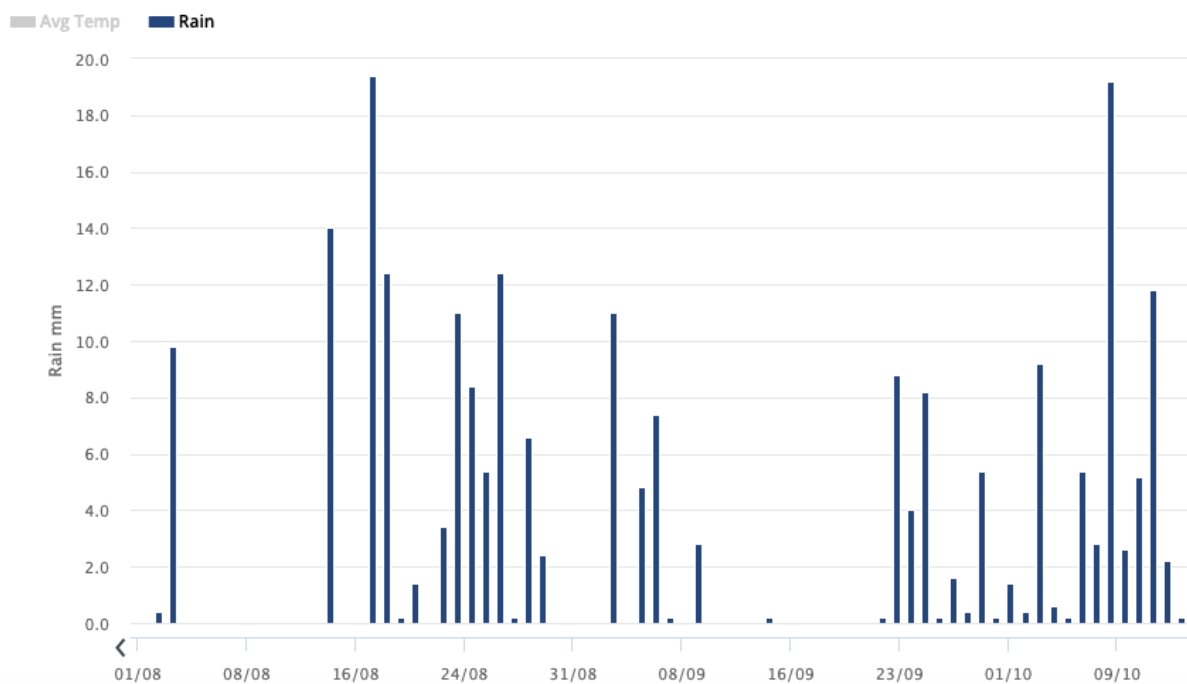
#### **Belangrijke waarnemingen en bevindingen tijdens de aanleg van de Proefdijk:**

1. De klei in de vakken K1 en K2 van het Kwelderdepot had een droge korst (30-40) en een nog zeer natte niet gerijpte laag daaronder (40-50 cm). Na het omzetten van de klei in de vakken K1 en K2 op de Kleirijperij Kwelder wordt de droge korst die aanvankelijk aan de bovenkant lag niet teruggevonden binnen in, en de opgezette rug als geheel lijkt nog zeer nat. Dit blijkt ook uit de  $T_0$ -meting. De gedachte dat de droge korst zich zou uitmiddelen met de natte onderlaag vertaalt zich niet terug. Dit bevestigt de waarnemingen bij het omzetten van de klei van Kleirijperij Delfzijl. Besloten is om alleen de korst te gebruiken uit de vakken K1 en K2 voor de Proefdijk.
2. De klei uit vak D7 van Kleirijperij Delfzijl is gewonnen uit 2 ruggen in dat depot. Na een 10-tal transporten was de waarneming dat de kern van deze ruggen te nat was. Daarna is alleen de korst van de ruggen gehaald die een lager vochtgehalte had en door exposure aan de buitenlucht ook vollediger gerijpt was. De eerste partijen zijn als eerste in de Proefdijk geplaatst en geven daardoor ook hogere vochtgehaltes. Dit is goed terug te zien in de resultaten. Met de  $T_0$ -waardes van de Atterbergse grenzen voldeden deze nog wat betreft de consistentie-index, echter ten aanzien van de metingen tijdens en na verwerking in de Proefdijk voldeden deze niet. De verdichtingsgraad werd zonder uitzondering overal behaald.
3. De onderste 2 lagen van Segment 2 en 3 (klei uit Kleirijperij Delfzijl en Kleirijperij Kwelder) vertoonden bij het verdichten insporing en terugvering. Dit was een combinatie van een natte ondergrond en een vochtgehalte van klei die op of net onder de  $I_c$  0.6 zat.



4. De ondergrond was bij aanvang van de werkzaamheden erg nat. Door de vele regen in de weken voor de aanleg van de Proefdijk, maar ook doordat bij het afgraven van de Groningen Landschap klei er door de oorspronkelijke kwelderbodem was heen gegraven, was het terrein zompig en lagen er plassen. Door het goede weer tijdens de aanleg verbeterde dit snel, echter de ondergrond bleef nat. Hierdoor ontbrak een klankbord voor de verdichtingsactiviteit in de ondergrond, en voelde je de grond trillen tijdens het verdichten. Dit werd minder naarmate de Proefdijk hoger werd opgebouwd.
5. Uiteindelijk is de Proefdijk opgebouwd in 10 lagen van circa 30 cm die steeds verdicht zijn. Verdichting is toegepast door met een 25 tons rups kraan in 2 richtingen over de aangebrachte laag te rijden, waarbij steeds een halve rupsbreedte werd opgeschoven.
6. Klei die los in depot is gezet droogt snel in de zon, maar wordt snel nat als het regent. In de natte weken voorafgaand aan de aanleg van de Proefdijk zijn de partijen eerder natter dan droger geworden.

Regenval tijdens aanleg Proefdijk



Regenval voor, tijdens en na de aanleg van de Proefdijk

Tabel 6 geeft daarnaast een overzicht van de werkzaamheden bij de realisatie van de Proefdijk.

Tabel 6 – Overzicht activiteiten tijdens de aanleg van de Proefdijk

<b>Datum</b>	<b>Activiteiten</b>
6 augustus	T <sub>0</sub> -meting van alle vier de kleibronnen
13 augustus	Inmeting terrein (drone)
1 - 3 september	Transport van de klei van Kleirijperij Delfzijl naar de Proefdijklocatie
7 september	Aanvullende T <sub>0</sub> -meting
4 – 8 september	Transport van de klei van NSZ naar de proefdijklocatie
9 september	Transport van de klei uit de Ringdijk (Klutenplas) naar de Proefdijklocatie. Mobilisatie keet en mobiel laboratorium.
10 september	Excursie experts waarbij een visuele beoordeling is gemaakt van de vier partijen klei die in de proefdijk zijn verwerkt.
11 september	Transport van de klei uit de Ringdijk / klutenplasklei naar de Proefdijklocatie.
14 september	Inrichting terrein van de Proefdijklocatie. Laatste voorbereidende werkzaamheden
15 september	1 <sup>e</sup> dag aanleg van de Proefdijk. Plaatsen zakbakens. Aanbrengen, verdichten en bemonsteren van de eerste laag en eerste verdichtingsmetingen. Verdere aanvoer klei uit Kleirijperij Kwelder (vakken K1 en K2) en Klutenplasklei uit de Ringdijk.
16 september	2 <sup>e</sup> dag aanleg van de Proefdijk. Aanbrengen, verdichten en bemonsteren van de tweede laag van de Proefdijk.
17 september	3 <sup>e</sup> dag aanleg van de Proefdijk. Aanbrengen, verdichten en bemonsteren van de derde laag van de Proefdijk. Klei uit Kleirijperij Kwelder (vakken K1 en K2) is te drogen gelegd op de Ringdijk. Transport van 1 m <sup>3</sup> van de vier partijen klei voor onderzoek naar het gedrag van de klei (laboratorium onderzoek Deltares).
18 september	4 <sup>e</sup> dag aanleg van de Proefdijk. Aanbrengen van de vierde laag van de Proefdijk.
19 september	Afschrappen van de korst van de niet omgezette klei in vakken K1 en K2 van de Kleirijperij Kwelder. Deze klei is op de ringdijk te drogen gelegd.
21 september	5 <sup>e</sup> dag aanleg van de Proefdijk. Verdichten en bemonsteren van de vierde laag van de Proefdijk. Aanbrengen, verdichten en bemonsteren van de vijfde laag van de Proefdijk.
22 september	6 <sup>e</sup> dag aanleg van de Proefdijk. Aanbrengen, verdichten en bemonsteren van de vijfde laag van de Proefdijk. De Proefdijk is nu zo'n 1.5m hoog. Extra transport van klei uit de Kleirijperij Delfzijl en uit depot Nieuw Statenzijl.
23 september	7 <sup>e</sup> dag van de aanleg van de Proefdijk. Aanbrengen, verdichten en bemonsteren van de zesde en zevende laag van de Proefdijk.
24 september	8 <sup>e</sup> dag van de aanleg van de Proefdijk. Aanbrengen, verdichten en bemonsteren van de 8 <sup>e</sup> en 9 <sup>e</sup> laag.
25 september	9 <sup>e</sup> dag van de aanleg van de Proefdijk. Aanbrengen en verdichten van de laatste en tiende laag
30 september	10 <sup>e</sup> dag van de aanleg van de Proefdijk. Verdichten en bemonsteren van de tiende laag. Profileren van de Proefdijk. Inmeten van het terrein (drone).

### 4.3 Verdichtingsmetingen

Tijdens de aanleg van de Proefdijk zijn veldmetingen uitgevoerd op de monsters die zijn genomen. In het Werkplan (Bijlage B) staat beschreven welke testen worden uitgevoerd in het mobiele laboratorium en welke testen in het laboratorium van Boskalis in Papendrecht. De dagrapporten van het laboratorium zijn toegevoegd in bijlage F, en de testresultaten van de verdichtingsmetingen in Bijlage G.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de meetresultaten uit de monsters genomen direct na elke verdichtingsslag. Gegeven zijn de gemiddelde waarden en de bandbreedtes. Bijlage G geeft een compleet overzicht van alle testresultaten.

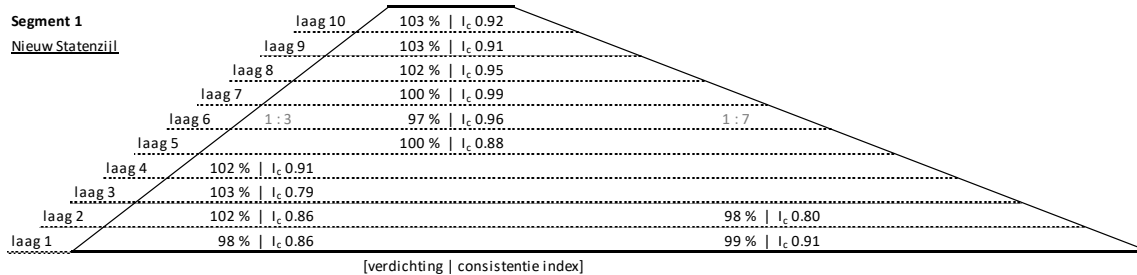
Tabel 7 – Overzicht meetresultaten van monsters direct na verdichtingslag

Parameters	Eenheid	Partij 1: NSZ-klei	Partij 2: Kleirijperij Delfzijl	Partij 3: Kleirijperij Kwelder	Partij 4: Klutenplas
Watergehalte	[%]	32.5 (30.9 – 36.4)	52.0 (48.4 – 56.0)	46.8 (40.3 – 55.7)	45.6 (42.3 – 50.6)
Max. watergehalte	[%]	46 (44.6 – 47.8)	53 (52.6 – 54.0)	53 (47.2 – 58.0)	59 (57.2 – 60.0)
In situ droge dichtheid (steekring)	[t/m <sup>3</sup> ]	1.38 (1.31 – 1.43)	1.08 (1.03 – 1.21)	1.15 (1.03 – 1.23)	1.14 (1.08 – 1.19)
In situ dichtheid (steekring) ( $\rho_{\text{situ}}$ )	[t/m <sup>3</sup> ]	1.82 (1.74 – 1.88)	1.65 (1.59 – 1.71)	1.68 (1.60 – 1.73)	1.66 (1.58 – 1.72)
Max. droge dichtheid 1- puntsproctor	[t/m <sup>3</sup> ]	1.37 (1.29 – 1.40)	1.08 (1.02 – 1.11)	1.13 (1.03 – 1.21)	1.13 (1.09 – 1.16)
Max. in situ dichtheid 1-puntsproctor	[t/m <sup>3</sup> ]	1.81 (1.76 – 1.84)	1.63 (1.59 – 1.66)	1.65 (1.60 – 1.70)	1.65 (1.63 – 1.68)
Verdichtingsgraad t.o.v. 1-puntsproctor	[%]	101 (98 – 103)	101 (100 – 104)	102 (100 – 105)	101 (97 – 104)
Vloeigrens (LL)	[%]	74 (71 – 76)	83 (82 – 84)	83 (76 – 91)	91 (86 – 96)
Rolgrens (PL)	[%]	28 (27 – 29)	33 (33 – 34)	32 (28 – 36)	37 (36 – 38)
Plasticiteitsindex (PI)	[%]	46 (44 – 47)	50 (49 – 50)	51 (48 – 55)	54 (48 – 60)
Consistentie index ( $I_c$ )	[-]	0.90 (0.79 – 0.99)	0.62 (0.54 – 0.71)	0.73 (0.60 – 0.92)	0.84 (0.74 – 0.91)

Hieronder een samenvatting van de  $I_c$ -waarden en verdichtingsresultaten tijdens aanleg van de Proefdijk.

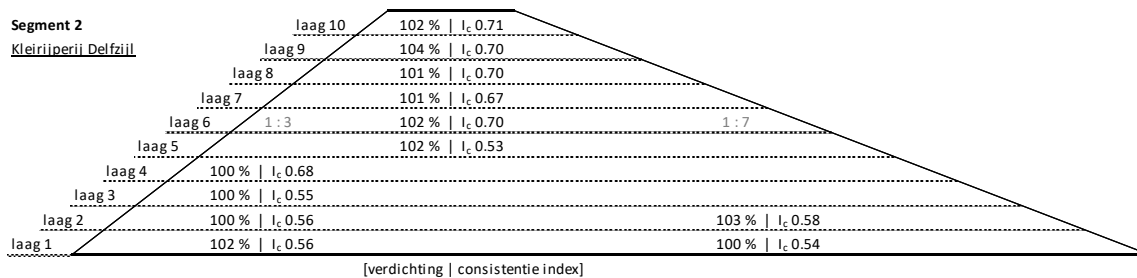
Op de eerste twee lagen zijn bij alle segmenten 2 verdichtingsmetingen genomen (één aan de 1:3 talud zijde en één aan de 1:7 talud zijde). Op laag 3 tot en met 10 is één meting uitgevoerd, waarbij laag 3 en 4 aan de 1:3 talud zijde en laag 5 tot en met 10 ter hoogte van de kruin.

### Klei Depot Nieuw Statenzijl (NSZ), Partij 1 | Segment 1



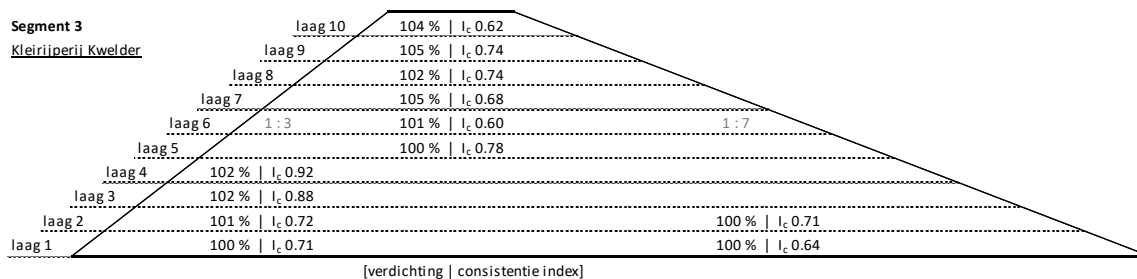
Figuur 9a – Schematische weergave segment 1 - Nieuw Statenzijl met resultaten verdichtingsmetingen en consistentie index

### Klei uit Kleirijperij Delfzijl, Partij 2 | Segment 2



Figuur 9b – Schematische weergave segment 2 - Kleirijperij Delfzijl met resultaten verdichtingsmetingen en consistentie index

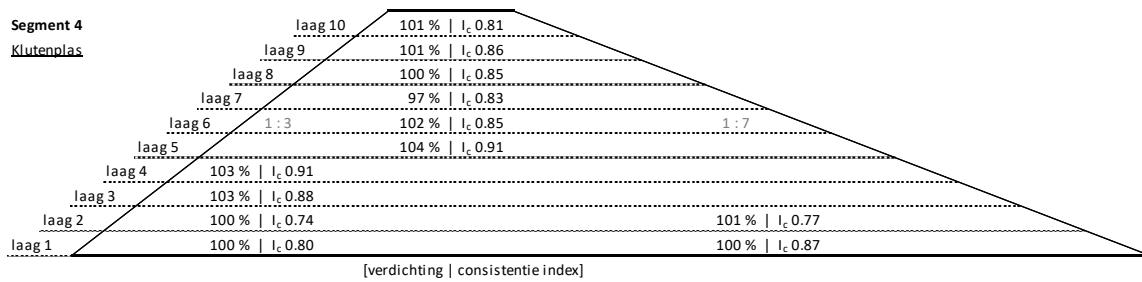
### Klei uit Kleirijperij Kwelder, Partij 3 | Segment 3



Figuur 9c – Schematische weergave segment 3 - Kleirijperij Kwelder met resultaten verdichtingsmetingen en consistentie index



## Klutenplasklei, Partij 4 | Segment 4



Figuur 9d – Schematische weergave segment 4 - Klutenplasklei met resultaten verdichtingsmetingen en consistentie index



Figuur 10 (17 september aanbrengen 3<sup>e</sup> laag van de Proefdijk)

## 4.4 Verdere resultaten en waarnemingen

### Zakbakens en eindhoogte van de Proefdijk

Bij het afgraven van de Steekvaste klei van Het Groninger Landschap is er door de oorspronkelijke kwelderbodembodem heen gegraven. Hierdoor ontbrak een stukje stevigheid van de bodem dat de kweldergrond normaliter heeft en door de vele regen gedurende de twee weken voor de aanleg van de Proefdijk, was de grond ter plekke van de Proefdijk op sommige plekken ook erg nat. Deze twee redenen gaven bij de aanvang van de aanleg van de Proefdijk vooral bij Segmenten 1 en 2 een drassige ondergrond.

De hoogte van het ontwerp van de Proefdijk was 3.00 m, gemeten vanaf maaiveld (geschat op 2 m NAP). Op het maaiveld zijn vlak voor de start van de aanleg van de Proefdijk vijf zakbakens geplaatst; in het hart van de kruin van de dijk op de grenzen van de segmenten (Tabel 8). De zakbakens hebben een lengte van 2.25 m en zijn tijdens het ophogen verlengd met een verlengstuk van 1.40 m waarmee de totale lengte van de zakbakens 3.65 m is. Bovenop de zakbaken zit een horizontaal plaatje met een zwart-wit kruis erop dat de drone herkent. Hiermee kan de absolute hoogte van de zakbakens gedurende de anderhalf jaar van de monitoringsperiode periodiek worden gemeten.

Tabel 8 – Kruinhoogte- en zakbakenshoogte metingen Proefdijk direct na aanleg

<b>Uitmeting kruin proefdijk</b>	<b>Segment grens</b>	<b>Dronemeting van hoogte top zakbakens tov NAP</b>	<b>Handmeting van kruinhoogte t.o.v. bovenkant zakbakens</b>	<b>Kruinhoogte tov NAP</b>	<b>Maaiveld kwelder direct na aanleg</b>
Zakbakens 1	1	5.08 m	51 cm	4.57 m	1.43 m
Zakbakens 2 *	1-2	ontbreekt	43 cm		
Zakbakens 3	2-3	5.36 m	58 cm	4.78 m	1.71 m
Zakbakens 4	3-4	5.45 m	56 cm	4.89 m	1.80 m
Zakbakens 5	4	5.49 m	56 cm	4.93 m	1.84 m

\* Zakbakens 2 ontbreekt doordat deze door de verdichtingswerkzaamheden scheef was geraakt. Later is deze weer rechtop gezet, echter zonder plaatje bovenop dat de drone kan zien. Deze is nu dus niet meer goed bruikbaar.

De Proefdijk is voor de eerste keer ingemeten met een drone op woensdag 30 september. Op die dag werd er nog gewerkt aan de Proefdijk in het eerste segment en de kopse kant aan de landzijde. Die dag zijn ook de zakbakens ingemeten met de drone.

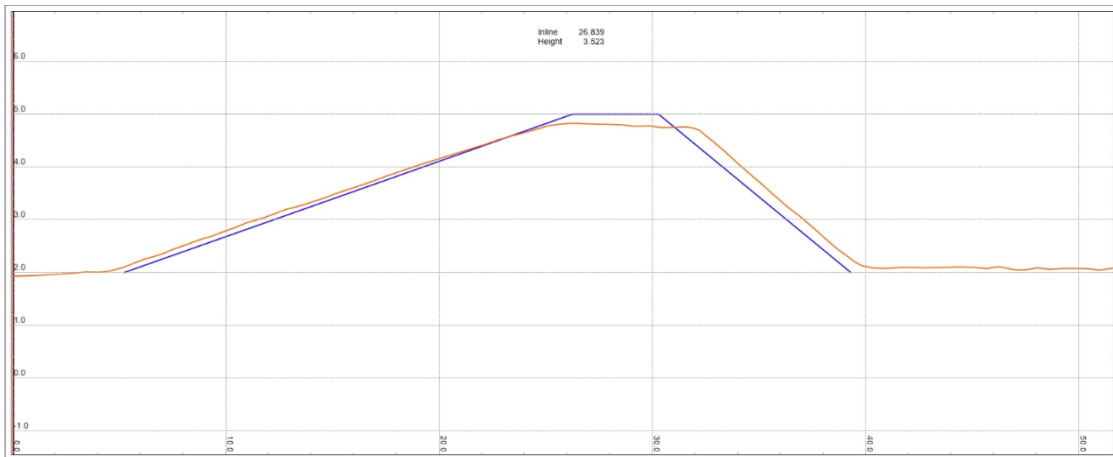
Op vrijdag 2 oktober was de Proefdijk geheel in profiel gebracht. Op die dag zijn de handmetingen verricht van de kruinhoogte ten opzichte van de bovenkant van de zakbakens. De zakbakens zijn voorzien van hoogtestrepen waarmee steeds de ophoogslag kan worden bepaald. In december is een volgende dronemeting gepland.

De blauwe lijn in Figuur 12 geeft het theoretisch ontwerp bij een maaiveld hoogte van 2.0 m NAP bij start van de aanleg en een 3.0m hoge Proefdijk. De rode lijn geeft het gemeten profiel van de meting op 30 september. De kruin van de Proefdijk ligt rond de 4.80 m NAP en de kruin is iets breder dan de 4.0 m geworden. Figuur 13 geeft een bovenaanzicht van de Proefdijk waarbij te zien is dat in Segment 1 het laatste stuk van de Proefdijk nog in profiel moet worden gebracht.

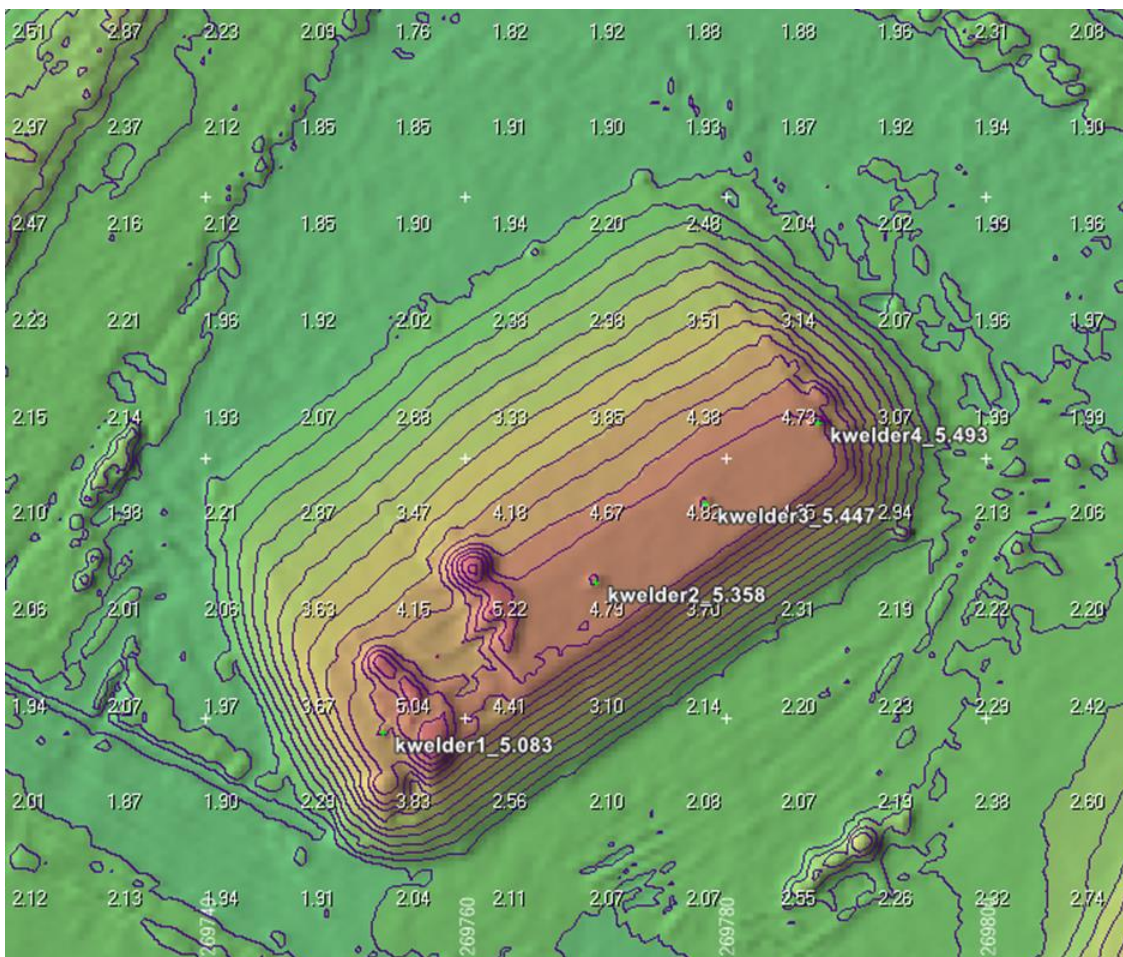


Figuur 11 - Zakbaken 3, 4 en 5 liggen op 1 lijn. Zakbaken 2 is afgebroken. Zakbaken 1 is verzakt





Figuur 12 - Dwarsprofiel van de Proefdijk



Figuur 13 – Bovenaanzicht van de Proefdijk direct na aanleg (30 september 2020). Het zuidelijke deel van de Proefdijk moest nog in profiel worden gebracht.

## Hoeveelheden en uitlevering

Voorafgaand aan de werkzaamheden was bepaald hoeveel volume klei van elk van de vier partijen benodigd zou zijn. Het geometrische volume van het ontwerp gaf 512 m<sup>3</sup> klei voor elk van de vier segmenten. Aangezien dit verdichte kubieke meters klei zijn, was bepaald dat een volume van 800 m<sup>3</sup> uit Delfzijl en Nieuw Statenzijl voldoende moest zijn. Dit bleek een te krappe inschatting.

Na de eerste week van de aanleg van de Proefdijk werd duidelijk dat er onvoldoende klei uit beide depots naar de Proefdijklocatie was gebracht. In de tweede week is daarom nog aanvullende klei getransporteerd.

De volumes van beide partijen zijn bepaald door de vrachten te meten. De volgende tabel geeft aan hoeveel klei uit beide depots is getransporteerd:

Tabel 9 – Hoeveelheden en uitlevering

<b>Herkomst klei</b>	<b>Volume</b>
Kleirijperij Delfzijl	
Gemeten in de vrachtwagens	1.234 m <sup>3</sup>
Gemeten door drone (30 sep 2020)	1.150 m <sup>3</sup>
Theoretisch in profiel Proefdijk	512 m <sup>3</sup>
Depot Nieuw Statenzijl	
Gemeten in de vrachtwagens	1.108 m <sup>3</sup>
Gemeten door drone (30 sep 2020)	1.010 m <sup>3</sup>
Theoretisch in profiel Proefdijk	512 m <sup>3</sup>

Deze volumes stroken niet geheel met de ervaringsgetallen qua uitlevering. Ook lukt het niet om de grondbalans sluitend te krijgen als zetting wordt meegenomen aangezien de zakkakens mee zakken.

De drone meting in het klei depot Kleirijperij Delfzijl van 30 september is vergeleken met de meting van begin augustus. Echter hebben we in die periode niet alleen klei uit het vak D7 gehaald om naar de Proefdijk te transporteren, maar hebben we de resterende klei in vak D7 opnieuw omgezet. Hier is dus geen exact getal uit te bepalen. Ook is in de vrachtwagens geen check gedaan qua daadwerkelijke volumes. Er is waarschijnlijk een mindere hoeveelheid aan klei getransporteerd per vracht dan op de vrachtbrieven staat. Deze werkzaamheden zijn op regie uitgevoerd dus vanuit kosten was er geen noodzaak om dit te controleren.

De dronemeting in Nieuw Statenzijl geeft een nauwkeuriger getal. Een deel van de Nieuw Statenzijl klei is ook gebruikt in de kopse kant van het depot, dus ook hier kunnen we de uitlevering niet helemaal terugrekenen. Vermoedelijk is er toch een significante hoeveelheid klei in de ondergrond weggedrukt. De kweldergrond was onder het flauwe talud (1:7) natter, zeker bij Segment 1 en 2 Zakkakens 1 is na de aanleg ook 40 cm lager komen te liggen dan de Zakkakens 4 en 5. Door alle meetonzekerheden en fluctuaties in de ondergrond is een exacte uitlevering niet te bepalen.



## 5. Conclusie en aanbevelingen

In deze rapportage direct na aanleg van de Proefdijk worden enkel de conclusies getrokken over de ervaringen bij de aanleg van de Proefdijk. Deze zijn hieronder eerst puntsgewijs beschreven als deelconclusies. Op basis van deze conclusies is een eindconclusie geformuleerd.

### 5.1 Deelconclusies

Op basis van de beschreven onderzoeksresultaten zijn de volgende conclusies te trekken:

1. De lagen 1 t/m 5 van Segment 2 (Delfzijldepot) hebben een  $I_c$ -range tussen de 0.54 en 0.58 en voldoen daarmee niet aan de gestelde eis van een  $I_c > 0.6$ . De  $I_c$ -waardes van de klei in deze lagen voldeden wel t.o.v. de Atterbergse grenzen van de  $T_0$ -meting maar niet t.o.v. de Atterbergse grenzen die bepaald zijn na afloop op de monsters genomen uit de Proefdijk. De verdichtingseis is wel behaald.
2. De lagen 6 t/m 10 van Segment 2 (Delfzijldepot) hebben een  $I_c$ -range tussen de 0.67 en 0.71 en voldoen aan de gestelde eis van een  $I_c > 0.6$ .
3. De klei vanuit het Kwelderdepot ( $I_c$ -range 0.60 – 0.92), Klutenplas ( $I_c$ -range 0.74 – 0.91), en Nieuw Statenzijl ( $I_c$ -range 0.79 – 0.99) voldoen aan de gestelde eis van  $I_c > 0.6$ .
4. De verdichtingseis van  $> 97\%$  wordt bij alle gebruikte klei met de vooraf ingeschatte inspanning behaald. Hierbij is een standaard aanlegmethode gebruikt.
5. Ook bij een  $I_c$  vanaf 0.55 (onderste lagen Segment 2) wordt de verdichtseis gehaald.
6. In dit onderzoek is enkel gekeken naar vochtgehalte versus verdichting, de overige parameters zoals organische stof en zoutgehalte zijn buiten beschouwing gelaten. Aangezien deze slechts beperkt wijzigen, zijn de  $T_0$ -metingen daarvoor nog steeds leidend. Op basis daarvan voldoet alleen de NSZ klei aan de eisen van TAW 1996.
7. Tijdens de aanvang van de werkzaamheden bleek de toplaag van het bestaande maaiveld te zijn ontgraven. Dit had als gevolg dat de ondergrond erg instabiel was. Dit kan het verende gedrag van de eerste lagen verklaren. Bij de versterking van de BGD zal de klei op een stevigere onderlaag worden aangebracht, namelijk de huidige dijk, en zal dit geen probleem zijn.
8. Bij de calculatie van de zetting moet er rekening worden gehouden met de samendrukbare ondergrond van de kwelder. Dit zal geen problemen geven bij de aanleg van de BGD aangezien de klei daar opgebracht wordt op het huidige dijklichaam waar de ondergrond al de nodige belasting heeft ondergaan.
9. Realisatie is enkel uitgevoerd in droge zonnige omstandigheden, bij regen of bij een nat oppervlak is gewacht tot het oppervlak weer droog was.
10. De klei uit de Klutenplas is in 2017 gebruikt voor de bouw van het kwelderdepot en heeft bijna 3 jaar in de ringdijk van het kwelderdepot gezeten. Deze klei is destijds verdicht. Bij de aanleg van de Proefdijk was deze klei homogener dan de klei uit de beide Kleirijperij depots.

## 5.2 Hoofdconclusie

1. Op basis van de waarnemingen en resultaten van de metingen toont dit rapport aan dat de klei uit de beide Kleirijperij depots en de klei uit de Klutenplas die gebruikt zijn om de Proefdijk aan te leggen verwerkbaar zijn in een dijklichaam. Het verdichten van deze klei tot boven de 97% van de 1-puntsproctor is behaald door met een 25 tons rupskraan de aangebrachte kleilaag in twee slagen te verdichten. Daarbij werd een aangebrachte laagdikte van ongeveer 40 cm gehanteerd, die vervolgens verdicht werd tot een kleilaag met een dikte van ongeveer 30 cm. Zonder uitzondering is een verdichting van meer dan 97% behaald. De vooraf ingeschatte standaard verdichtingsmethode werkte steeds voor alle type klei.
2. Het is niet zozeer de vraag of de klei matig, redelijk of goed verwerkbaar is. In principe waren alle partijen klei goed te verdichten. Het is meer de vraag of het vochtgehalte matig, redelijk of goed op de juiste waarde kan worden gehouden. Een hoger gehalte aan lutum, organische stof en zout vergroot het water-absorberend vermogen van de klei, dat optreedt als de klei met water in aanraking komt bij bijvoorbeeld hevige regenbuien. Als het vochtgehalte de juiste waarde heeft zijn alle partijen goed verdichtbaar.
3. Het rijpingsproces van de klei in de beide Kleidepots van de Kleirijperij is nog niet voltooid. Er is veel moeite gestoken om het ontwateren van deze twee partijen te versnellen, wat er ook toe geleid heeft dat dit onvoldoende gelukt is voor een deel van de klei uit het Delfzijldepot. De onderste vijf lagen van de klei uit de Kleirijperij Delfzijl hebben een  $I_c$ -waarde die lager is dan 0.6, maar dat betekent niet dat deze waarde niet gehaald kan worden. De bovenste vijf lagen van de klei uit het Delfzijldepot en alle lagen van de andere drie partijen hebben wel een  $I_c$ -waarde die hoger is dan 0.6.
4. De door de TAW 1996 voorgeschreven ondergrens van  $I_c$  0.6 is bevestigd door deze Proefdijk. Hoewel de verdichting ook voor de klei onder deze grenswaardes is behaald, gaf de klei met de hogere vochtgehaltes insporing van de rupsbanden en terugverend gedrag bij het verdichten. Bij waardes boven  $I_c$  0.6 was dit niet het geval. De bovengrens van de  $I_c$  is met de aanleg van de Proefdijk niet bereikt. Wel is aangetoond dat ook hogere  $I_c$ -waardes nog steeds goed verdichtbaar en goed verwerkbaar zijn. Maximale behaalde waardes voor klei uit het Delfzijldepot  $I_c$  0.71, uit het Kwelderdepot  $I_c$  0.92, en Klutenplas  $I_c$  0.91.
5. Er ligt nu een Proefdijk met vier partijen klei. De consistentie-index van de aangebrachte lagen variëren van 0.55 tot 1.0. Aanvullend onderzoek en monitoring de komende anderhalf jaar zal goed gebruik kunnen maken van deze unieke reeks aan klei-eigenschappen bijeen gebracht in 1 Proefdijk.

### 5.3 Aanbevelingen voor Demonstratieproject BGD

De volgende aanbevelingen volgen uit de waarnemingen, meetresultaten en conclusies:

1. Het actief laten drogen van klei gaat sneller als de uitgedroogde korst (30 – 40 cm) wordt afgegraven en deze apart in depot wordt gezet, dan deze om te werken en in contact te brengen met klei die een vochtgehalte heeft ver voorbij de vloeigrens. Vervolgens dient de klei die het juiste vochtgehalte heeft op hoge brede ruggen te worden opgezet waarbij de buitenkant glad wordt afgestreaken zodat de klei door regen niet verweekt.
2. De vloeigrens bij de  $T_0$ -meting laat een duidelijke spreiding zien tussen de 4 partijen klei. De rolgrens geeft een constanter beeld. Hierdoor zijn er bij de  $T_0$ -meting ook duidelijke verschillen voor de plasticiteitsindex. De metingen op de monsters uit de proefdijk geven voor de vloeigrens een verrassend constant beeld waardoor de 3 kleipartijen weer meer op elkaar lijken. Blijkbaar is de proef om de vloeigrens te bepalen niet altijd reproduceerbaar. Belangrijk om bij de verdere interpretaties hier rekening mee te houden.
3. Voor het verwerken van deze kleistromen in de BGD wordt aangeraden hiervoor een werkplan op te stellen als ook in de realisatie te sturen op kwaliteit. Voor een goede monitoring dient gestuurd te worden op het vochtgehalte tijdens verwerking, dit getoetst aan de consistentie-index (Atterbergse grenzen). Er wordt derhalve aangeraden het project te voorzien van een laboratorium *on site*.
4. De gebruikte kleisoorten hebben een relatief hoog vochtgehalte doordat het veel water vasthoudt. Dit wordt vooral veroorzaakt door het lutumgehalte, en wordt versterkt door de hogere concentraties aan zout en organische stof. Extra onderzoek naar de exacte bijdrage van zout en organische stof aan het water absorberend vermogen van de klei is belangrijk om dit effect goed op waarde te schatten.
5. Een betere test dan alleen de consistentie-index bepaling zou helpen om de rijpingsgraad van klei vast te stellen. Een aantal gidsparameters die snel en gemakkelijk reproduceerbaar zijn zouden bijdragen om verwerkbaarheid en geschiktheid van klei vast te stellen.
6. De dichtheid van de verdichte klei voor de BGD zal tussen de 1.65 en 1.71 t/m<sup>3</sup> liggen. Dit kan als ontwerpparameter voor de BGD meegenomen worden.



## **Bijlage A – Memo 1e concept, voorstel proefdijk Kleirijperij, H&A's**

## **Bijlage B – Werkplan Realisatie Proefdijk Kwelderlocatie**

## **Bijlage C – Partijkeuringen**



## **Bijlage D – Resultaten T<sub>0</sub>-meting 4 partijen klei**

## **Bijlage E – Verslag waarnemingen tijdens de aanleg van de Proefdijk**

## **Bijlage F – Dagrapportage Laboratoriumtesten**

## **Bijlage G – Rapportage verdichtingsmetingen**

## **Bijlage H – Foto verslag**