

Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk

Stap 4: Structuurvorming in klei van Kleirijperij na versnelde seizoenen



Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk

Stap 4: Structuurvorming in klei van Kleirijperij na versnelde seizoenen

Auteur(s)

Mark Klein Breteler

Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk

Stap 4: Structuurvorming in klei van Kleirijperij na versnelde seizoenen




Opdrachtgever	Samenwerkingsproject onder TKI Deltatechnologie in samenwerking met Waterschap Hunze en Aa's, Van Oord, Boskalis, Provincie Groningen en Deltares
Contactpersoon	Erik Jolink, Henk van Norel en Marco Veendorp (Waterschap Hunze & Aa's) Ulrich Förster, Luca Sittoni en Gerard van Meurs (Deltares)
Referenties	
Trefwoorden	Kleibekleding, erosie, structuurvorming

Documentgegevens

Versie	2
Datum	21-04-2021
Projectnummer	11205846-002
Document ID	11205846-002-GEO-0008
Pagina's	39
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Mark Klein Breteler	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1	Mark Klein Breteler	G. van Meurs	Marcel van Gent	
2	Mark Klein Breteler 	G. van Meurs 	Marcel van Gent 	

Samenvatting

In het kader van het onderzoek naar de toepasbaarheid en voorspelbaarheid van lokaal gewonnen kwelder materiaal en gerijpte baggerspecie voor dijken is onderzoek gedaan naar de structuurvorming in klei van diverse bronnen. Met structuurvorming wordt bedoeld het proces waarbij in de loop der jaren door het zwellen en krimpen van de klei, in combinatie met biologische en chemische processen, de klei scheuren gaat vertonen. Deze scheuren kunnen in het natte seizoen weliswaar dichtgaan door het zwellen van de klei, maar blijven toch zwakke plekken ten aanzien van de erosie van de klei tijdens golfaanval.

Het onderzoek is uitgevoerd met een nog niet eerder toegepaste methode, namelijk door de klei in bakken van 1x1 m² te doen in een laag met een dikte van 26 à 29 cm op een laagje zand. Vervolgens is de klei versneld onderworpen aan de invloed van de seizoenen door eerst de klei gedurende een bepaalde periode enkele keren per dag nat te sproeien, vervolgens zo'n zelfde periode koud en droog weg te zetten bij een temperatuur van ongeveer 6° en tenslotte zo'n zelfde periode te verwarmen tot omstreeks 30°. Er zijn drie cycli van elk ongeveer een maand op deze wijze doorlopen.

Deze procedure heeft tot gevolg gehad dat de klei gaat krimpen en zwellen, waardoor scheuren ontstaan. Naarmate er meer scheuren ontstaan, is de verwachting dat de klei sterker gestructureerd zal raken in de loop der jaren.

Het onderzoek heeft geleid tot de conclusie dat de gerijpte baggerspecie afkomstig van de Kleirijperij naar verwachting een sterke structurering gaat vertonen in de loop der jaren.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond	6
1.1.1	Aanleiding project	6
1.1.2	Doel van het project	7
1.1.3	Financiering en consortium	7
1.1.4	Fasering onderzoek	7
1.2	Onderhavige deelproject	7
2	Algemene eigenschappen toegepaste kleisoorten	9
2.1	Herkomst	9
2.2	Eigenschappen	10
3	Kleibakken en klimaatkamer	13
4	Resultaten van de metingen	15
5	Conclusies	17
	Referenties	18
A	Foto's	19
A.1	Beginsituatie (5-11-2020)	19
A.2	Na warme periode aan eind eerste cyclus (15-12-2020)	21
A.3	Na natte periode in tweede cyclus (24-12-2020)	24
A.4	Na koude periode in tweede cyclus (4-1-2021)	27
A.5	Eindsituatie (16-2-2021)	30
A.6	Inspectie op 23 maart 2021	33
B	Eisen voor klei uit TAW (1996)	37

1 Inleiding

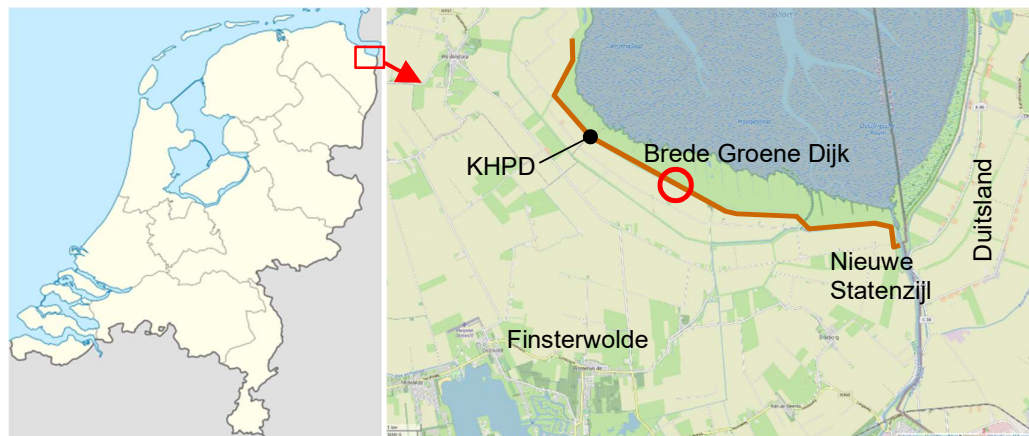
1.1 Achtergrond

In het kader van het demonstratieproject Brede Groene Dijk (BGD) wordt onderzoek uitgevoerd of een dijk gebouwd kan worden met lokaal gewonnen klei afkomstig van de kwelder en klei gemaakt van zout (bagger)slib. Het onderzoek wordt uitgevoerd onder de naam Onderzoek Geschiktheid Deltaklei (OGD). Binnen de OGD wordt een koppeling gelegd met de Pilot Kleirijperij waarin onderzocht wordt hoe slib om te vormen tot klei.

Uit de voorbereidingen van het demonstratieproject blijkt dat extra onderzoek in Nederland nodig is om de toepasbaarheid (en voorspelbaarheid van de uiteindelijke functionele eigenschappen) van lokaal gewonnen kweldermateriaal en gerijpte baggerspecie te vergroten. De verwachting is dat een aantal van deze eigenschappen verbeteren in de loop van de tijd. Bij de start van een rijpingsproces is er inzicht gewenst of er een geschikt bouw materiaal van te maken is.

Het demonstratieproject Brede Groene Dijk (BGD) is gepland om uit te voeren binnen het dijktraject Kerkhovenpolder-Duitsland (normtraject 6-7), zie Figuur 1.1. Aan de zeezijde grenst de kering aan het Natura 2000-gebied van de Dollard, onderdeel van de Waddenzee. Aan de landzijde grenst de kering aan polders van Oost-Groningen. Voorzien is om het project uit te voeren met gerijpte klei afkomstig van de Kleirijperij en van de kwelder. Uit bepalingen op dit materiaal is echter vastgesteld dat het zoutgehalte en het gehalte aan organisch stof van de gerijpte klei niet voldoet aan de voorklei als dijkbouw materiaal geldende eisen (TAW, 1996).

Ter voorbereiding van het demonstratieproject wordt daarom onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid om met dit materiaal wel een waterveilige dijk te kunnen bouwen. Dit extra onderzoek richt zich op vragen zoals: welke dimensionering is nodig, hoeveel materiaal is daarvoor nodig, is de uitvoering realiseerbaar, hoe gedragen de functionele eigenschappen zich als functie van ouderdom e.d.



Figuur 1.1 Locatie van het demonstratieproject Brede Groene Dijk (KHPD = dijktraject Kerkhovenpolder - Duitsland)

1.1.1 Aanleiding project

In oppervlaktewater komt vaak veel slib voor. Het slib is in suspensie en sedimenteerde vroeger normaliter in grote vloeivelden (de kwelders) en havens. Deze kwelders zijn echter grotendeels

ingepolderd. Als we er in slagen het slib te laten sedimenteren en te verwijderen uit de waterkolom, dan worden de waterkwaliteit en de ecologische omstandigheden in het gebied verbeterd. Het gesedimenteerde materiaal kan, na rijping, vervolgens gebruikt worden bij dijkversterkingen en krijgt daarmee een maatschappelijke en economische waarde. Het gebruik van lokaal beschikbaar sediment bij dijkversterkingen voorkomt transport van primaire grondstoffen over grote afstanden, verbruik van brandstof en dus emissie van broeikasgassen. Kortom, het gebruik van lokaal materiaal draagt bij aan een circulaire inzet.

1.1.2 Doel van het project

Het doel van dit project is aan te tonen, en daarmee vertrouwen op te bouwen, dat het gerijpte materiaal (het sediment), ondanks een hoog en gehalte aan zout en organische stof, geschikt is om een waterveilige dijk mee te realiseren. Met name het toetsen van verwerkbaarheid en erosiebestendigheid van de gerijpte klei in het veld (proefdijk) en in het laboratorium. Bovendien antwoord geven op de vraag op welke wijze het materiaal verantwoord kan worden toegepast.

1.1.3 Financiering en consortium

TKI-Deltatechnologie en Kennis & Innovatie (K&I) Agenda van het hoogwaterbeschermingsprogramma (HwBP) zijn bereid geweest om financiering van het onderzoek te ondersteunen.

Het consortium, dat het project uitvoert, wordt gevormd door verschillende organisaties. Het gaat daarbij om twee private partijen (Van Oord en Boskalis) en twee overheidspartijen (Provincie Groningen en Waterschap Hunze & Aa's). Als kennisinstelling is Deltares aangesloten. Deltares is penvoerder voor het TKI-project. Het waterschap Hunze en Aa's is penvoerder van het HwBP-project.

1.1.4 Fasering onderzoek

Voor het verwerven van meer inzicht in de toepasbaarheid, en dus van de functionele eigenschappen, van de huidige Kleirijperij klei – en de manier waarop met een aangepast ontwerp, adequate uitvoering en een afgestemd beheer kan worden gekomen tot een waterveilige dijk, is het onderzoeksplan onderverdeeld in 9 stappen:

1. Definitiefase en bronnenonderzoek
2. Materiaalonderzoek
 - a. Bestaande dijken
 - b. Aanleg proefdijk
3. Probabilistische berekeningen
4. Structuurproeven met bakken klei
5. Evaluatie en tussenrapportage
6. Krimprens en erosiemeterproeven
7. Onderzoek diverse parameters
8. Analyse gevolgen afwijkende parameters
9. Deltagootproeven
10. Eindrapportage

1.2 Onderhavige deelproject

In het kader van bovenstaand project is onderzoek gedaan naar de structuurvorming in klei afkomstig van diverse bronnen. Met structuurvorming wordt bedoeld het proces waarbij in de loop der jaren door het zwellen en krimpen van de klei, in combinatie met biologische en chemische processen, de klei scheuren gaat vertonen. Deze scheuren kunnen in het natte seizoen weliswaar dichtgaan door het zwellen van de klei, maar blijven toch zwakke plekken ten aanzien van de erosie van de klei tijdens golfaanval.

De onderhavige rapportage betreft Stap 4 uit paragraaf 1.1.4 en richt zich op de structuurvorming van de klei uit de drie bronnen die toegepast gaan worden in het demonstratieproject de Brede Groene Dijk, alsmede 3 kleisoorten als referentie.

2 Algemene eigenschappen toegepaste kleisoorten

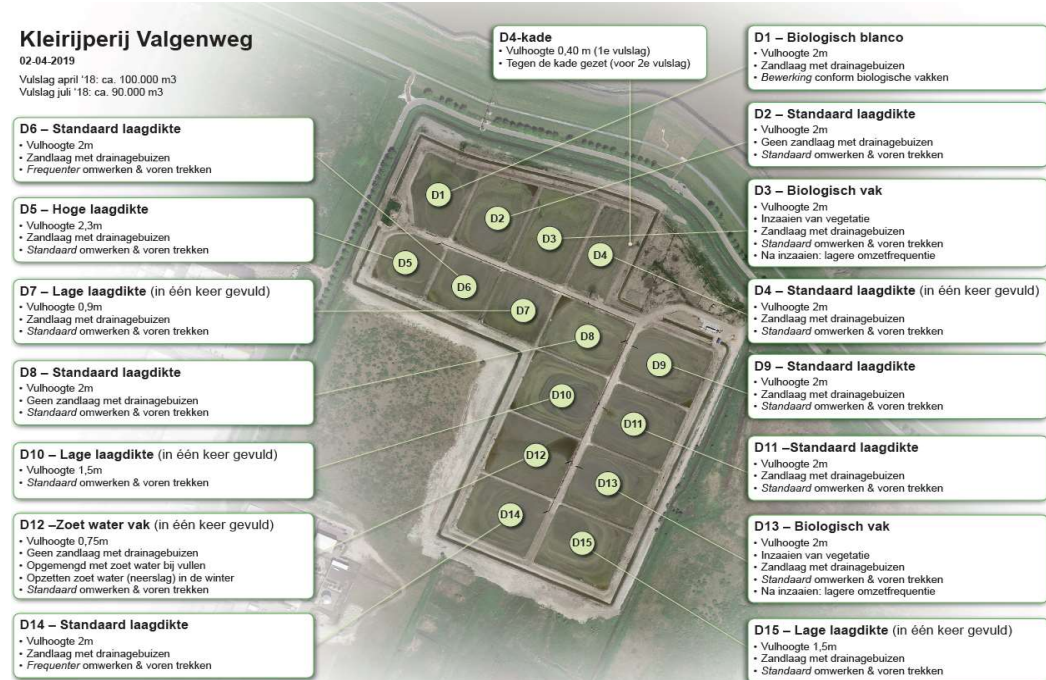
2.1 Herkomst

Voor het onderzoek naar de ontwikkeling van de structuurvorming in de klei voor de Brede Groene Dijk is gebruik gemaakt van klei uit een aantal bronnen, namelijk zes kleisoorten met klei afkomstig van:

1. het Havenkanaal van Delfzijl uit de Kleirijperij langs de Valgenweg, depot D7 (Figuur 2.1)
2. de Kleirijperij op de kwelder met gerijpt slib uit polder Breebaart (Figuur 2.2)
3. de Klutenplas, die gewonnen is uit de ringdijk rond de Kleirijperij op de kwelder (Figuur 2.2)
4. het kleidepot van het waterschap bij Nieuwe Statenzijl
5. de Friese dijk bij Blija
6. de oostelijke Lauwersmeerdijk

De klei afkomstig uit de bronnen 1 en 2 wordt in de Pilot Kleirijperij omgezet van slib naar klei. In de Pilot Kleirijperij onderzoeken Rijkswaterstaat, de provincie Groningen, Groningen Seaports, waterschap Hunze & Aa's, Het Groninger Landschap en EcoShape verschillende manieren om slib om te vormen tot klei. Onderzoekers van EcoShape voeren praktijkproeven uit om te kijken welke manier van rijpen het best werkt.

De derde kleisoort is afkomstig van de kwelder (het voorland) van de locatie waar de Brede Groene Dijk gaat worden aangelegd. Het is gebruikt om de ringdijk rond het kwelderdepot mee aan te leggen (waar de tweede kleisoort rijpt).



Figuur 2.1 Kleidepot Valgenweg waarvan klei van depot D7 is gebruikt (klei nr. 1)

De vierde, vijfde en zesde kleisoorten zijn kleisoorten die normaal op dijken worden toegepast en in dit onderzoek als referentie dienen. De vierde is klei die het waterschap beschikbaar heeft in een depot ten behoeve van dijkonderhoud. Deze klei van Nieuwe Statenzijl is afkomstig van de verbreding van de Westerwoldse Aa aan de binnenzijde van de zeedijk (zoet milieu).

De vijfde en zesde kleisoorten zijn in 2020 beproefd in de Deltagoot in het kader van een onderzoek naar de erosiebestendigheid van kleibekledingen met gras op het boventalud van zeedijken. Deze kleisoorten zijn als referentie toegevoegd omdat vrij veel bekend is over deze klei.



Figuur 2.2 Kleirijperij op de kwelder bij de Klutenplas, waar slib uit de polder Breebaart wordt gerijpt (kleisoort nr. 2) en klei uit de ringdijk is gebruikt, die uit de kwelder is gehaald voor het maken van de Klutenplas (kleisoort nr. 3)

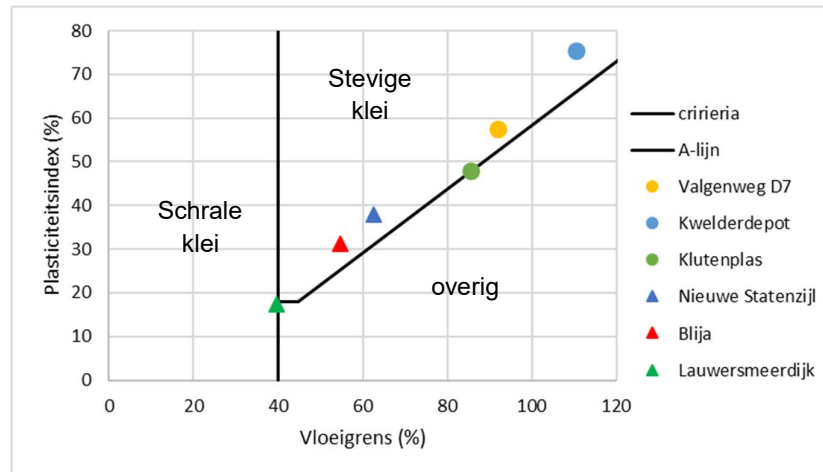
2.2 Eigenschappen

Een aantal belangrijke eigenschappen van de zes soorten klei zijn gegeven in Tabel 2-1 en Figuur 2.3. De eisen waaraan klei voor dijken moet voldoen volgens de TAW (1996) zijn vermeld in bijlage B.

Kleisoort	Nr.	Lutum (%)	zand (%)	Uitrolgrens (%)	Vloei-grens (%)	Organisch stofgehalte (%)	Zoutgehalte (g/l)
Valgenweg D7	1	27,8	11,8	34,4	92,0	10,9	16,6
Kwelderdepot	2	37,6	2,0	35,1	110,5	11,1	11,5
Klutenplas	3	32,9	5,5	37,5	85,5	7,6	17,0
Nieuwe Statenzijl	4	33,9	3,3	24,6	62,5	4,5	0,175
Blija	5	44,3	13,8	23,6	54,8	2,9*	gering
Lauwersmeerdijk	6	24,4	39,6	22,4	39,7	1,0*	gering

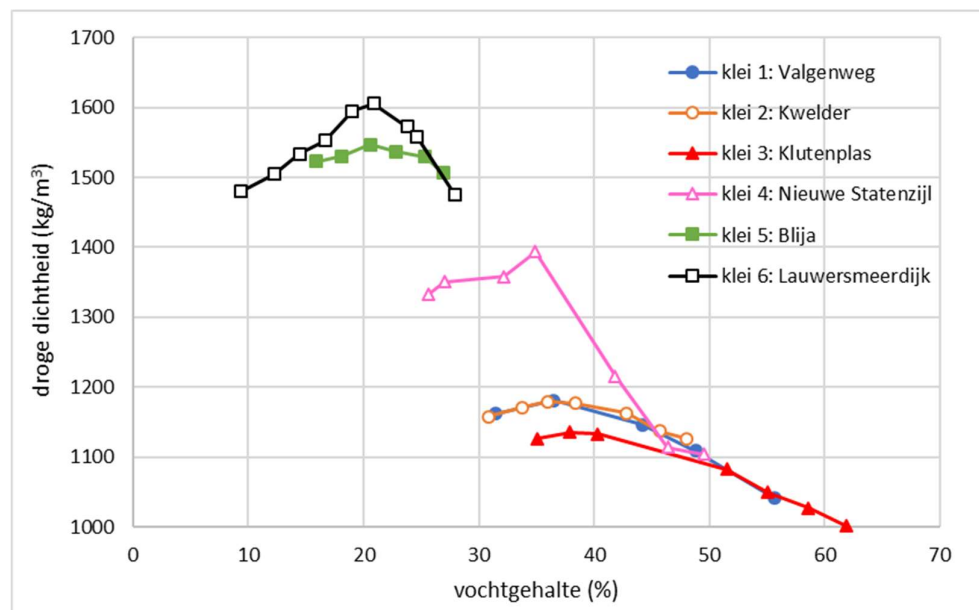
Tabel 2-1 Enkele relevante eigenschappen van de klei (zoutgehalte per liter bodemvocht; gloeiverlies van de fractie kleiner dan 2 mm; * = bepaald door middel van H_2O_2).

De bepalingen op de eerste 4 kleisoorten zijn uitgevoerd in het kader van de T0-meting ten behoeve van de proefdijk, zie Boskalis & van Oord (2020). De H₂O₂-bepaling geeft in het algemeen lagere waarden dan de gloeiverliesmethode. Voor de klei uit de Kleirijperij is tijdens de monitoring een verschilfactor van 0,7 gevonden, zie Deltares (2020).



Figuur 2.3 Klei-eigenschappen in relatie tot de criteria uit de Schematiseringshandleiding voor Grasbekledingen (WBI-2017)

De klei van Blija en van de Lauwersmeerdijk zijn ook geanalyseerd zoals het na jaren op de dijk aanwezig is. Er is vastgesteld dat de klei van Blija een sterke structuurvorming kent, waardoor de kleilaag in feite bestaat uit een stapeling van kleibrokken van 5-25 cm. De klei van de Lauwersmeerdijk is in de loop der jaren nauwelijks gestructureerd geraakt. Tijdens de proeven in de Deltagoot in 2020 zijn deze verschillen ook duidelijk naar voren gekomen. De klei van Blija erodeerde tijdens golfaanval broksgewijs en veel sneller dan dat van de Lauwersmeerdijk. Dit verschil in erosiesnelheid was niet verwacht, omdat de klei van Blija van categorie 1 is en die van de Lauwersmeerdijk van categorie 3 volgens de indeling van TAW 1996. Kennelijk is de structuurvorming veel belangrijker dan de vloeigrens en de plasticiteitsindex.



Figuur 2.4 Resultaten van de vijfpunts-proctorproeven.



Figuur 2.5 Steekringmonster voor bepalen van verdichting

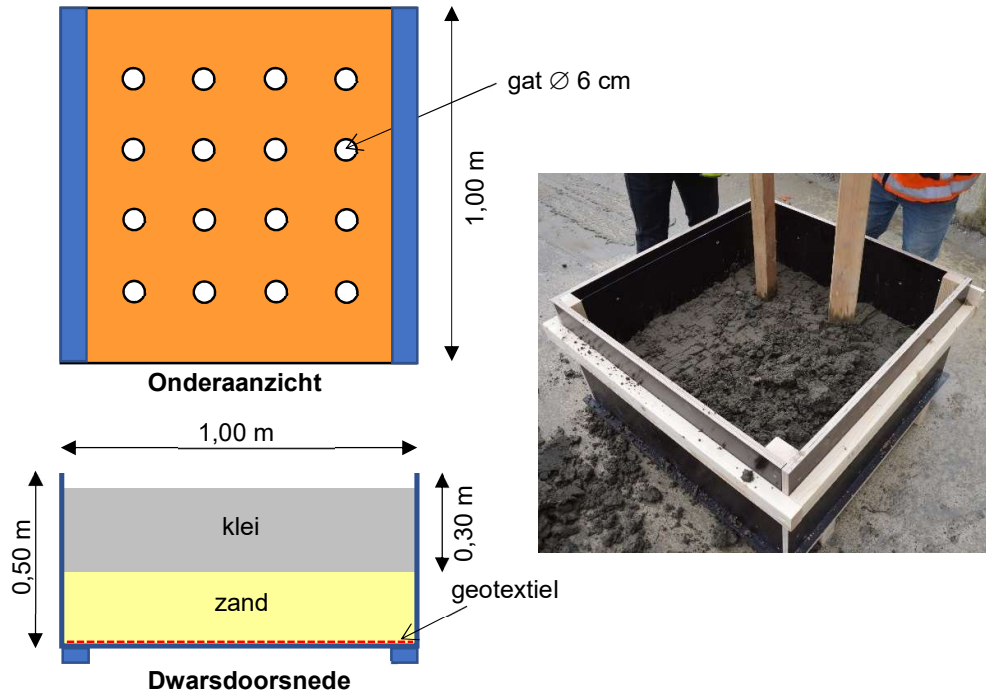
Op de verschillende kleisoorten zijn ook vijfpunts-proctorproeven uitgevoerd. De resultaten zijn te zien in Figuur 2.4. De metingen voor kleisoorten Valgenweg, Kwelder, Klutenplas en Nieuw Statenzijl zijn ontleend aan de rapportage aanleg proefdijk, T0-meting; zie Boskalis&van Oord (2020).

Opvallend is het grote verschil tussen de klei afkomstig uit de Kleirijperij enerzijds en die van Blija en Lauwersmeerdijk anderzijds. De klei afkomstig van de Kleirijperij heeft een veel hoger vochtgehalte en kan veel minder verdicht worden. Waarschijnlijk komt dat door het grote gehalte aan organische stof, zoals ook te zien is in Tabel 2-1. De klei afkomstig van Nieuwe Statenzijl zit er tussenin, zowel qua vochtgehalte en verdichting als qua gehalte aan organische stof.

3 Kleibakken en klimaatkamer

Om de te verwachten structuurvorming in de klei te kunnen bepalen is de klei in bakken van 1x1 m² gedaan en is de klei in een klimaatkamer versneld onderworpen aan wisselingen in omstandigheden die horen bij de verschillende seizoenen.

De bakken waren 50 cm hoog met gaten in de bodem voor de afwatering. Onderin is eerst een geotextiel aangebracht en vervolgens een laag zand met een dikte van 14 à 16 cm. Bovenop het zand is de klei in laagjes aangebracht en goed verdicht. De laagdikte van de klei was 26 à 29 cm. Een schematische schets en foto van de kleibakken is gegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Schematische weergave van de bakken met klei en zand en foto van tijdens het verdichten van de klei.

Na het vullen van de bakken is een steekringmonster genomen om vast te stellen of de mate van verdichting voldoende was (zie Figuur 2.5). De verdichting is gerelateerd aan het maximum in de proctorcurve. De resultaten zijn gegeven in Tabel 3-1. Het valt op dat de eerste vier kleisoorten een relatief hoge mate van verdichting hebben en de laatste twee juist relatief laag. Tijdens het inbouwen was de proctorcurve van de laatste twee nog niet beschikbaar en kon het dus niet gecontroleerd worden. Kennelijk was het watergehalte wat aan de hoge kant, waardoor de verdichting wat minder werd.

De bakken met klei zijn versneld blootgesteld aan de wisselingen van de seizoenen door ze in een klimaatkamer te plaatsen waar de temperatuur kon worden ingesteld tussen 0°C en 33°C (zie Figuur 3.2). Tijdens het warme seizoen is hier ook de luchtvochtigheid kunstmatig verlaagd door middel van een lucht-ontvochtiger. De volgende drie seizoenen zijn drie maal doorlopen:

1. Nat seizoen: een paar keer per dag met water besproeien en temperatuur tussen 7 en 12°C
2. Koud seizoen: temperatuur tussen 3 en 9°C, zonder water

3. Warm seizoen: temperatuur tussen 26 en 34°C, zonder water, met lage luchtvochtigheid

Kleisoort	Nr.	Natte dichtheid (kg/m ³)	Droge dichtheid (kg/m ³)	Vochtgehalte (%)	Consistentie-index (-)	Proctor-dichtheid (%)
Valgenweg D7	1	1729	1227	41,0	0,89	105
Kwelderdepot	2	1712	1180	45,1	0,87	101
Klutenplas	3	1695	1143	48,4	0,77	101
Nieuwe Statenzijl	4	1775	1360	30,5	0,84	101
Blija	5	1854	1380	34,3	0,66	89
Lauwersmeerdijk	6	1841	1406	30,9	0,51	88

Tabel 3-1 Resultaten van de verdichtingsmetingen met de steekringmonsters

In het natte seizoen neemt de klei water op. Door opname van water zwelt de klei, voor zover daar ruimte voor is in de bak. Tijdens het koude seizoen is de klei iets droger geworden, maar dit zal slechts vrij beperkt zijn gezien de lage temperatuur. In het warme seizoen is er wel een flinke verdamping en is de klei gaan krimpen en zijn krimp scheuren gaan ontstaan. Elk seizoen heeft 9-12 dagen geduurd, zoals te zien is in het tijdschema in Tabel 3-2.

cyclus	seizoen	start	eind	Aantal dagen
1	nat seizoen	11-11-2020	23-11-2020	12
1	koud seizoen	23-11-2020	03-12-2020	10
1	warm seizoen	03-12-2020	15-12-2020	12
2	nat seizoen	15-12-2020	24-12-2020	9
2	koud seizoen	24-12-2020	05-01-2021	12
2	warm seizoen	05-01-2021	14-01-2021	9
3	nat seizoen	14-01-2021	23-01-2021	9
3	koud seizoen	23-01-2021	03-02-2021	11
3	warm seizoen	03-02-2021	15-02-2021	12

Tabel 3-2 Tijdschema van de versnelde seizoenen



Figuur 3.2 Bakken met klei staan tijdens het natte seizoen naast de klimaatkamer (links) en worden voor het koude en warme seizoen opgestapeld waarna de klimaatkamer eroverheen gezet wordt (rechts).

Na een paar dagen in het eerste natte seizoen zijn in een kwart van het oppervlak een aantal gaten met een schroevendraaier geprikt om het water beter te laten toetreden. Deze zijn ook duidelijk te zien op de foto's in bijlage A. Het heeft uiteindelijk geen meetbaar effect gehad.

Aan het eind van het onderzoek zijn de bakken naast de klimaatkamer bewaard, zonder te sproeien, vanaf 16-02-2021 tot inspectie op 23 maart 2021. Foto's van de inspectie op 23 maart zijn gegeven in Bijlage A.

4 Resultaten van de metingen

Een paar maal gedurende de drie maanden dat de klei blootgesteld is aan de versnelde invloed van de seizoenen zijn foto's gemaakt van het kleioppervlak en zijn metingen gedaan aan de ontstane scheuren in de klei. Aan het eind van de periode van drie maanden zijn de bakken opengemaakt om ook de zijkant te kunnen inspecteren.

Al direct na het eerste warme seizoen op 15 december bleek de klei in de meeste bakken vele scheuren te hebben ontwikkeld in het oppervlak. De foto's van het kleioppervlak van dat moment zijn te zien in bijlage A.2. De metingen aan de scheuren zijn gegeven in Tabel 4-1.

Kleisoort	Nr.	15-12-2020		24-12-'20	4-1-'21	16-2-2021	
		Breedte (cm)	Diepte (cm)	Breedte (cm)	Breedte (cm)	Breedte (cm)	Diepte (cm)
Valgenweg D7	1	1,8	10,0	0,7	0,7	1,7	7,0
Kwelderdepot	2	1,1	10,0	0,6	0,7	1,6	15,0
Klutenplas	3	1,6	8,8	0,4	0,4	1,8	9,0
Nieuwe Statenzijl	4	1,4	4,0	0,3	0,5	0,9	2,5
Blija	5	1,2	11,0	0,2	0,3	1,2	7,0
Lauwersmeerdijk	6	0,8	12,0	0,2	0,3	0,8	12,0
Na seizoen		warm		nat	koud	warm	

Tabel 4-1 Resultaten van de metingen van de scheurbreedte en -diepte

Ook de resultaten van de metingen op de andere momenten waarop de scheuren zijn gemeten zijn in de tabel weergegeven. Duidelijk is te zien dat na het natte seizoen op 24 december de scheuren minder breed zijn. Aan het eind van de drie seizoenen was de scheurbreedte en -diepte weer ongeveer hetzelfde als na het eerste warme seizoen. Dit was ook de verwachting.

De diepte van de scheuren is gemeten met het stokje van een schuifmaat. Als de scheuren dus zeer grillig verlopen in de diepte, kan het zijn dat niet de volledige diepte is gemeten.

Aan de hand van de foto's in bijlage A is er een duidelijk verschil te zien tussen de klei van de Lauwersmeerdijk (Kleisoort nummer 6) en de andere kleisoorten. De klei van de Lauwersmeerdijk bevat slechts een paar smalle scheuren, terwijl de andere kleisoorten een veel sterker scheurpatroon laten zien. Deze klei heeft een veel lager lutumgehalte en/of veel hoger zandgehalte, waardoor de klei minder krimpt/zwelt. Het gevolg is dat er veel minder scheuren ontstaan. Ook op de Lauwersmeerdijk is geconstateerd dat zelfs na jaren er betrekkelijk weinig structuurvorming is opgetreden.

Op de dijk bij Blija is wel een sterker structuurvorming opgetreden. We zien dat ook terug in de vele grote scheuren die ontstaan zijn in de bak met klei van het huidige onderzoek. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de in dit onderzoek gehanteerde methode een goed beeld geeft van de toekomstige structuurvorming in de klei.

Zowel de klei van de Lauwersmeerdijk als die van Blija zijn afgelopen jaar in de Deltagoot beproefd als kleibekleding met gras op het boventalud van een zeedijk. Daarbij is opgevallen dat de klei van de Lauwersmeerdijk beter presteerde dan die van Blija. Tijdens de proeven in de Deltagoot met de klei van Blija konden de golven gemakkelijk brokken en brokjes klei wegslaan. Er was duidelijk te zien dat brokjes klei in het rond vlogen tijdens de golfbelasting.

De klei van Nieuwe Statenzijl had weliswaar flinke scheuren, maar deze scheuren gingen niet erg diep in vergelijking tot de kleisoorten 1 t/m 3 en 5, namelijk slechts 2 à 4 cm. Tijdens de inspectie op 23 maart viel op dat de scheuren weliswaar heel diep doorlopen, maar een grillig verloop hebben en in de diepte veel smaller zijn. Op grond hiervan wordt vermoed dat de klei minder gestructureerd zal raken dan deze andere kleisoorten.

Aan de hand van de resultaten wordt geconcludeerd dat er de volgende mate van structurering van de klei te verwachten is bij de kleisoorten:

1. Valgenweg D7: sterke structurering
2. Kwelderdepot: sterke structurering
3. Klutenplas: sterke structurering
4. Nieuwe Statenzijl: beperkte structurering
5. Blija: sterke structurering
6. Lauwersmeerdijk: nauwelijks structurering

De klei van Blija heeft een laag organisch stofgehalte en is toch erg gestructureerd. Wat daarbij opvalt in Tabel 2-1 is het hoge zandgehalte bij de Lauwersmeerdijk. Mogelijk draagt dit bij aan het verschil in structuurvorming met de andere kleisoorten.

De verwachte structuurvorming van de klei van Blija is dus goed vergelijkbaar met die van de kleirijperij. Daarom is het de verwachting dat de erosiesnelheid van de Deltagootproef met de klei van Blija een hele goede indruk kan geven van de te verwachten erosiesnelheid met de klei van de kleirijperij in de bovenste meter onder het maaiveld, nadat dit een aantal jaren in de dijk heeft gezeten.

Verder betekenen de scheuren dat er mogelijk na één of twee jaar maatregelen genomen moeten worden om de scheuren in het gras aan te pakken.

Het voorspellen van de mate van structuurvorming op basis van de eigenschappen is nog niet goed mogelijk. Naar verwachting geeft een zwel-krimp-proef (zoals krimpgrens meting) wel een goede indicatie.

5 Conclusies

Voor het onderzoek in het kader van de toepasbaarheid van klei uit de Kleirijperij (lokaal gewonnen kwelder materiaal en gerijpte baggerspecie) voor het bouwen van onder andere de Brede Groene Dijk is onderzoek gedaan naar de te verwachten structurering van de drie soorten klei afkomstig uit de Kleirijperij, aangevuld met drie soorten klei als referentie.

Het onderzoek is uitgevoerd met een nog niet eerder toegepaste methode, namelijk door de klei in bakken van 1x1 m² te doen in een laag van 26 à 29 cm bovenop een laagje zand. Vervolgens is de klei versneld onderworpen aan de invloed van de seizoenen door eerst de klei gedurende een bepaalde periode enkele keren per dag nat te sproeien, vervolgens zo'n zelfde periode koud en droog weg te zetten bij een temperatuur van ongeveer 5° en tenslotte zo'n zelfde periode te verwarmen tot omstreeks 30°.

De gevolgde procedure leidt er toe dat de klei gaat krimpen en zwellen, waardoor scheuren ontstaan. Naarmate er meer scheuren ontstaan, is de verwachting dat de klei sterker gestructureerd zal raken in de loop der jaren.

Doordat ook de referentieklei van de dijk bij Blija en van de Lauwersmeerdijk is meegenomen in dit onderzoek, kon vastgesteld worden dat deze onderzoeksmethode een vrij goede voorspelling geeft van de mate van structurering die in de loop der jaren gaat optreden. De klei op de dijk bij Blija is namelijk sterk gestructureerd (Klein Breteler 2021) en die leverde in deze methode brede en diepe scheuren op. De klei op de Lauwersmeerdijk daarentegen is nauwelijks gestructureerd en liet in deze onderzoeksmethode ook weinig scheuren zien.

Aan de hand van de resultaten wordt geconcludeerd dat er de volgende mate van structurering van de klei te verwachten is bij de kleisoorten:

1. Valgenweg D7: sterke structurering
2. Kwelderdepot: sterke structurering
3. Klutenplas: sterke structurering
4. Nieuwe Stanzijl: beperkte structurering
5. Blija: sterke structurering
6. Lauwersmeerdijk: nauwelijks structurering

De verwachte structuurvorming van de klei van Blija is dus goed vergelijkbaar met die van de Kleirijperij. Daarom is het de verwachting dat de erosiesnelheid van de Deltagootproef met de klei van Blija een hele goede indruk kan geven van de te verwachten erosiesnelheid met de klei van de Kleirijperij in de bovenste meter onder het maaiveld, nadat dit een aantal jaren in de dijk heeft gezeten. Verder betekenen de scheuren dat er mogelijk na één of twee jaar maatregelen genomen moeten worden om de scheuren in het gras aan te pakken.

Het voorspellen van de mate van structuurvorming op basis van de eigenschappen is nog niet goed mogelijk. Naar verwachting geeft een zwel-krimp-proef (zoals krimpgrens meting) wel een goede indicatie.

Referenties

Klein Breteler, M. (2021)

Erosie van kleibekleding met gras op boventalud van Waddenzeedijken
Meetverslag Deltagootproeven
Deltares, conceptrapport 11204841, 12 maart 2021

Rijkswaterstaat (2019)

Schematiseringshandleiding grasbekleding, WBI 2017
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 28 november 2019

TAW (1996)

Technisch rapport klei voor dijken
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, mei 1996

Boskalis&van Oord (2020)

De Aanleg van een Proefdijk ; Verslaglegging 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.

HWBP (2018)

Handboek Dijkenbouw; Uitvoering versterking en nieuwbouw; 2018.

Deltares (2020)

Monitoringsrapportage Klerijperij; Rapportage 2018 en 2019 Kleirijperij Delfzijl; Deltares 2020;
11201344-002-ZKS-0003.

A Foto's

A.1 Beginsituatie (5-11-2020)

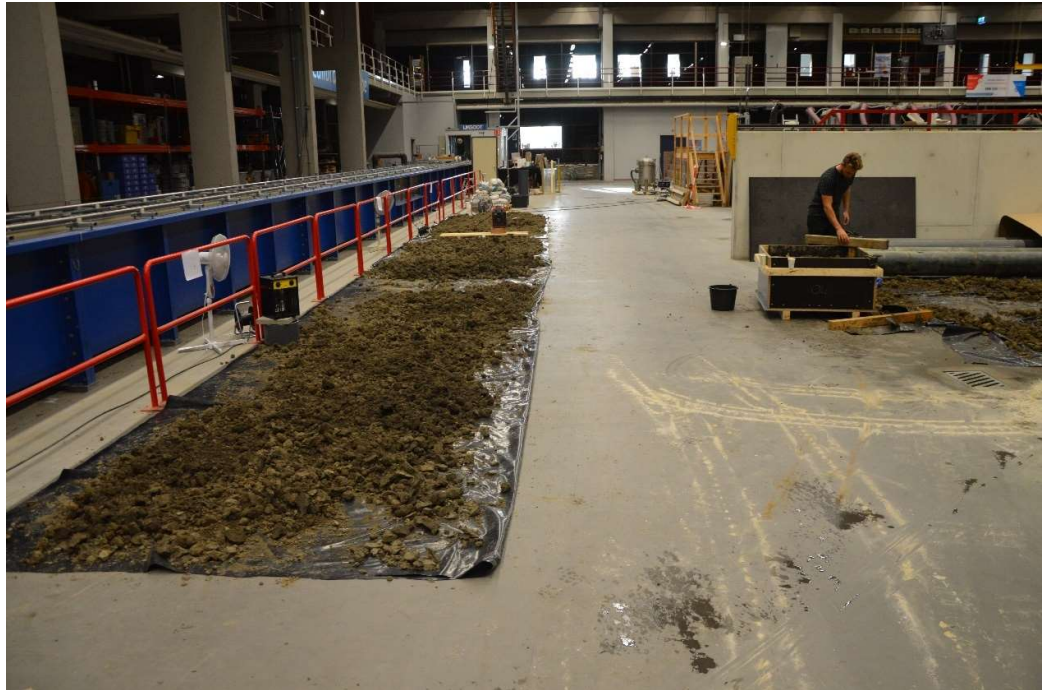


Fig. A-1 Klei drogen om de juiste consistentie te krijgen voor het aanbrengen in de bakken



Fig. A-2 Steekringmonster na het aanbrengen van de klei in de bak



Fig. A-3 Klei 2: Kwelderdepot



Fig. A-4 Klei 5: Blija

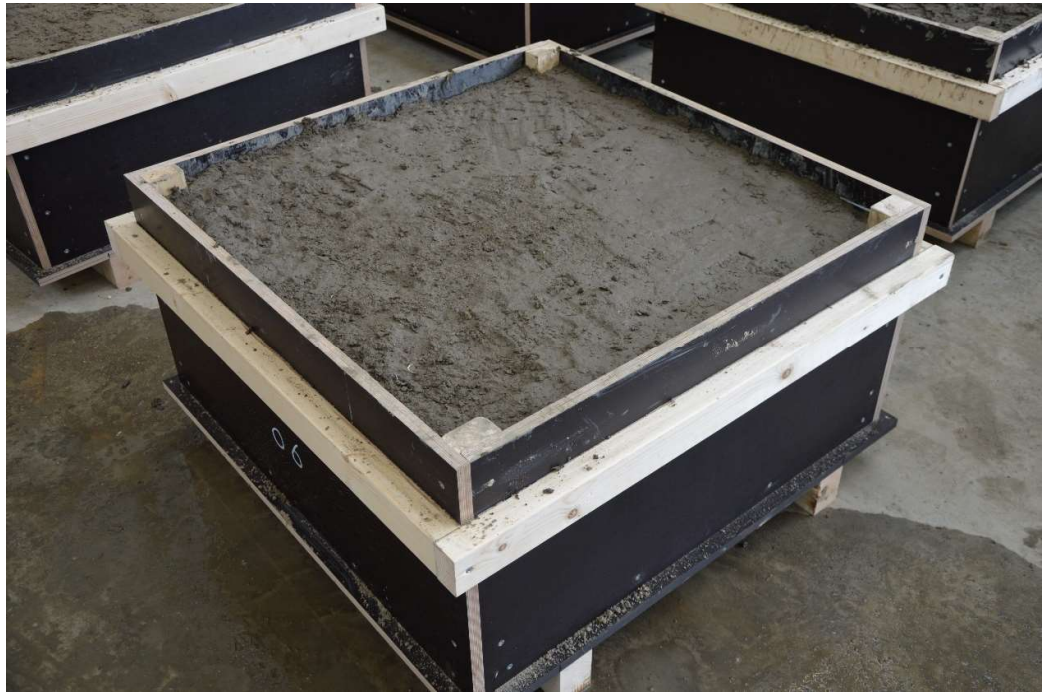


Fig. A-5 Klei 6: Lauwersmeerdijk

A.2 Na warme periode aan eind eerste cyclus (15-12-2020)



Fig. A-6 Klei 1: Valgenweg D7



Fig. A-7 Klei 2: Kwelderdepot



Fig. A-8 Klei 3: Klutenplas



Fig. A-9 Klei 4: Nieuw Statenzijl



Fig. A-10 Klei 5: Blija



Fig. A-11 Klei 6: Lauwersmeerdijk

A.3 Na natte periode in tweede cyclus (24-12-2020)



Fig. A-12 Klei 1: Valgenweg D7



Fig. A-13 Klei 2: Kwelderdepot



Fig. A-14 Klei 3: Klutenplas



Fig. A-15 Klei 4: Nieuwe Statenzijl



Fig. A-16 Klei 5: Blija



Fig. A-17 Klei 6: Lauwersmeerdijk

A.4 Na koude periode in tweede cyclus (4-1-2021)



Fig. A-18 Klei 1: Valgenweg D7



Fig. A-19 Klei 2: Kwelderdepot



Fig. A-20 Klei 3: Klutenplas



Fig. A-21 Klei 4: Nieuwe Statenzijl



Fig. A-22 Klei 5: Blija



Fig. A-23 klei 6: Lauwersmeerdijk

A.5 Eindsituatie (16-2-2021)



Fig. A-24 Klei 1: Valgenweg D7



Fig. A-25 Klei 2: Kwelderdepot



Fig. A-26 Klei 3: Klutenplas



Fig. A-27 Klei 4: Nieuwe Statenzijl



Fig. A-28 Klei 5: Blija



Fig. A-29 Klei 6: Lauwersmeerdijk

A.6 Inspectie op 23 maart 2021



Fig. A-30 Klei 1: Valgenweg D7



Fig. A-31 Klei 2: Kwelderdepot



Fig. A-32 Klei 3: Klutenplas



Fig. A-33 Klei 4: Nieuwe Statenzijl



Fig. A-34 Klei 5: Blija



Fig. A-35 Klei 6: Lauwersmeerdijk

B Eisen voor klei uit TAW (1996)

In 1996 zijn door de TAW eisen vastgesteld waar klei aan moet voldoen om toegepast te kunnen worden in dijken. Er zijn daarbij drie categorieën van erosiebestendigheid gedefinieerd. Deze eisen zijn deels gebaseerd op de Atterbergse grenzen:

- Vloiegrens W_L
- Uitrolgrens W_p
- Plasticiteitsindex: $I_p = W_L - W_p$

Tijdens het aanbrengen van klei zijn er eisen ten aanzien van het watergehalte. Het watergehalte wordt gedefinieerd ten opzichte van de massa aan droge stof van de klei:

- Watergehalte: $W = (\rho_{nat} - \rho_{droog}) / \rho_{droog}$
- Consistentie-index: $I_c = (W_L - W) / I_p$

De eisen voor erosie categorie 1 (erosiebestendige klei) zijn:

- $W_L > 0,45$, en
- $I_p > 0,73 * (W_L - 0,20)$, en
- zandgehalte kleiner dan 40%

De eisen voor erosie categorie 2 (matige erosiebestendigheid) zijn:

- $W_L < 0,45$, en
- $I_p > 0,18$, en
- zandgehalte kleiner dan 40%

De eisen voor erosie categorie 3 (weinig erosiebestendige klei) zijn:

- $I_p < 0,73 * (W_L - 0,20)$, en/of
- $I_p < 0,18$, en/of
- zandgehalte groter dan 40%

Bovenstaande categorieën zijn ook weergegeven in Fig. B-1.

Voor alle dijken geldt tevens:

- gehalte aan organische stof moet kleiner zijn dan 5%
- zoutgehalte (NaCl g/l bodemvocht) moet kleiner zijn dan 4%
- kalkgehalte (HCl massaverlies): kleiner dan 25%
- geen extreme verkleuringen bij ontgraven of drogen (helder brood, helder geel, helder blauw of we veel zwarte plekken)
- geen afwijkende sterke geur (rotte eieren, olie- of kolenachtig)

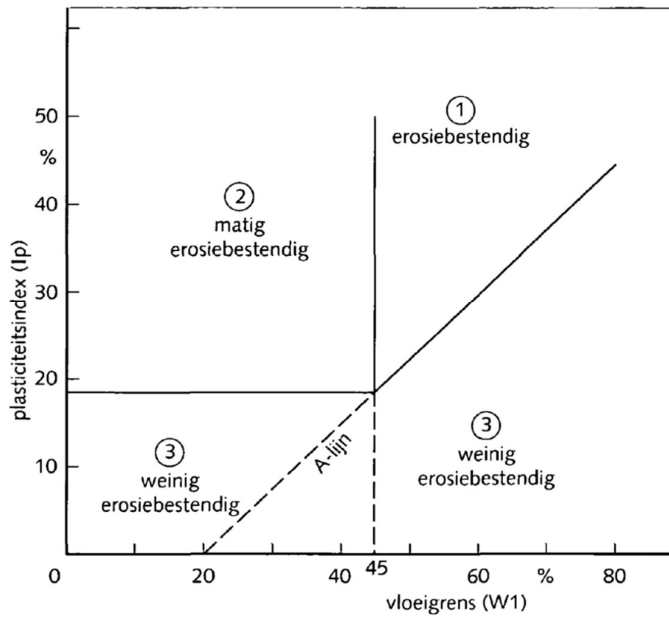


Fig. B-1 Erosiebestendigheid weergegeven in het plasticiteitsdiagram

In de schematiseringshandleiding voor gras uit het WBI-2017 zijn de eisen iets aangepast, zoals weergegeven in het diagram van Fig. B-2.

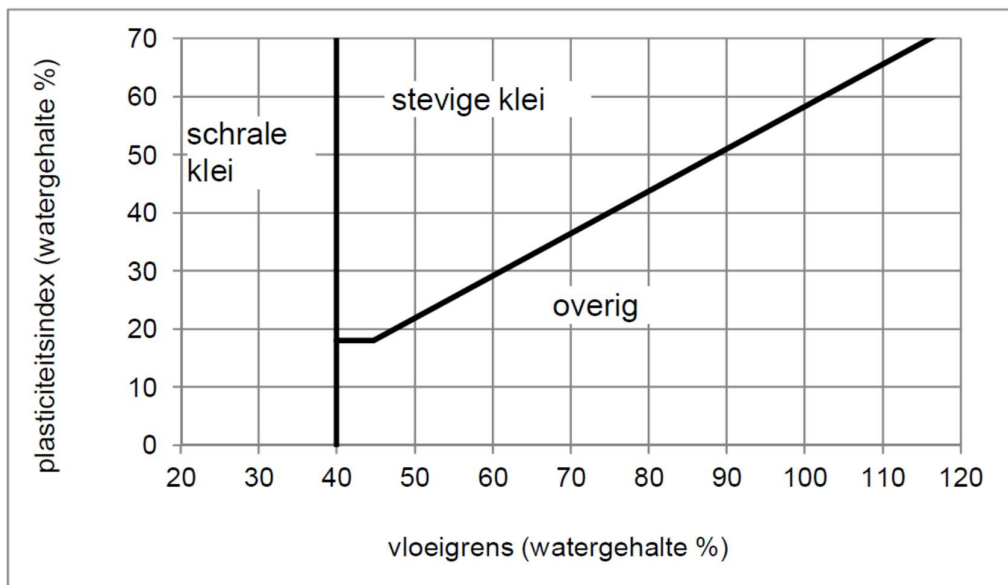
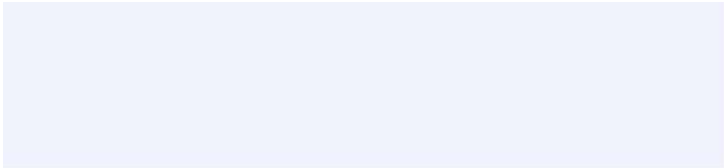


Fig. B-2 Indeling erosie categorie volgens de schematiseringshandleiding voor gras uit het WBI-2017



Deltares

www.deltares.nl

