



## Bekrammingsonderzoek Living Lab Hedwige-Prosperpolder



## Bekrammingsonderzoek Living Lab Hedwige-Prosperpolder

**Auteur(s)**

Ulrich Förster



## Bekrammingsonderzoek Living Lab Hedwige-Prosperpolder



<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat
<b>Contactpersoon</b>	Anco van den Heuvel
<b>Referenties</b>	-
<b>Trefwoorden</b>	Bekramming, erosie, Wiki Noodmaatregelen, grasmat, overloop, kleilaag, ankerkracht

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	16-12-2021
<b>Projectnummer</b>	11206793-009
<b>Document ID</b>	11206793-009-ZWS-0003
<b>Pagina's</b>	48
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Ulrich Förster	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Ulrich Förster 	André Koelewijn 	Goaitske de Vries 	

# Samenvatting

Op 31 maart 2021 werden in het kader van een oefening in de Living Lab Hedwige- en Prosperpolder (LLHPP) van het Intereg-project Polders 2 C's bekrammingen op een binnentalud in de Hedwigepolder geplaatst. Deltares heeft in het kader van het project Wiki Noodmaatregelen op basis van de door RWS beschikbaar gestelde informatie deze bekrammingsoefening bedacht en een situatieschets met de geplande positie van de verschillende bekrammingsdoeken op het talud en de positie van toe te passen krammen aangeleverd. De plaatsing werd door de bij de oefening aanwezige deelnemers van verschillende waterschappen en Rijkswaterstaat onder begeleiding van Deltares (Wiki Noodmaatregelen) uitgevoerd.

Het doel van deze oefening was om met de deelnemers bekrammingen volgens de werkinstructie aan te leggen en voor verschillende typen doek en krammen te controleren hoe snel deze kunnen worden geplaatst. Een ander doel was om de invloed van de verschillende doeken (biologisch afbreekbare doeken en geotextielen) op de ontwikkeling van de graszode in de loop van de tijd te onderzoeken. Hiervoor is de graszode bij een aantal vakken op het talud worden verwijderd en de kale klei opnieuw ingezaaid. Een deel van de kleivakken en een deel van de graszode zijn dan met de bekrammingen afgedekt. Op een later moment bestond ook de mogelijkheid één van de bekrammingen met een overloopgenerator te beproeven.

In deze rapportage wordt verslag gelegd van de uitvoering van de bekrammingen, van meerdere observatiemomenten tijdens de zomer en de inspectie van de bekrammingen en de ontwikkeling van de vegetatie naast en onder de bekrammingen in het najaar, de testen om de verankeringskracht van de krammen te beoordelen en van de observaties tijdens de uitgevoerde overstromingstest met een overloopgenerator.

Het valt op dat zelfs na 6 maanden ieder anker nog een serieuze houdkracht toont.

Bij het met een Tensarfilterdoek afgedekte binnentalud bleek bij de overloopproof een zeer groot deel van het over het doek stromende water al over de eerste meters snel de doek in te dringen en dan onder het doek over het talud naar beneden te stromen. Het doek heeft dan geen erosieremmend effect wat zich met name door de sterke uitspoeling van geërodeerde klei langs de opgevulde rijsporen uitte.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Proefvoorbereiding</b>	<b>7</b>
2.1	Geplande testopstelling	7
2.2	Uiteindelijk gerealiseerde testopstelling	8
<b>3</b>	<b>Plaatsen van de bekrammingen</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Ontwikkeling van de testlocatie in de tijd</b>	<b>18</b>
4.1	30 april 2021	18
4.2	18 juni 2021	19
<b>5</b>	<b>Inspectie en beproeving op 8 oktober</b>	<b>22</b>
5.1	Inspectie van de grasontwikkeling	22
5.2	Inspectie van de krammen	28
5.3	Bepalen van de verankeringskracht van de krammen	29
<b>6</b>	<b>Overloopproof met overloopgenerator</b>	<b>32</b>
6.1	Situatie voor proefuitvoering	32
6.2	Observaties tijdens proef met overloopgenerator	33
6.3	Inspectie en beproeving bekrammen na proefuitvoering	37
<b>7</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>44</b>
7.1	Conclusies	44
7.1.1	Plaatsen van de krammen	44
7.1.2	Ankerkracht van de pennen na 6 maanden	44
7.1.3	Invloed van het type bekrammingsdoek op de grasontwikkeling	45
7.1.4	Resultaten overloopproof met Tensardoek	45
7.2	Aanbevelingen	46

# 1 Inleiding

Op 11 maart 2021 werd Wiki Noodmaatregelen gevraagd om mee te denken over een oefening in de Living Lab Hedwige- en Prosperpolder (LLHPP) voor het plaatsen van bekrammingen op een binnentalud in de Hedwigepolder. Deze oefening was gepland voor 31 maart 2021 en zou door de bij de oefening aanwezige deelnemers van Rijkswaterstaat en verschillende waterschappen worden uitgevoerd. Deltares heeft in het kader van het project Wiki Noodmaatregelen op basis van de door RWS beschikbaar gestelde informatie een bekrammingsoefening bedacht en een situatieschets met de geplande positie van de verschillende bekrammingsdoeken op het talud en de positie van toe te passen krammen aangeleverd, zonder dat betrokkenen hierbij over verdere gebiedskennis beschikten.

Het doel van deze oefening was om met de deelnemers bekrammingen volgens de werkinstructie aan te leggen en voor verschillende typen doek en krammen te controleren hoe snel de krammen kunnen worden geplaatst. Een ander doel was om de invloed van de verschillende doeken op de ontwikkeling van de graszode in de loop van de tijd te onderzoeken. Hiervoor zou oorspronkelijk bij een aantal kleine vakken op het talud de graszode worden verwijderd en de kale klei opnieuw worden ingezaaid, zodat met elke soort bekrammingsdoek zowel de graszode als de kleivakken konden worden afgedekt. Pas kort voor de uitvoering van de oefening konden de benodigde materialen (verschillende soorten krammen, biologisch afbreekbare doeken en geotextielen) worden bezorgd. De aantallen en afmetingen van de doeken waren hierdoor anders dan in de schets voorzien. Ook werd pas tijdens de oefening duidelijk dat ook nog de mogelijkheid bestond om op een later moment één van de bekrammingen met een overloopgenerator te beproeven.

Het ontwerp van de hier beschreven bekrammingsoefening kwam dus betrekkelijk ad hoc tot stand. Bovendien was Wiki Noodmaatregelen niet bij de preparatie van het desbetreffende dijktaalud betrokken en ook niet aanwezig tijdens de overloopproof. Deze werden namens het Interreg-project Polder2C's uitgevoerd en begeleid.

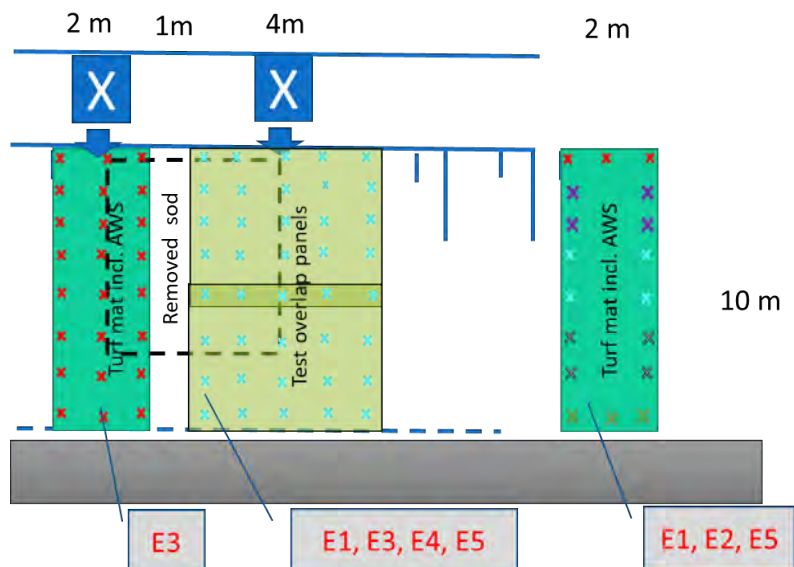
## 2 Proefvoorbereiding

### 2.1 Geplande testopstelling

De beschreven proeven zijn voorbereid door allereerst een vijftal onderzoeksdoelen te formuleren. Deze betroffen:

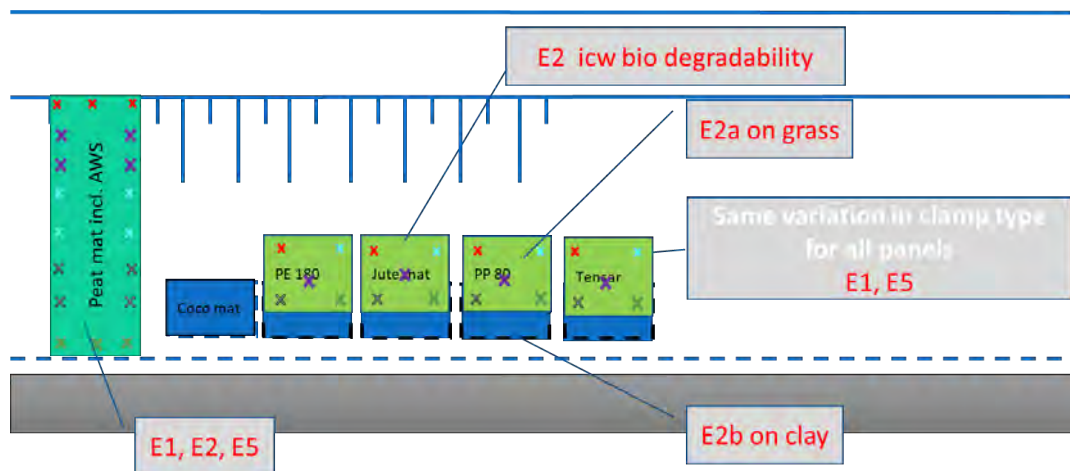
1. Gemak van het plaatsen van de verschillende soorten krammen (U-kram, T-/Y-kram; Wurmi- / Peggy Peg schroefharing, Gripple Terra Lock pin met contraplaat).
2. Onderzoek van het herstel van de bestaande graszode en de nieuw ingezaaide kleivlakken binnen één groeiseizoen bij toepassing van verschillende types bekrammingsdoek (Tensar-, Ten Cate Geolon-filterweefsel 180 (PE-filterdoek) een PP-filterdoek, jute- en kokos- en hennepmat (laatstgenoemde werd later een Joosten "Ecomat K400").
3. Testen van de bekrammingen onder overloopbelasting in het najaar van 2021 (versterkte grasmat en Tensarbekramming).
4. Testen van het plaatsen van meerdere banen doek met een overlap.
5. Toepassen van de op dat moment recente versie van de werkinstructie voor het plaatsen van een bekramming (v 0.8). (N.B.: deze werkinstructie is eigenlijk voor toepassing voor bescherming van het buitentalud opgesteld).

De oorspronkelijk geplande testopstelling is getoond in Figuur 1 en Figuur 2. De codes beginnend met een 'E' verwijzen naar bovenstaande onderzoeksdoelen voor erosiebescherming.



Figuur 1 Oorspronkelijk geplande positie van de grote teststrook die op een later moment met een overloopgenerator ('X') zou worden beproefd. Het grijze vlak staat voor de asfaltweg op de landzijdige berm.

Het eigenlijke idee was om twee even lange bekrammingsstroken met een overlap tussen de twee door een andere partij te plaatsen versterkte grasmatten ('turf mats') te plaatsen. De oorspronkelijke graszode zou alleen over een klein gedeelte worden verwijderd, zó dat de bekramming over de ene helft volledig op de graszode en op de andere helft voor een deel op klei zou komen te liggen. Deze twee bekrammingsstroken zouden op een later moment met een overloopgenerator eventueel kunnen worden getest.



Figuur 2 Oorspronkelijk geplande positie van de overige bekrammingstesten (rechts van de te versterken grasmat (turf mat)). De blauwe vlakken symboliseren de vlakken met klei aan de oppervlakte, de lichtgroene vlakken de bekrammingsdoeken en het witte vlak de intacte graszode.

Ook de overige door Wiki Noodmaatregelen te plaatsen bekrammingen zouden dus allemaal voor de helft op de graszode en voor de andere helft op klei komen te liggen. Alleen de kokosmat zou volledig direct op klei (dus zonder grasstrook) komen te liggen.

Deze overige bekrammingen zouden oorspronkelijk niet worden belast door overloop.

## 2.2 Uiteindelijk gerealiseerde testopstelling



Figuur 3 Situatie op 29 maart 2021.

De graszode op het binnentalud is door een aannemer op zeer grote schaal middels een kraan met korte giek afgegraven. Duidelijk te zien is de diepte van deze afgravingen t.o.v. de hoogte van de graszode. In het bijzonder aan de onderkant van het talud is de grond behoorlijk verstoord geraakt en is diepe spoorvormig door het materieel opgetreden. Helaas waren de resterende stroken met graszode na deze bewerking relatief smal, onregelmatig begrensd en ook grotendeels niet meer volledig intact. De kale stroken zijn achteraf weer met (losse) klei opgevuld en geëgaliseerd, werkend vanaf beneden met een kraan die daarbij het talud opreed, maar de klei werd daarbij niet voldoende verdicht. Verdichting vond vooral plaats onder de rijsporen, deze zijn vervolgens met losse klei opgevuld. Deze grootschalige afgraving van de toplaag en verstoring van het talud was zo niet gepland in het ontwerp van de bekrammingstests. De problematiek met de diepe spoorvorming werd pas na afloop van de overloopproof in november aan Deltares / Wiki Noodmaatregelen gecommuniceerd. Het laten gereedmaken van het terrein werd niet door Deltares / Wiki Noodmaatregelen, maar elders geregeld, waarschijnlijk binnen het Polder2C's project.



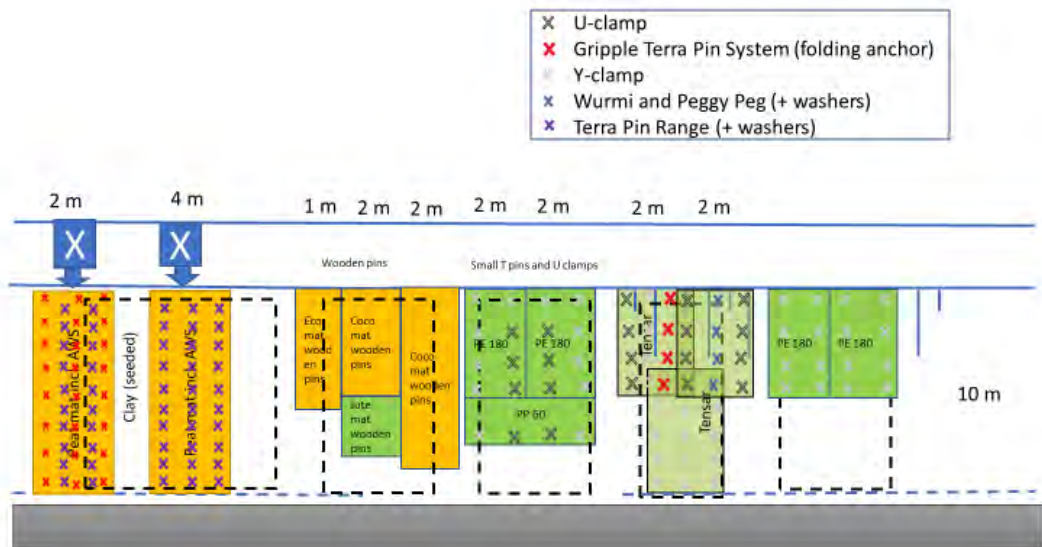
Op de dag van het plaatsen van de bekrammingen is de kleigrond handmatig met 20 kg graszaad ingezaaid en daarna niet meer kunstmatig bevoeid.

Vanwege de beperkte breedte van de resterende grasstroken, was het niet mogelijk met dezelfde soort bekramming even grote vlakken van zowel gras als klei te bedekken en per type kram evenveel tests zowel in gras als in klei te doen. Per rij, vanaf de kruin richting de teen, werd dezelfde soort kram toegepast.



Figuur 4 Situatie op 31 maart 2021 na plaatsing van alle bekrammingen. Van links naar rechts: Turf mat met Gripple Terra-Lock ankers (klapankers) en Terra-Lock pinnen (niet binnen Wiki Noodmaatregelen aangelegd en beproefd); Joosten Ecomat K400, daaronder jutemat, daarnaast kokosmat (allemaal gefixeerd met houten pinnen); PE 180 mat, daaronder een veel water- en lichtdoorlatender Ten Cate Geleon® PE 60 mat, dan Tensar TriAx TX190L-G Geogrid en Ten Cate Geleon® PP 180 mat.

De Ecomat en de jute mat liggen grotendeels op de geroerde kleilaag. Hetzelfde geldt voor het onderste, smallere gedeelte van de Tensar bekramming. De Ecomat en de jute mat erosiebeschermingsmatten zijn van biologisch afbreekbare vezels en worden met pennen van biologisch afbreekbaar polymeer verankerd.



Figuur 5 Uiteindelijk tijdens de oefening gerealiseerde bekrammingen.



*Figuur 6 Verschillende types krammen om doek op de grond te fixeren: Y-pinnen met oog (van bouwstaal met ruw oppervlak, 45 cm), U-krammen (30 cm), T-pinnen (wit met glad oppervlak, 40 cm).*



*Figuur 7 links: Wurmi® (schroefvormige haring (30 cm lang) met contraplaat (150 x 150 mm, dikte 8 mm)). Midden: Gripple® TL-P3 (varkensstaartvormige Terra-Lock pin (30 cm lang) met TLP-washer (50 bij 50 mm)). Rechts: Peggy Peg (30 cm lang). De platen dienen voor een betere fixering van het doek en een betere krachtoverdracht door gewichtsspreiding. Beide pinnen worden middels een boor-adapter en een accuschroevendraaier in de grond geboord. De schroefharingen en contraplatten zijn van aluminium.*

### 3 Plaatsen van de bekrammingen

De bekrammingen werden op 31 maart 2021 geplaatst.



*Figuur 8 Plaatsen van de bekramming op het binnentalud met een Tensardoek. De baan doek wordt hier aan de kruin van de dijk met een Wurmi-pen in het midden van de rand van het doek gefixeerd en de baan wordt daarna naar de teen toe afgerold.*



*Figuur 9 De tweede baan doek wordt direct daarna met circa 1 m overlap geplaatst en afgerold.*



*Figuur 10 Na het plaatsen van de twee banen wordt het Tensardoek aan de kruin van de dijk met andere typen krammen vastgezet. Links met een lange ijzeren Y-kram, rechts met een U-kram. De stijve Y-pen is snel en makkelijk met een voorhamer in de grond te krijgen. De staafdikte van de U-kram is relatief dun, waardoor de kram minder stijf is en daardoor bij het inslaan met de voorhamer makkelijk vervormt en minder snel in de grond te slaan is.*



*Figuur 11 Blik langs de kruin op Tensarbekramming. De krammen zitten met hun horizontale gedeelte direct op het doek met volledig contact tussen doek en pen.*



*Figuur 12 Vanaf de kruin naar de teen toe wordt het doek met dezelfde type kram per rij vastgezet, in totaal 5 rijen met verschillende types krammen. De onderste meter van het doek wordt nog niet vastgezet, zodat het volgende doek nog met overlap onder de al geplaatste bekramming kan worden gelegd.*



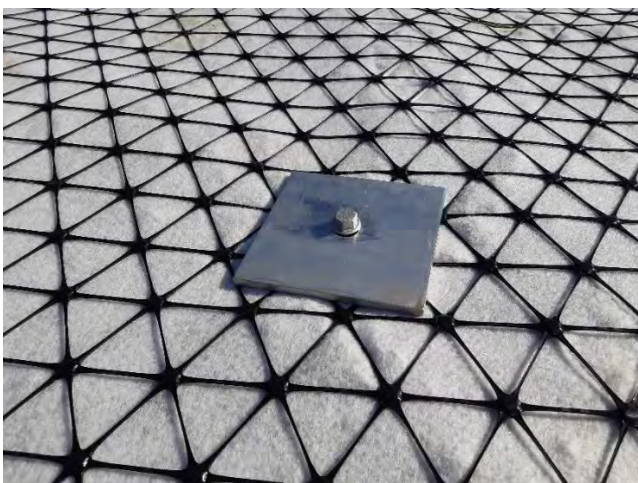
*Figuur 13 Het derde Tensardoek wordt met 1 m overlap onder het daarboven liggende doek met een Y-pen gefixeerd en daarna naar de teen toe afgerold (links). Daarna wordt het doek met dezelfde typen krammen als in de rij daarboven vastgezet. Alleen een klein deel van het doek zit hier op de intacte zode. Het merendeel van het doek bedekt de vers ingezaaide, niet-verdichte kleigrond.*



*Figuur 14 U-kram zit volledig op het grid van het doek.*



*Figuur 15 Gripple Terra-Lock-pen zit volledig tegen de contraplaat ("washer") aan, maar er is geen volledig contact tussen de washer en het grid van het Tensardoek.*



*Figuur 16 Ook de Wurmi-pen zit met zijn kop volledig tegen de plaat aan, die wederom volledig contact heeft met het doek.*

Zowel de Wurmi als de Grippe Terra-Lock pennen worden met een accuschroevendraaier middels adapter snel in de grond geboord. Alleen af en toe komt bij de Wurmi de adapter klem te zitten aan de kop van de pen. Ook komt bij het inboren van de Wurmi in het PE filterweefsel het doek aan de schroef vast te zitten, waardoor het doek met de draibeweging van de pen meegetrokken wordt.



*Figuur 17 Plaatsen van de kokosmat (links) en de Ecomat (rechts) vanaf de kruin. Op de kruin is de graszode nog intact. Een bovenrand van een deel van de kokosmat is in de kruin ingegraven.*



*Figuur 18 De bio-afbreekbare doeken worden allemaal met bio-afbreekbare pennen vastgezet. Het horizontale gedeelte van deze pennen is relatief kort, maar geeft een goed contact met het doek.*



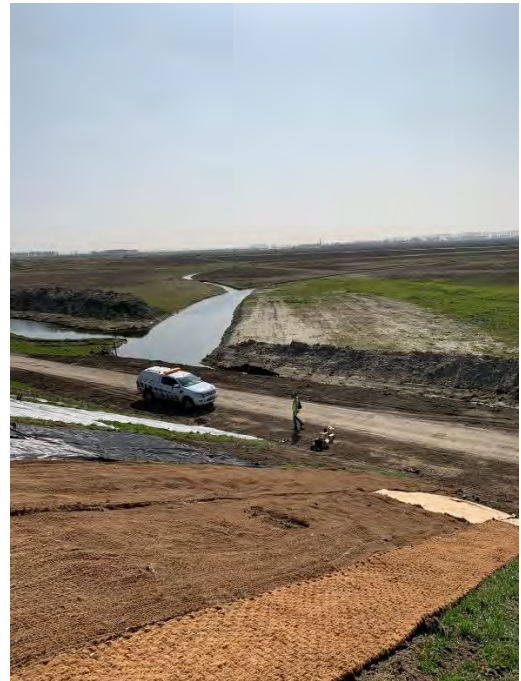
*Figuur 19 Onderaan de kokosmat wordt een jute mat geplaatst. Tussen de bio-afbreekbare doeken wordt geen overlap gecreëerd omdat deze bekrammingen later niet zullen worden getest met overloop.*



*Figuur 20 plaatsen van twee panelen PE-filtratieweefsel en fixering met korte, gladde T-pennen en U-krammen. Deze bekramming wordt ook nog rechts van de Tensarbekramming aangebracht. Ook hier zitten de krammen volledig tegen het doek aan.*

Zoals op Figuur 4 te zien is, werd aan het einde nog onder deze PE-baan een stuk doek van PP aangebracht. Dit doek is veel lichter en doorlatender (zowel wat betreft water als licht) dan het hier toegepaste PE-doek.





*Figuur 21 Zicht op de zojuist aangelegde bekrammingen.*

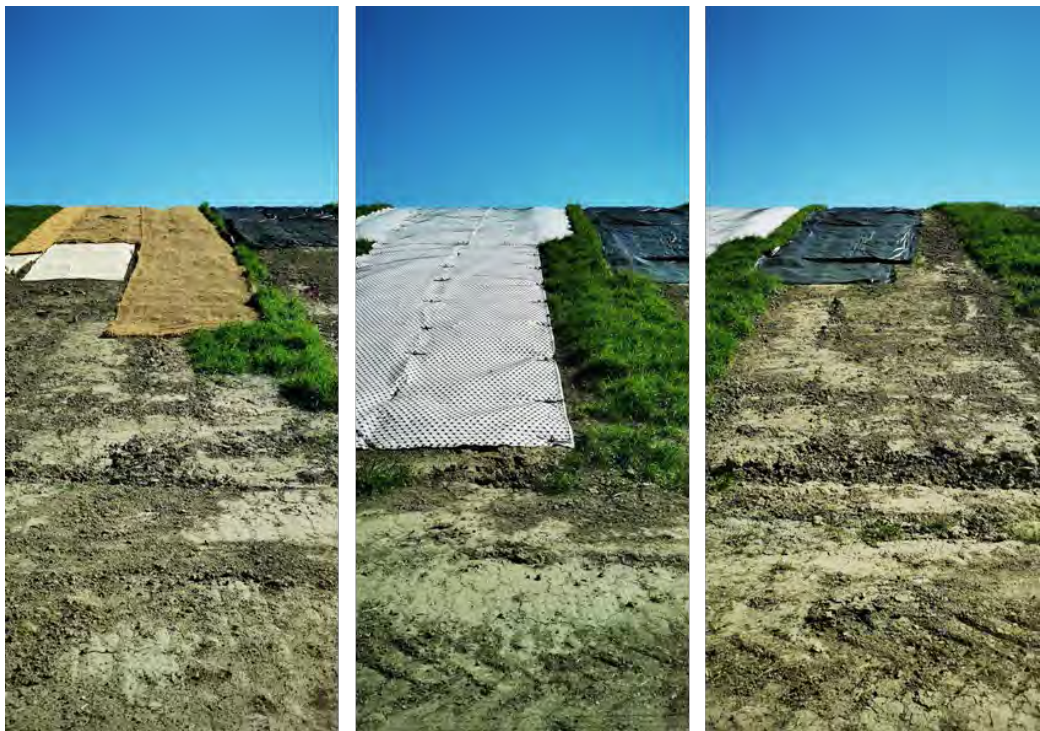
## 4 Ontwikkeling van de testlocatie in de tijd

### 4.1 30 april 2021

De volgende foto's documenteren de situatie na 4 weken.



Figuur 22 Tensarbekramming vanuit de kruin gezien



Figuur 23 Bekrammingen vier weken later vanuit de dijkteen bekeken. Van links naar rechts: Ecomat, kokos en daaronder jute, kokos, PE met daaronder PP, Tensar en PE. Op de klei is nog geen verandering in vegetatie te herkennen.

## 4.2

18 juni 2021

Zes weken later is de vegetatie al op gang gekomen, zowel op de kale klei als ook door de biologisch afbreekbare matten heen. Door de Eco- en de kokosmat begint de vegetatie ook te groeien. De zeer licht doorlatende lichte jutemat en de lichte PP-mat zijn beide als gevolg van de sterke vegetatiegroei onder de matten omhooggeduwd. Zie Figuur 25.



*Figuur 24 links: zicht op de biologisch afbreekbare doeken en daaronder het oorspronkelijk kale kleivlak; rechts zicht op het PE- en daaronder het PP-doek en het oorspronkelijk kale kleivlak. De vegetatie is inmiddels ontwikkeld en groeit door de biologische matten heen. Alleen de PE-mat (helemaal bij de kruin) en het Tensardoek lijken nog vlak tegen het talud aan te liggen.*



*Figuur 25 De jutemat (links) wordt door de vegetatie omhooggeduwd. Hetzelfde geldt voor de sterk lichtdoorlatende PP-mat (rechts).*



*Figuur 26 Bovenaanzicht van de bio-afbrekbare pennen in de kokosmat (boven) en het jute doek (beneden). De pennen zitten vast op de doeken. Bij de pen in het jute doek is een zijpin afgebroken tijdens het inslaan van de pen. De kokosmat heeft een zeer dichte gewoven structuur waar de planten minder sterk doorheen groeien dan door de open weefselstructuur van het jutedoek.*



*Figuur 27 Zicht op de strook met Tensarbekramming (links) en bekramming met dichtgewoven PE-doek (rechts). Bij beide stroken valt op dat onder deze doeken de groei van vegetatie nauwelijks gevorderd lijkt te zijn in tegenstelling tot de vegetatiegroei in de kleivlakken direct daaronder. De doeken liggen nog steeds vlak tegen het talud aan.*



*Figuur 28 De ijzeren Y-pen van ruw bouwstaal en de gladde kortere T-pen liggen nog steeds volledig tegen het doek aan.*



*Figuur 29 Zowel de Wurmi schroefharing (links) als ook de Gripple Terra-Lock-pen zijn iets los komen te zitten. Er is circa 3-5 mm afstand tussen de contraplaat en de kop van de pennen.*

## 5 Inspectie en beproeving op 8 oktober

### 5.1 Inspectie van de grasontwikkeling



*Figuur 30 Het talud is na 6 maanden zonder maaibeheer sterk begroeid. De vegetatie is ook door de meeste bekrammingen heen gegroeid.*



*Figuur 31 De Ecomat en de kokosmat zijn volledig met probleemkruiden begroeid.*



*Figuur 32 Bovenaanzicht op begroeiing kokosmat.*



*Figuur 33 De jutemat is grotendeels door de vegetatie onder het doek omhooggetild.*



*Figuur 34 Bij de jute mat zijn voornamelijk dunne grassprietten er doorheen gegroeid. Onder het doek zijn vooral probleemkruiden gegroeid. Het materiaal van het doek is al begonnen te verteren.*

De groei van probleemkruiden komt sneller op gang dan de grasgroei, maar het gras gaat wel goed groeien. Onder de kokosmat is het warmer dan onder geotextiel, waardoor een snellere start van het grasgroei op gang komt.



*Figuur 35 Door de kokosmat zijn dunne grassprietten heen gegroeid. Onder de kokosmat zitten mooie grasplakjes, dus een beginnende graszode. Door het weggrollen van de kokosmat worden de grote er doorheen gegroeide probleemkruiden makkelijk mee uitgetrokken.*



*Figuur 36 Controle van de structuur van de ontstaande graszode door plagsteek methode (volgens Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI)).*





*Figuur 37 Zode onder jute mat bestaat uit vette klei met slechte doorworteling (rond 7 cm lange haarwortels en de bovenste 4 cm graswortels; probleemkruiden, zoals akkerdistel). Fragmentarische zode valt uit elkaar.*



*Figuur 38 Er is een duidelijk verschil in vegetatievorming: onder het dichtgewoven PE-doek is de kleigrond nog volledig kaal, onder het lichte en meer lichtdoorlatende PP-doek heeft zich een dichte graszode gevormd.*



*Figuur 39 Zicht onder het zeer doorschijnende PP-doek op de goed ontwikkelde graszode.*



*Figuur 40 Steken van de graszode onder PP-doek.*



*Figuur 41 Graszode toont weinig doorworteling.*



*Figuur 42 Bijna geen fijne wortels op grotere diepte.*



*Figuur 43 Zicht op de graszode onder het Tensardoek. De graszode lijkt hier goed ontwikkeld.*



*Figuur 44 Het Tensardoek wordt door de groeiende vegetatie onder het doek iets omhooggeduwd.*

## 5.2 Inspectie van de krammen



*Figuur 45 De ijzeren Y-krammen zitten nog steeds vast op het doek. Daar waar de kram het doek heeft geperforeerd groeien grassprietten eruit.*



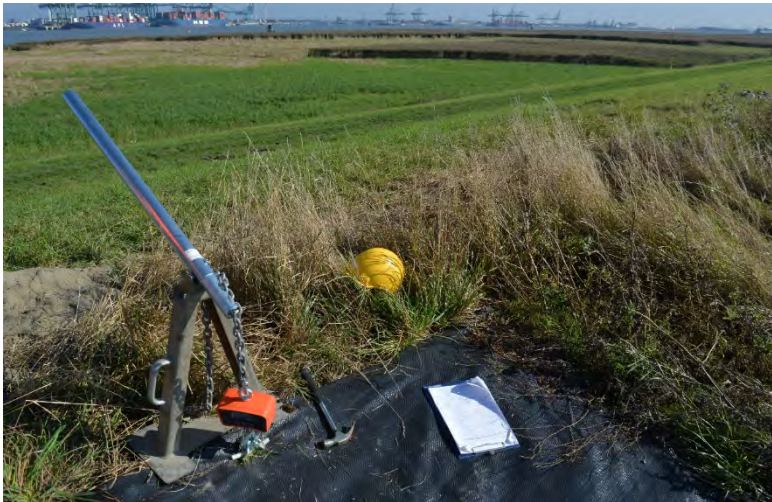
*Figuur 46 Ook de kleinere T-krammen zitten vast in de grond en tegen het doek aan. De plek waar de kram de PE-folie heeft geperforeerd is de enige plek waar het gras groeit.*



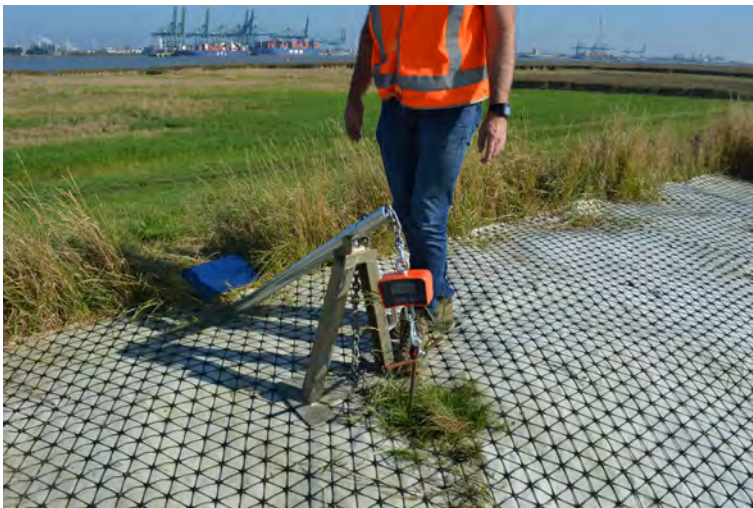
*Figuur 47 De Terra-Lock pen en de Wurmi zitten niet meer vast tegen de contraplaat aan.*

### 5.3 Bepalen van de verankeringskracht van de krammen

Om de na 6 maanden nog aanwezige ankerkracht van de krammen te bepalen worden deze middels een hefboomconstructie loodrecht op het talud uit de grond getrokken, waarbij een digitale unster c.q. een verenunster tussen kram en hefboom is geschakeld, om met de gemeten gewichtskracht de maximale verankeringskracht te kunnen bepalen. Tijdens het omhoogtrekken van de krammen verandert de gemeten kracht, waarbij de maximale waarde niet aan het begin maar tijdens het omhoogtrekken optreedt.



*Figuur 48 Opstelling om de verankeringskracht van de T-kram te kunnen meten.*



*Figuur 49 Uitgetrokken Y-kram.*



*Figuur 50 De mechanische unster is aan de opening in de kop van de Wormi haring bevestigd.*



*Figuur 51 De haak van de unster zit onder de zijpinnen van de biologisch afbreekbare polymeerpen.*



*Figuur 52 Tijdens het trekken van de Terra-Lock pin overschrijdt de pen de rekgrens van het materiaal en vervormt.*

Tabel 1 Maximaal opgetreden ankerkracht per type kram in graszode en kleigrond

Type kram	Maximale ankerkracht [kg] in graszode	Maximale ankerkracht [kg] in kleivlak
Witte T-pin	90	21 - 47
IJzeren Y-pin	112	75
U-kram (lengte 30 cm)	68	45 - 60
Wurmi	56	34 - 36
Gripple	49-100 (totdat haring gaat uitrekken)	32 - 36
Houten pin		60 (klamp van de pin breekt af)

De ankerkracht in de graszode is duidelijk hoger dan in klei als gevolg van de goede doorworteling van de zode.

De ankerkracht van de schroefharing is het laagst, omdat deze haring grondverdringend wordt ingebouwd en hierbij de omliggende grond roert.

De Gripple Terra-Lock pen vormt door zijn open wentelspil-vorm een soort grondankerachtige klont met de grond, waardoor een grotere ankerkracht wordt bereikt dan met de Wurmi.

De houten pennen tonen zelfs in klei een zeer grote ankerkracht.

De gebruikte stalen U-krammen waren relatief dun en vervormden vaak tijdens het in de grond slaan met een hamer. Hiervan zijn ook langere (45 cm) en dikkere exemplaren in gebruik bij verschillende waterschappen.

## 6 Overlooproef met overloopgenerator

### 6.1 Situatie voor proefuitvoering



*Figuur 53 De te beproeven dijk bestaat uit een grote zandkern die alleen door een circa 1 m dikke kleilaag tegen erosie beschermd wordt. De dikte van deze kleilaag is zeer wisselend.*



*Figuur 54 Om het bekrammingsdoek niet te beschadigen worden de houten schotten, die het overstromende water zullen begrenzen, direct langs de randen van het doek in de grond gezet. Omdat bij de dijkteen maar één Tensardoek geplaatst is, vormen de schotten aan de onderkant een vernauwing van de stroming.*



## 6.2 Observaties tijdens proef met overloopgenerator



*Figuur 55 Tensarbekramming tijdens overlooptest.*

De afsluiting van het doek, aan de kant waar het water vandaan komt, is heel belangrijk. Omdat de bekramming aan de top niet was ingegraven, werd vanaf de overloopgenerator tot 2 m over het bovenste stuk van de bekramming waterdichte EPDM-folie geplaatst.

Een groot deel van het uit de overloopgenerator stromende water stroomt langs het ene schot als gevolg van een niet helemaal correcte afstelling. Het overige uitstromende water sijpelt al in de bovenste stuk van de bekramming door het doek en stroomt met hoge stroomsnelheid en debiet uiteindelijk bij de teen onder het doek weer uit waarbij wel klei meeroodeert. Tijdens de overlooptest worden al snel diepe erosiekuilen onder het doek zichtbaar.

Het maximaal toegepaste debiet bedroeg 12 m<sup>3</sup>/min. De test moest na 30 minuten worden gestopt omdat te veel erosie was opgetreden. Er kwam veel losse klei vanonder het doek vrij, soms best grote brokken. Veel slib van de klei-toplaag kwam op de asfaltweg terecht.



*Figuur 56 Verdeling van het afstromende water over het doek dicht bij de kruin (links) en circa 4 m lager (rechts). Een groot deel is al door het doek heen gesijpeld en stroomt onder de bekramming verder.*



*Figuur 57 Behalve de stroming langs de schot is ook een tweede stroom water circa 1 m daarnaast op de bekramming te zien. Aan de rechterkant stroomt het merendeel van het water onder de overlap met het bovengelegen doek weer uit en stroomt dan verder over het Tensardoek heen naar de weg toe.*



*Figuur 58 Situatie na beëindiging van de overlooptest.*



*Figuur 59 Een grote hoeveelheid klei en slib is geërodeerd en op de asfaltweg terechtgekomen.*



*Figuur 60 Grote hoeveelheid geërodeerd materiaal op de weg.*



*Figuur 61 Duidelijk zichtbaar zijn twee brede erosiegleuven over de hele lengte van het benedengelegen Tensardoeck. Achteraf bleken dit de met losse klei opgevulde rijsporen van de graafmachine te zijn.*

## 6.3 Inspectie en beproeving bekrammen na proefuitvoering



Figuur 62 De erosiegleuven tekenen zich duidelijk af onder de bekramming.



Figuur 63 bepaling van de ankerkracht van de Y-krammen. Rechts naast de ketting is een gat als restant van de verankering van de houten schotten te zien.

Tabel 2 Maximale verankeringskracht van de krammen in het Tensardoeek na afloop van de overloopproof (range van maximumwaarden voor alle krammen van het betreffende type)

Type kram	Maximale verankeringskracht
IJzeren Y-kram	34 – 160 kg (grotendeels in klei)
U-kram	9 – 46 kg (in klei); 47 – 114 kg (in randlijn = graszode)
Grippele	5 – 67 kg (in klei) tot aan rekgrens bij maximale waarde

De krammen tonen een vergelijkbaar beeld als de trekproeven van de andere bekrammingen. Alleen valt op dat op sommige locaties de grenswaarde behoorlijk laag ligt.



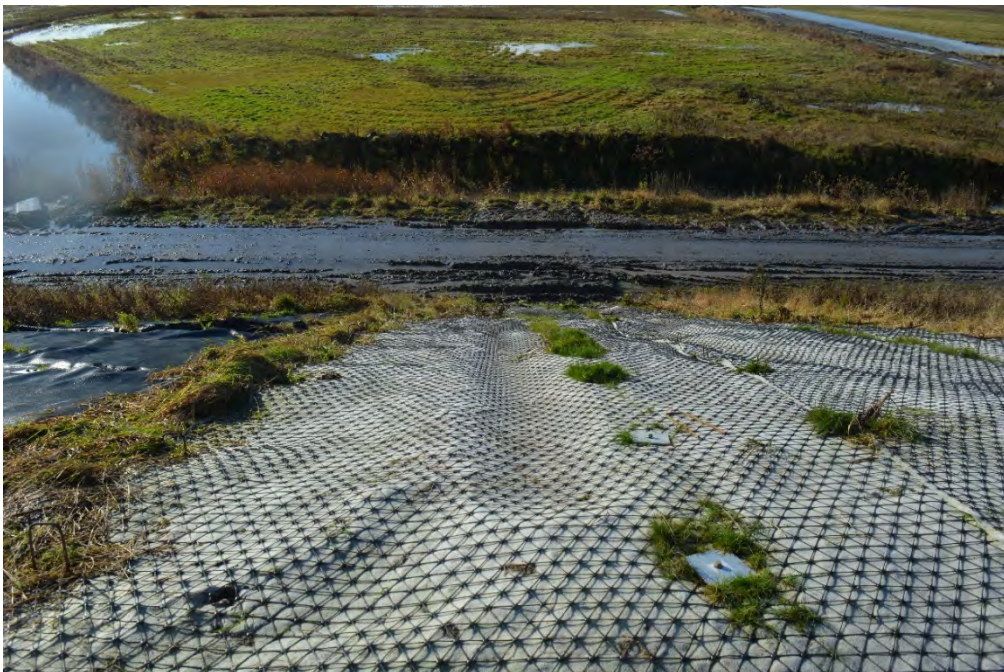
*Figuur 64 Bekramming een week na de overloopproof. Zicht vanuit de kruin naar beneden.*



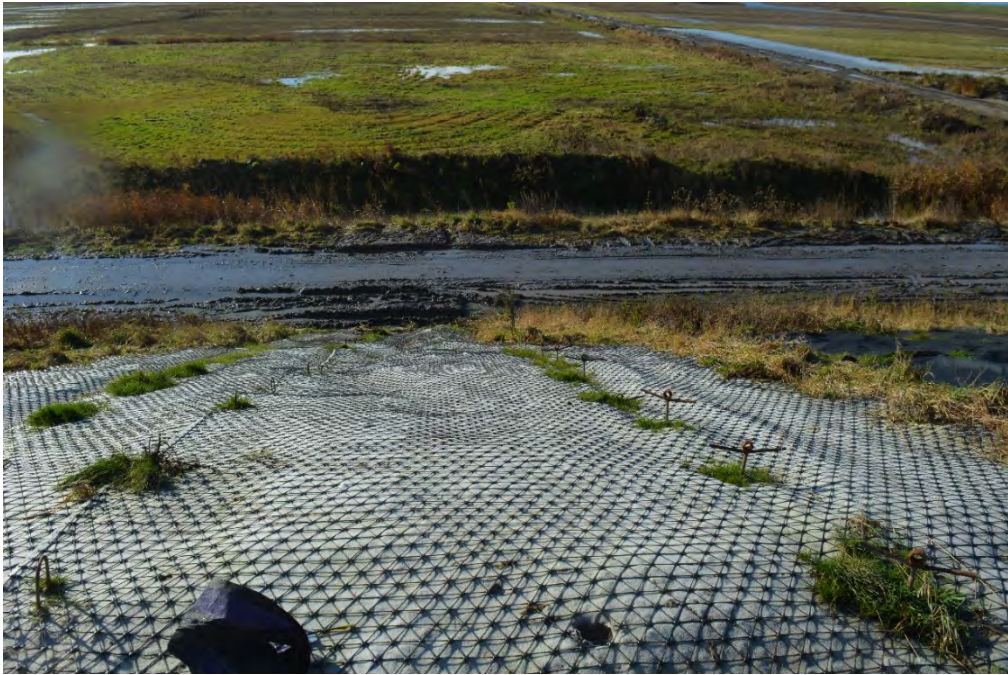
*Figuur 65 Blik vanuit de kruin richting de teen.*



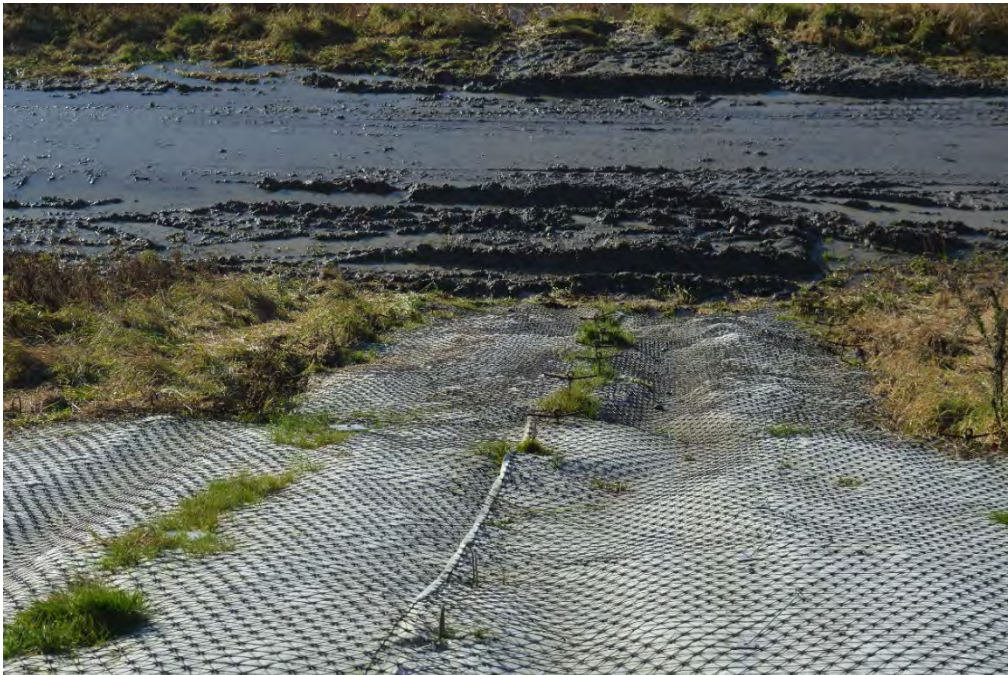
*Figuur 66 Blik langs de kruin.*



*Figuur 67 Blik naar de teen. De erosiegleuf tekent zich duidelijk onder het doek af.*



*Figuur 68 Blik langs de rechterkant van de bekramming naar de teen toe.*



*Figuur 69 Blik ingezoomd op de bekramming bij de teen.*





*Figuur 70* *Blik op de graszode onder het onderste gedeelte van de bekramming. Dit bekrammingsgedeelte vormt de smalle strook die alleen op klei kwam te liggen. Hier heeft zich een dichte graszode ontwikkeld, die weinig erosieschade toont.*



*Figuur 71* *Onder het iets verder opengelegde talud is duidelijk de erosiegleuf te zien die zeer breed en diep is uitgespoeld. Deze erosiegleuf komt overeen met de spoorvorming van de graafmachine. De graszode daarnaast lijkt redelijk intact.*



*Figuur 72 Zicht op de erosiegleuf meer boven op het talud.*



*Figuur 73 Zicht langs de erosiegleuf.*



*Figuur 74 Blik op erosiegleuf halverwege het talud. De gleuf is ca. 55 cm diep.*



*Figuur 75 Blik op gleuf bij overlap van de bekrammingsdoeken.*

# 7 Conclusies en aanbevelingen

## 7.1 Conclusies

### 7.1.1 Plaatsen van de krammen

Met deze tests werd beoogd vast te kunnen stellen, hoe makkelijk de pennen aan te brengen zijn bij de verschillende soorten doek en ondergrond (graszode en kale klei), hoe sterk en duurzaam deze pennen zijn en hoe goed de pennen in de grond blijven zitten op langere termijn.

Alle pennen gingen relatief snel en makkelijk de grond in. Hierbij gingen de stijvere Y- en T-pennen makkelijker de grond in dan de iets minder stijve U-krammen, laatstgenoemde vervormen bij het inslaan met een voorhamer. Alle drie traditionele typen pennen konden volledig in de grond worden geslagen en hebben met hun horizontaal gedeelte het doek volledig gefixeerd. Deze pennen bleven ook na 6 maanden volledig in de grond zitten en het contact met het doek is niet achteruitgegaan.

De schroefachtige pennen Wurmi, Peggy Peg en Gripple konden heel snel met behulp van een adapter en een accuschroevendraaier de grond worden ingebracht totdat de kop van de pennen vastzat. Het contact tussen pen, contactplaat en doek was tijdens het plaatsen redelijk goed. De pen van Gripple kon niet altijd helemaal vast tegen de contraplaat (washer) worden aangedraaid. Nadeel van de adapter is dat deze soms vast ging klemmen aan de kop van de pen. Bij het vastzetten van met name de PE-folie ging tijdens de wenteling van de schroefharingen (Wurmi en Peggy Peg) het doek meedraaien.

De bio-afbreekbare pennen zijn relatief dun en hebben smalle pinnen aan de bovenkant om het doek te fixeren. De pennen gingen soepel met een kleine hamer in de grond en toonden een goed contact met het doek. Bij het inslaan zijn deze zachte zijpinnen echter heel gevoelig voor beschadiging en kunnen makkelijk worden weggeslagen waardoor de fixatie van het doek niet altijd goed zal lukken.

Een eenduidige vergelijking van de snelheid van het inbrengen van de pennen was niet volledig mogelijk omdat de Y- en de T-pennen qua lengte sterk verschillen en de grondsituatie ook sterk verschilde. Door de oneven verhouding van vlakken met graszode en geroerde klei kon ook niet een beter vergelijkbaar aantal krammen per ondergrondtype worden getest.

### 7.1.2 Ankerkracht van de pennen na 6 maanden

In de loop van de tijd is het contact van de Wurmi en de Peggy Peg met de grote contactplaten achteruitgegaan en was een duidelijke tussenruimte opgetreden. Wurmi werkt grondverdringend en roert als gevolg van de wenteling van de schroef de grond omheen waardoor de kram geen goede verankering in de grond heeft.

De Gripple Terra-Lock pen heeft een open wentelspil aan de onderkant en vormt door wenteling een soort grondankerachtige klont met de grond ertussen, wat de veel grotere verankeringskracht verklaart. In sommige gevallen zat de Terra-Lock pen zo vast in de grond dat bij het trekken van de pen de rekgrens van de pen werd overschreden, zodat de top vervormde.

Deze twee soorten van schroefankers zijn beiden relatief kort en zitten hier voornamelijk in de verse niet goed verdichte kleilaag, die bij vochtopname en vochtverlies meer werkt dan het gebied waar de andere pennen dieper in verankerd zijn, waar dus ook minder volumeverandering gaat optreden. Normaliter zou bij een net versterkte dijk de kleilaag ook platgewalst zijn en er alleen nog een dunne laag teelaarde op komen.

De traditionele pennen zaten ook na 6 maanden volledig in de grond en tegen het doek aan. Bij de ankertrekproeven toonden deze ijzeren pennen allemaal zeer hoge ankerkrachten. Een vergelijking is moeilijk omdat deze drie typen sterk in lengte en dikte verschillen. De Y-krammen werken goed en zijn ook makkelijk te hergebruiken. Deze hebben een grotere dikte en een ruw oppervlak, zijn relatief lang waardoor ze vaster in de grond zitten en door de Y-vorm het doek op een grote lengte goed vasthouden. Daarnaast hebben ze een oog aan de top, waardoor de pen makkelijk en snel getrokken kan worden. Qua duurzaamheid (herbruikbaarheid) scoren de Y- en T-pen het best omdat deze zowel bij het inslaan als tijdens het trekken vormstabil blijven. De geteste U-kram is relatief flexibel en vervormt tijdens het inslaan, waardoor deze minder goed geschikt lijkt voor herhaaldelijk hergebruik, tenminste als hij te sterk zijn vervormd raakt. Het voordeel is echter dat deze kram vanwege de twee pennen per kram heel goed contact vormt met het doek.

De bio-afbreekbare pennen waren ook na 6 maanden in goede toestand en toonden een zeer goede verankering en goed contact met het doek, ook was een van de zijpinnen soms bij het inslaan al afgebroken. Bij de poging deze pennen eruit te trekken brak de kop c.q. het zijgedeelte af.

### **7.1.3 Invloed van het type bekrammingsdoek op de grasontwikkeling**

Voor de groei van de graszode onder het doek is van belang dat het doek voldoende doorlatend is, voor wat betreft lucht, licht en water. Onder de jute mat en het lichte PP-doek, maar ook onder het Tensardoek bleek de vegetatie zich goed te kunnen ontwikkelen. Het zeer dichtgewoven PE-filterdoek bleek echter zo dicht, dat zich hier helemaal geen vegetatie heeft kunnen ontwikkelen. Na 6 maanden was de klei nog steeds kaal. Maar ook onder de Eco- en kokosmatten kon na 6 maanden een goede doorworteling in de bovenste 4-6 cm van de grond worden vastgesteld. Probleemkruiden die door deze matten heen zijn gegroeid konden door het aftrekken van de matten makkelijk worden mee-verwijderd, waarbij de graszode met haar wortels onbeschadigd achterbleef. De vegetatie onder de jute mat bleef vooral onder het doek groeien en heeft het doek omhooggeduwd. De zode onder het doek had in deze test een meer fragmentarisch karakter en viel makkelijk uit elkaar.

### **7.1.4 Resultaten overlooproef met Tensardoek**

De overlooproef met het Tensardoek als bekramming op het binnentalud heeft wel nieuwe inzichten opgeleverd, maar de proef is niet echt representatief voor de toepassing in de praktijk. Dit ligt ten eerste daaraan dat het Tensardoek in de praktijk alleen op het buitentalud wordt toegepast. Vanwege zijn zeer grote doorlatendheid is een groot deel van het overstromende water al in de bovenste vier meter door het doek heengestroomd en onder het doek verder over het talud richting teen gestroomd waarbij heel veel klei werd meegenomen. De grote hoeveelheid geërodeerd klei is echter vooral een gevolg van de spoorvorming tijdens de preparatie van het talud. De sporen werden alleen opgevuld met klei, maar deze werd daarna niet sterk verdicht, zodat het klei in deze sporen heel makkelijk kon eroderen en de sporen als voorkeursstroombanen dienden. Als gevolg van de sterke erosie moest de proef al bij relatief lage debieten worden gestopt. Bij een correct verdichte kleilaag zou de erosie veel minder geweest zijn en had tijdens de proef waarschijnlijk een veel hoger debiet kunnen worden toegepast. Uit de inspectie van de vegetatie onder het Tensardoek bleek namelijk dat het gebied naast de sporen veel minder was geërodeerd en de vegetatie nog in goede conditie was.

Uit deze proef kan worden geconcludeerd dat bij een acuut probleem op het binnentalud ter voorkoming van erosieschade door overloop in ieder geval over het bovenste gedeelte van het talud beter een niet-doorlatend doek kan worden gelegd, zodat het overlopende water niet door de bekramming heen op het te beschermen talud kan stromen. Op het onderste gedeelte, dichtbij de teen, lijkt het nog steeds zinvol een relatief doorlatend doek te gebruiken zodat de waterdruk binnen de dijk kern de mogelijkheid krijgt zich om bij de teen weer af te bouwen. Anders zou het water deels in de dijk kern opgesloten raken wat tot hogere waterdrukken zou kunnen leiden.

Bij een lange termijn-probleem is het zinvoller een licht- en luchtdoorlatend doek toe te passen, als men vooral de grasgroei wil bevorderen. Nog beter geschikt hiervoor is een doek van biologisch afbreekbaar materiaal. In het geval van jute gaat het doek vanzelf verteren en de biologisch afbreekbare pennen hoeven dan ook niet meer te worden verwijderd.

## 7.2 Aanbevelingen

Omdat het geteste Tensardoek te doorlatend bleek te zijn, wordt aanbevolen voor een binnendijkse bekramming een dichtere PE-doek (met en zonder grid) met golfoverloop te testen, maar ook een waterdicht doek.

Er is wel goede ervaring met Tensardoek aan de buitenkant met stroming (WDOD). Ten aanzien van stroming is het wel handig om aan te geven tot welke stroomsnelheid dit nog goed gaat; dit is nog niet in beeld gebracht.

Bovendien is er ook nog geen ervaring met golfloop en golfklap bij een Tensar bekramming, zoals die in de actuele versie van de Werkinstructie 'Aanbrengen zanddicht doek met geogrid (buitendijks)' (versie 1.1 – 211202) is beschreven. Het wordt daarom aanbevolen zowel Tensar, maar ook PE en een waterdicht zeil als bekrammingen op het buitentalud onder golfloop, golfklapbelasting en ook zijdelingse stroming te testen. Hierbij zou het te beproeven buitentalud voor een deel bestaan uit klei zonder graszode en voor een deel uit een graszode van slechte kwaliteit.

De golfloopproef kan als volgt worden ingestoken:

- 1) Golfloopproef uitvoeren op buitentalud dijk, totdat schade aan de grasmat ontstaat (stormsimulatie op onbeschadigde dijk, misschien een kleine konijnenhol als aangrijppunt benutten);
- 2) Doorgaan met proef totdat er een beschadiging is opgetreden van orde 30 cm diep en 1 m<sup>2</sup> groot;
- 3) Beschadiging opvullen met zandzakken om een vlak oppervlak te krijgen (dit doen we tijdens laagwater binnen een paar uur);
- 4) Daarop Tensardoek met krammen aanbrengen;
- 5) Golfloopproef doorzetten om te kijken of de schade niet meer toeneemt, of dat het doek misschien wel wegspoelt;
- 6) Weghalen doek en inspecteren erosie.

De Terra-Lock pennen van Gripple zijn mogelijk interessant, omdat deze uit een grotere wentelspin bestaan die met de daartussen liggende grond een grondanker vormt. Onderzocht zou kunnen worden of deze eventueel nog zwaarder kunnen worden uitgevoerd, bijvoorbeeld iets langer en eventueel ook iets steviger. De benodigde kracht om de pennen eruit te trekken was met een pieksterkte van rond 60 kg wel hoog, maar het contact tussen pen en washer was na een paar weken niet overal meer volledig aanwezig. Een langere pen met eventueel meer wentelingen zou misschien nog meer positievastheid kunnen opleveren, wat zeker bij een golfklapbelasting van voordeel kan zijn.



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

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)

