



FACTUAL REPORT EROSIEBESTENDIGHEID VAN OVERGANGEN

DEFINITIEF

Opdrachtgever: Waterschap Zuiderzeeland

Projectnummer: 23i712

Versie: 2.0

31 januari 2024

INFRAM INTERNATIONAL B.V.

Postbus 150

3950 AD MAARN

Tel: +(0)343 – 745 600

www.infram-hydren.nl



Projectgegevens

Titel: Factual Report Erosiebestendigheid van Overgangen
Versie: 2.0
Status: DEFINITIEF
Datum: 31 januari 2024
Opdrachtgever: Waterschap Zuiderzeeland
Projectnummer: 23i712

Auteurs: Ellen Daamen, Roy Mom, Chris Wauben
Review: Gosse Jan Steendam

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Proefopstelling	2
	2.1 Algemeen	2
	2.2 Golfoverslagproef	5
3	Simulatie golfoverslag	7
4	Metingen	9
	4.1 Erosie	9
	4.2 Frontsnelheid overslaande volumes	9
	4.3 Fotogrammetrie	9
	4.4 Laserscan	10
	4.5 Bodemvocht	11
	4.6 Vegetatieopname en wortelonderzoek	11
	4.7 Bedekking	11
	4.8 Grastrekproeven	11
5	Proefverloop golfoverslag	12
	5.1 Proeflocatie	12
	5.2 Teststroken	13
	5.3 Overzicht resultaten	52
6	Grastrekproeven	54
	6.1 Bepaling sterkte grasbekleding	54
	6.2 Locaties	57
	6.3 Resultaten	58
	6.4 Maximale trekkracht teruggeplaatste vs. oorspronkelijke zode	60
	Verwijzingen	61
	Bijlagen	62
A.	Testpaspoorten proeven	63
B.	Inmeting teststroken	64
C.	Overslaande golfvolumes	70
D.	Vegetatieopnamen en wortelonderzoek (EurECO)	71
E.	Nulopname teststroken (EurECO)	75
F.	Hydraulische metingen	76

G.	Bodemvochtmeting	77
H.	Resultaten grastrekproeven	78
	Bijlage H-1: <i>F2</i> en <i>F4</i> per plot per locatie	79
	Bijlage H-2: Afmetingen uitgetrokken zode per plot per locatie	80
	Bijlage H-3: $\sigma_{gras, c}$ per plot per locatie	82
	Bijlage H-4: <i>VWC</i> per plot per locatie	83

1 Inleiding

Voor het HWBP-innovatieproject 'Erosiebestendigheid van overgangen' zijn door Infram Hydren in de periode september-oktober 2023 praktijkproeven met de golfoverslagsimulator (WOS) op de IJsselmeerdijk tussen de CTU Flevokust en de Maximacentrale bij Lelystad uitgevoerd. Met deze proeven is een indruk verkregen van de initiatie en verloop van schade van de grasbekleding en (effectiviteit van) aanwezige (versterkte) overgangen bij golfoverslag.

Op de proeflocatie zijn in totaal vijf teststroken ingericht voor proeven. Twee teststroken, teststrook 0 en 4, dienden als referentie, waarbij teststrook 0 voorafgaand aan de uitvoering van de proeven is afgedekt met schermdoek¹. Bij de andere drie teststroken (1, 2 en 3) is gekeken naar de effectiviteit van oplossingen voor de aanwezige overgangen (geometrische overgang (knik) tussen boventalud en berm én de overgang tyssen de weg en het gras op de binnenberm). Daarnaast is na de proeven op teststrook 1 nagegaan wat de reststerkte van de bij de weg aangebrachte oplossing én de weg zelf is.

In deze rapportage wordt verslag gedaan van de uitgevoerde golfoverslagproeven en de feitelijke waarnemingen. Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van de bij de golfoverslagproeven gebruikte proefopstelling, waarna in hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de bij deze proeven gesimuleerde belasting. Hoofdstuk 4 beschrijft de metingen die tijdens de proeven zijn uitgevoerd. In hoofdstuk 5 is het verloop van de golfoverslagproeven beschreven. De resultaten van de uitgevoerde grastrekproeven zijn opgenomen in hoofdstuk 6.

¹ In de periode dat de proeven worden uitgevoerd is het gras nog niet in 'winterconditie' (in de winter groeit gras heel langzaam omdat het in een soort van winterslaap gaat). Door het gras af te dekken met een schermdoek is geprobeerd het gras in winterconditie te krijgen (daarbij is verondersteld dat door het sterk verminderen van de hoeveelheid zonlicht de groei van de wortels wordt geremd/stilvalt). Voorafgaand aan het afdekken is het gras gemaaid.

2 Proefopstelling

2.1 Algemeen

2.1.1 Onderdelen proefopstelling

Voor het uitvoeren van de golfoverslagproeven met golfoverslagsimulator (WOS) is een proefopstelling opgebouwd. In Figuur 1 en de secties daaronder is een korte beschrijving van de essentiële onderdelen van de proefopstelling gegeven.



Figuur 1: Essentiële onderdelen proefopstelling golfoverslagproeven (WOS, hydraulisch aggregaat, meetcabine, schaftwagen, zeecontainer, generator, milieutank, camerabewaking, pompen en frequentieregelaar)

2.1.1.1 Watervoorziening

Voor de uitvoering van de proeven is gebruik gemaakt van water uit het IJsselmeer. Hiertoe zijn twee frequentieel instelbare elektrische rioolwaterpompen met elk een capaciteit van circa 600 m³/uur in de plasberm geplaatst, zie Figuur 2. Aangezien een droge opstelling² werd gebruikt is het water behulp van een zuigslang uit het IJsselmeer gezogen.

² De pompen staan dus niet in het water.



Figuur 2: Droge opstelling pompen.

Om de pompen in te stellen zijn op afstand te bedienen frequentieregelaars gebruikt. Deze regelaars bevonden zich in een container die op het inspectiepad werd geplaatst.

Via aanvoerleidingen van HDPE³ werd het water van de pomp naar de WOS gepompt. De leidingen die over het inspectiepad lopen waren van staal en zijn overrijdbaar gemaakt, zie Figuur 3.



Figuur 3: Overrijconstructie inspectiepad

Het bij de proeven gebruikte water kon via het binnentalud en over het maaiveld wegstromen naar de op circa 30 meter afstand van de binnenteen aanwezige teensloot, zie Figuur 4. Het water stroomde via twee duikers naar de Forellentocht. Eventueel overtollige water in het gebied werd via de bestaande gemalen van de polder naar het buitenwater afgevoerd.

³ High Density Polyethyleen



Figuur 4: Afvoer water via teensloot en Forellentocht

2.1.1.2 *Hydraulisch aggregaat*

Voor het aansturen van de kleppen van de WOS is gebruik gemaakt van een hydraulisch aggregaat. Dit aggregaat stond in een lekbak in een 6 ft. zeecontainer, voorzien van lekdetectie en gevuld met biologisch afbreekbare hydrauliekolie. De container met hydraulisch aggregaat werd op de kruin van de dijk nabij de WOS geplaatst.

2.1.1.3 *Meetcabine en schafwagen*

Ten behoeve van de exploitatie van de proeven en het verblijf van het uitvoeringsteam is een meetcabine en schafwagen (verblijfsruimte) geplaatst.

De meetcabine bevat de apparatuur om tijdens de proeven vanuit een centraal punt de simulator aan te kunnen sturen. Voor goed zicht op de teststrook is de meetcabine steeds direct naast de teststrook in de berm tussen het boventalud en de weg aan de binnenzijde geplaatst. De schafwagen is steeds nabij de meetcabine geplaatst.

2.1.1.4 *Stroomvoorziening*

Ten behoeve van de stroomvoorziening is een generator met 250kV vermogen gebruikt. Deze generator was aangesloten op een milieutank met een inhoud van ongeveer 2.500 liter waarin zich de brandstof (biodiesel (HVO) of synthetische diesel (GTL)⁴) bevond. Zowel de generator als milieutank zijn voorzien van een lekbak. De generator draaide alleen tijdens de daadwerkelijke proefuitvoering. De generator en milieutank zijn naast de frequentieregelaar op het inspectiepad geplaatst.

2.1.1.5 *Opslag*

Het voor de proeven te gebruiken materiaal is opgeslagen in een 20 ft zeecontainer. Deze zeecontainer is op een centrale plek in de berm tussen het boventalud en de weg aan de binnenzijde geplaatst.

⁴ Afhankelijk van de beschikbaarheid van de brandstof.

2.2 Golfverslagproef

Voor het simuleren van de overslaande volumes is gebruik gemaakt van de WOS van Infram Hydren, zie Figuur 5. De WOS heeft een inhoud van ruim 20 m³, is vier meter breed en heeft een dubbele schuifklep. De kleppen van de WOS worden hydraulisch aangestuurd.



Figuur 5: De WOS op de kruin bij teststrook 0.

2.2.1 Teststrook

De WOS is bij elke teststrook met de uitstroomopening op de kruin van de dijk geplaatst. Om het overslaande water te geleiden zijn aan weerszijden van de simulator geleideschotten geplaatst. De geleideschotten zijn bevestigd aan houten palen die in het talud werden geslagen. De schotten zijn met de kopse kanten tegen elkaar aangezet en aan de binnenzijde gekoppeld met RVS platen. De geleideschotten zijn vanaf de uitstroom van de simulator tot aan de teen⁵ geplaatst, zodat een vier meter brede teststrook ontstond.

Om de schotten ter plaatse van de weg op de binnenberm te kunnen bevestigen zijn houten liggers gebruikt. Aan deze liggers zijn de schotten bevestigd. De liggers zijn met behulp van schroefankers in het asfalt bevestigd.

In totaal zijn op vijf teststroken proeven met de WOS uitgevoerd. Voor de beschrijving van het proefverloop op de verschillende teststroken wordt verwezen naar hoofdstuk 5. Voor een dwarsprofiel van de verschillende teststroken wordt verwezen naar Bijlage B.

2.2.2 Plaatsbepaling

Binnen de teststroken is ten behoeve van de plaatsbepaling van optredende schades het in Figuur 6 weergegeven meetraster gehanteerd. Het einde van de uitstroomopening van de simulator is de 0-lijn voor het meetraster. Vanaf deze 0-lijn loopt de afstand (in meters) op. De afstand is gemeten langs het talud. De teststrook is ingedeeld in vakken van één bij één meter. Vak 1 is de eerste meter vanaf de uitstroomopening van de simulator en loopt op verder weg van de uitstroomopening van de simulator. De letters geven de horizontale positie van een vak aan. A bevindt zich, van de teen naar de kruin gezien, links op de teststrook. De letters lopen op naarmate een vak zich meer naar rechts bevindt.

⁵ Bij de proeven op teststroken 2, 3 en 4 zijn op een gegeven moment tijdens de proef de schotten op het ondertalud verwijderd. Bij teststrook 1 zijn de schotten alleen tot voorbij de overgang asfalt-gras geplaatst.

	A	B	C	D	0
1					1
2					2
3					3
4					4
5					5
					5

Figuur 6: Nummering meetraster in teststrook. Aan de linkerzijde zijn de vak-nummers weergegeven. Aan de rechterzijde is de afstand (in meters) ten opzichte van de uitstroomopening van de simulator weergegeven.

3 Simulatie golfoverslag

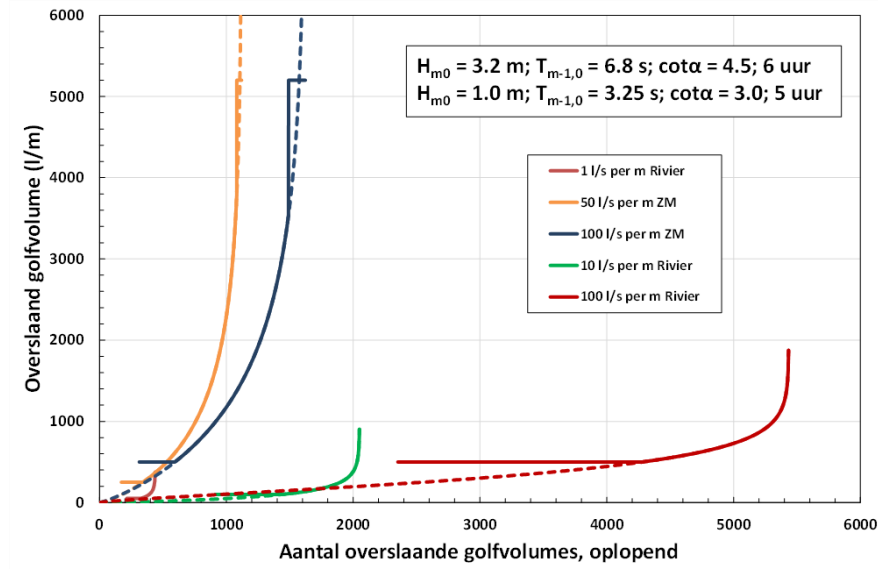
Bij de golfoverslagproeven wordt op elke teststrook het resultaat van het bij een storm behorende golfoverslagdebiet q met de golfoverslagsimulator (WOS) gesimuleerd, dat wil zeggen de bij deze storm overslaande golven. Voor de beschrijving van de uitgevoerde proeven op een teststrook wordt verwezen naar Hoofdstuk 5 en Bijlage A.

In Tabel 1 zijn per proef de bijbehorende condities (significante golfhoogte H_{m0} , spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$, helling buitentalud $\cot \alpha$ en stormduur t_{storm}) weergegeven.

Tabel 1: Proeven en bijbehorende condities

Proef ⁶	q [l/s per m]	t_{storm} [uur]	H_{m0} [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	$\cot \alpha$ [-]	Regiem
GO1_1	1	5	1,0	3,25	3,0	Rivier
GO10_1	10					
GO100_1	100					
GO50_3.2	50	6	3,2	6,80	4,5	Zee en meer (ZM)
GO100_3.2	100					

In werkelijkheid gaat bij golfoverslag geen constant debiet over de kruin. Conform [1] zijn door Van der Meer Consulting B.V. de momentane overslagvolumes per proef bepaald. De verdelingen van deze volumes per proef zijn in Figuur 7 per proef weergegeven.



Figuur 7: Aantal en volume per overslaande golven per proef (bron: [2]).

Merk op dat niet alle volumes met de simulator kunnen worden nagebootst. Wanneer een verdeling volumes bevat die kleiner zijn dan het minimaal te simuleren volume, dan worden deze volumes vervangen door de minimaal te simuleren volume. Het aantal te vervangen volumes is afhankelijk van het totaalvolume aan water dat niet gesimuleerd kan worden gedeeld door het minimale volume. Bij proeven GO50_3.2 (oranje lijn) en GO100_3.2 (blauwe lijn) zitten ook volumes die groter zijn dan het maximale te simuleren volume. Deze volumes worden daarom vervangen door het maximaal te simuleren volume. Het aantal golven is afhankelijk van het totaalvolume aan water dat niet gesimuleerd kan worden gedeeld door het

⁶ De benaming van de proef is als volgt: GO<overslagdebiet>_<H_{m0}>. Er wordt gebruik gemaakt van GO omdat bij deze proeven GolfOverslag wordt gesimuleerd.

maximale volume. De horizontale lijn in Figuur 7 geeft het aantal en de grootte van het minimale/maximaal te simuleren volume.

De lijst van overslaande volumes per proef wordt willekeurig gemaakt (werkelijke overslag is immers ook willekeurig in tijd en volume) en opgenomen in een stuurfile. In Bijlage C zijn per proef de lijsten met te simuleren overslagvolumes weergegeven. Bij de proeven worden de kleppen van de WOS automatisch geopend als de gewenste hoeveelheid water in de simulator aanwezig is: de stuurlijst bevat volumes waarop de kleppen moeten worden geopend (het volume in de simulator wordt gemeten met een drukopnemer). De tijd dat de kleppen open gaan is afhankelijk van het volume in de simulator. Bij het simuleren van de volumes wordt rekening gehouden met de extra uitstroom in verband met de tijd die benodigd is voor het openen van de kleppen. De kleppen gaan hierdoor eerder open. De extra uitstroom is afhankelijk van het vuldebiet. Wanneer het daadwerkelijk vuldebiet afwijkt van het voor het maken van de stuurfiles gebruikte vuldebiet, zal het gesimuleerde debiet afwijken van het te simuleren debiet. Tijdens de proeven is het vuldebiet daarom regelmatig gecontroleerd. Bij te grote afwijkingen, een afwijking van 10% is aanvaardbaar, is het vuldebiet bijgesteld. Merk op dat afwijkingen van het vuldebiet vooral invloed hebben bij de simulatie van grote volumes.

Voor het simuleren van de overslaande golven wordt de WOS met een constant debiet gevuld. In principe is het vuldebiet gelijk aan het te simuleren overslagdebiet en daarmee is de proefduur gelijk aan de stormduur. Proeven GO1_1 en GO10_1 worden echter respectievelijk tien en twee keer versneld uitgevoerd door vuldebieten van respectievelijk 40 en 80 l/s te hanteren. Gelet op de capaciteit van de pompen zijn proeven GO100_1 en GO100_3.2 enigszins vertraagd worden uitgevoerd (proefduur is langer dan stormduur).

Voor meer informatie over de proefomstandigheden wordt verwezen naar [2].

4 Metingen

4.1 Erosie

De proeven op de teststroken zijn wat betreft schadeontwikkeling primair observatieproeven: wat gebeurt er met de grasbekleding en de overgangen bij golfoverslag? Daarnaast is er bij teststrook 2 gekeken naar de erosie van de sterk verdichte klei en is bij teststrook 1 nagegaan wat de reststerkte van de bij de weg aangebrachte oplossing én de weg zelf is.

Bij elke teststrook zijn daarom voorafgaand, tijdens en na afloop van de proeven metingen uitgevoerd. Voor een goede beschrijving van de schadeontwikkeling zijn afmetingen (lengte, breedte en diepte) van eventuele schades met een duimstok gemeten en vastgelegd.

Met behulp van het meetraster (beschreven in Figuur 6) zijn voorafgaand, tussentijds (indien noodzakelijk) en na afloop van een proef ook foto's gemaakt van de grasmat. Daarnaast zijn van alle teststroken overzichtsfoto's gemaakt. Om de schade gedetailleerd vast te leggen zijn indien nodig ook aanvullende detailfoto's van schade(s) gemaakt. Alle foto's zijn gedeeld met de opdrachtgever.

Bij het beschrijven van eventuele schade aan de grasbekleding worden de volgende criteria gebruikt:

- Begin van schade; door de overslaande golven is de zode dusdanig geërodeerd dat het substraat hieronder zichtbaar is geworden. Feitelijk is er een 'gat' in de toplaag ontstaan. De golven hebben nu een aangrijpingspunt, waardoor de zode verder kan afstropen en de erosiediepte en het erosieoppervlak langzaam toeneemt (bij geringe erosiediepte hebben de wortels in de toplaag nog significante invloed op de mate van erosie).
- Bezwijken van de grasbekleding: de toplaag wordt doorbroken, waardoor de erosiediepte en het erosieoppervlak doorgaans ineens veel sneller toeneemt (bij grotere erosiediepte wordt de invloed van wortels op erosie minder significant).

4.2 Frontsnelheid overslaande volumes

Voor het bepalen van de frontsnelheid van de overslaande volumes zijn op elke teststrook bij proef GO50_3.2 een aantal vooraf gedefinieerde volumes gefilmd (deze volumes zijn ingepast in de gesimuleerde overslagverdeling). Hiervoor is gebruik gemaakt van een drone. Merk op dat in sommige gevallen reeds sprake was van schade op het talud. Deze schade heeft mogelijk invloed op de frontsnelheid.

Op de videobeelden zijn de gehele teststrook en aan de geleideschotten gemonteerde hoekprofielen zichtbaar. Achteraf kan met een frame-by-frame analyse⁷ de frontsnelheid van de overslaande volumes bepaald worden. De wijze van uitvoering en resultaten van de hydraulische metingen zijn in Bijlage F opgenomen.

4.3 Fotogrammetrie

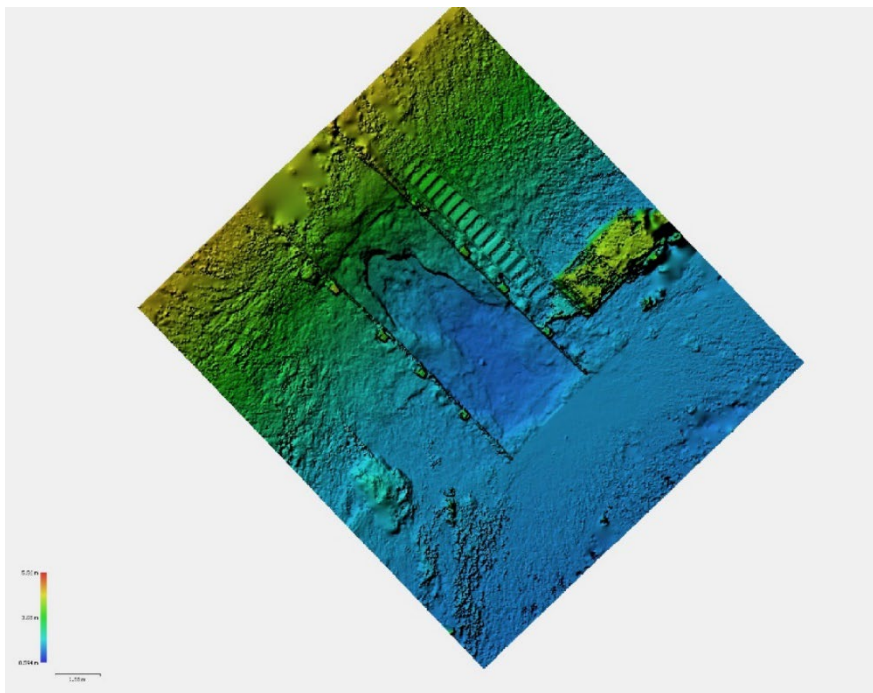
Bij teststrook 2 is voor het meten van de erosie van de klei gebruik gemaakt van fotogrammetrie. Voor het maken van de foto's is een action cam gebruikt die op een lange stok werd geplaatst en werden 16 ground control points (gcl's) nabij de randen van de teststrook geplaatst (zie ook Figuur 36 in paragraaf 5.2.2.1). Met de action cam op de stok werd vervolgens een timelapse (iedere seconde een foto) gemaakt terwijl er rondom de teststrook werd gelopen. Op de foto's dienden meerdere ground control points zichtbaar te zijn. De coördinaten (X, Y, Z) van deze gcl's zijn in Tabel 2 weergegeven.

⁷ Met deze analyse kan worden bepaald binnen hoeveel frames het golffront één meter verplaatst. Dit is daarna om te rekenen naar een frontsnelheid.

Tabel 2: Coördinaten ground control points

ID	RDX [m]	RDY [m]	Z [m+NAP]
1	164.429,496	509.303,086	4,020
2	164.431,234	509.301,366	3,321
3	164.432,608	509.300,050	2,876
4	164.435,602	509.303,103	2,849
5	164.434,204	509.304,406	3,325
6	164.432,732	509.305,916	4,130
7	164.429,348	509.303,120	3,429
8	164.431,055	509.301,451	2,695
9	164.432,436	509.300,115	2,225
10	164.435,560	509.303,266	2,130
11	164.434,159	509.304,612	2,646
12	164.432,560	509.306,202	3,498
13	164.434,191	509.298,546	2,665
14	164.437,235	509.301,517	2,660
15	164.434,156	509.298,442	1,965
16	164.437,300	509.301,575	2,004

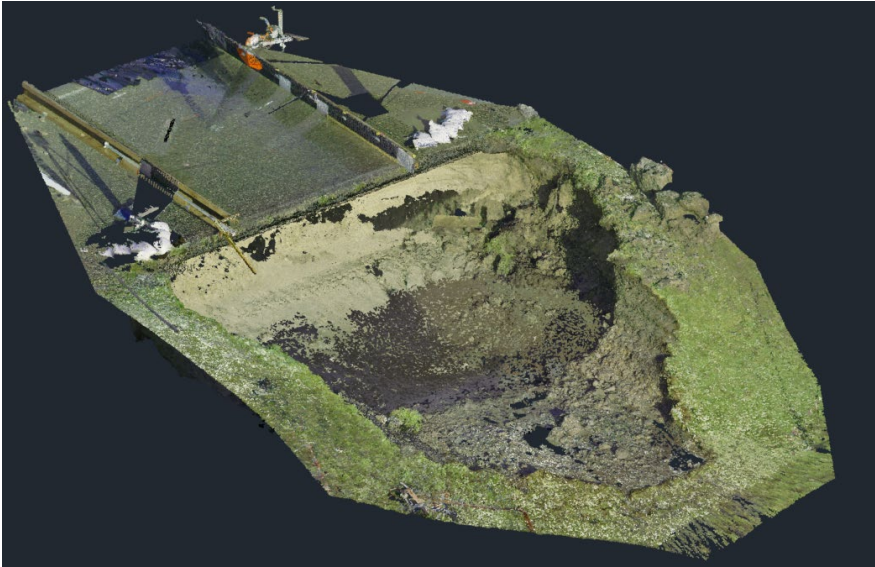
Aan de hand van de gemaakte foto's laat Waterschap Zuiderzeeland achteraf de ontwikkeling van de erosie door Universiteit Leuven in beeld brengen. Alle foto's zijn aangeleverd aan de opdrachtgever, zodat deze kunnen worden uitgewerkt. In Figuur 8 is ter illustratie een op basis van de foto's geconstrueerd erosiebeeld weergegeven.



Figuur 8: Erosiebeeld teststrook 2 aan de hand van fotogrammetrie

4.4 Laserscan

Bij teststrook 3 en 4 is door Fugro met behulp van een 3D laserscanner het ontstane erosiebeeld ingemeten. Bij teststrook 1 is dezelfde laserscanner gebruikt om de ten behoeve van de kliferosieproef gemaakte schade in te meten en tijdens de kliferosieproef op verschillende momenten de afmetingen van de erosiekuil te bepalen. In Figuur 9 is een voorbeeld van het met de laserscanner gemeten schadebeeld tijdens sessie 3 bij teststrook 1 (zie paragraaf 5.2.5.2) weergegeven.



Figuur 9: Het met de laserscanner gemeten shadebeeld tijdens sessie 3 bij teststrook 1.

4.5 Bodemvocht

In het hart van elke teststrook is voorafgaand én na iedere proef op een aantal locaties bodemvochtmetingen uitgevoerd. Daarbij zijn meetpenen van 7,6 cm lang gebruikt. Indien een proef over meerdere dagen is uitgevoerd is aan zowel het einde als begin van de dag ook een meting uitgevoerd. Naast het bodemvocht *VWC* is ook de bodemgeleidbaarheid *EC* en bodemoppervlaktetemperatuur gemeten (op circa 7 cm diepte vanaf de top van de zode). Voor de resultaten van de bodemvochtmetingen wordt verwezen naar Bijlage G.

4.6 Vegetatieopname en wortelonderzoek

Door Cyril Liebrand van EurECO zijn op 11 september 2023 verschillende vegetatieopnames gemaakt. Deze vegetatieopnames geven een beeld van de soortenrijkdom, de soortensamenstelling en de structuur van de vegetatie. Ook heeft Cyril wortelonderzoek uitgevoerd. Voor de resultaten van de vegetatieopnames en het wortelonderzoek wordt verwezen naar Bijlage D.

4.7 Bedekking

Door Cyril is bij zowel teststrook 0 als 4 van elk vak binnen de teststrook ook de bedekking⁸ bepaald. Ook bij elke grastrekproef is door Cyril de bedekking bepaald. In Bijlage E is per teststrook/grastrekproef het resultaat voor de verschillende vakken weergegeven.

4.8 Grastrekproeven

Voor het schatten van de kritische stroomsnelheid zijn rondom teststroken 0 en 4 grastrekproeven uitgevoerd. Voor de wijze van uitvoering en resultaten van deze grastrekproeven wordt verwezen naar Hoofdstuk 6.

⁸ De totale bedekking wordt geschat. Tevens wordt het percentage grassen, kruiden en mossen geschat. Het percentage grassen en kruiden is gelijk aan 100%.

5 Proefverloop golfoverslag

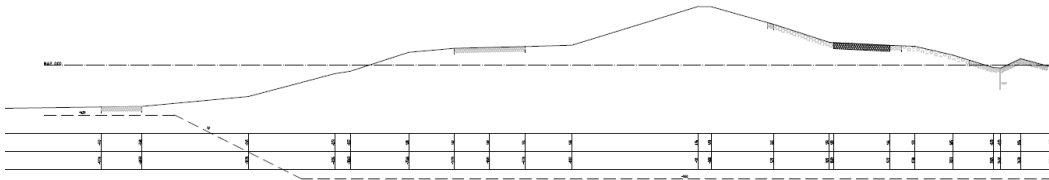
Dit hoofdstuk geeft per locatie:

- Een beschrijving van de proeflocatie;
- Een beschrijving van de beproefde teststroken;
- Het resultaat van de golfoverslagproeven op de beproefde teststroken.

De beschreven resultaten van de proeven betreffen waarnemingen en metingen tijdens de proeven. In het analyserapport (nog geen verwijzing beschikbaar) wordt verder ingegaan op de interpretatie en analyse van de resultaten.

5.1 Proeflocatie

De proeven hebben plaatsgevonden op de IJsselmeerdijk tussen dijkpaal 26.6 en 26.5. Deze sectie bevindt zich tussen CTU Flevokust en de Maximacentrale bij Lelystad. Op de kruin en het boven- en ondertalud aan de binnenzijde van de IJsselmeerdijk ligt gras. Op de binnenberm is een weg (asfalt) aanwezig. Op het ondertalud aan de buitenzijde van de IJsselmeerdijk ligt een steenzetting. Op de buitenberm is een inspectiepad (asfalt) aanwezig. In Figuur 10 is een representatief dwarsprofiel van de IJsselmeerdijk weergegeven.



Figuur 10: Representatief dwarsprofiel IJsselmeerdijk (ter hoogte van dijkpaal 26.8). Rechts is de buitenzijde.

Bij deze locatie zijn op vijf teststroken golfoverslagproeven uitgevoerd met de golfoverslagsimulator (WOS). Alle teststroken liggen op het binnentalud van de IJsselmeerdijk, zie Figuur 11.



Figuur 11: Locaties teststroken

In Tabel 3 is per teststrook de afstand ten opzichte van dijkpaal 26.6 weergegeven.

Tabel 3: Locaties teststroken golfoverslagproeven proeflocatie

Teststrook	Afstand t.o.v. dijkpaal 26.6* [m]
0	-5,5
1	-20,0
2	-68,5
3	-86,5
4	-103,0**

*afstand van het midden van de teststrook ter plaatse van de kruinlijn ten opzichte van de dijkpaal

**ervan uitgaande dat de afstand tussen dijkpaal 26.6 en 26.5 in totaal 100 m is.

5.2 Teststroken

Op de proeflocatie waren vijf teststroken ingericht voor proeven. Teststroken 0 en 4 dienden als referentie, waarbij de grasbekleding van teststrook 0 voorafgaand aan de proeven enkele weken afgedekt is geweest met een schermdoek. Bij teststroken 1, 2 en 3 is gekeken naar de effectiviteit van oplossingen voor de aanwezige overgangen:

- de geometrische overgang (knik) tussen het boventalud en de binnenberm; en
- de overgang tussen de weg en het gras op de binnenberm.

In onderstaande paragrafen zijn de teststroken en de resultaten van de golfoverslagproeven beschreven. Daarbij is de volgorde gehanteerd waarop de proeven op de verschillende teststroken zijn uitgevoerd.

5.2.1 Teststrook 0

5.2.1.1 Beschrijving teststrook 0

Algemeen

Teststrook 0 diende als referentie voor de grasbekleding in winterconditie. Als test is door Waterschap Zuiderzeeland het gras in deze teststrook gemaaid en enkele weken afgedekt met een schermdoek, zie ook [3]. Hiermee werd de hoeveelheid zonlicht sterk verminderd en werd getracht de wortels van de aanwezige dijkvegetatie in winterconditie te brengen (en de groei van de dijkvegetatie te remmen). De schermdoeken waren overlappend geplaatst. Bij het verwijderen van de doeken viel op dat het maaisel niet was afgevoerd en dat het gras ter plaatse van de overlappende delen kaler was.

Bij teststrook 0 is het effect van golfoverslag op de erosiebestendigheid van de grasbekleding op het binnentalud onderzocht. Daarbij is ook gekeken naar de erosiebestendigheid van de geometrische overgang (knik van het boventalud naar de binnenberm) en de overgang van de weg naar het gras.

De binnenkruinlijn bevond zich op ongeveer 1,25 m vanaf de uitstroomopening van de simulator (= nulpunt meetraster). De geometrische overgang lag op circa 12 m. De gemiddelde helling van het boventalud (van 1 m tot 12 m) is 1:3,6. In vak 6 is het talud met 1:2,5 het steilst.

De overgang van het gras naar de weg en de weg naar het gras liggen respectievelijk op circa 16 en 22 m. Beide overgangen kunnen conform [4] als nette overgang worden beschouwd.

Het ondertalud begint op circa 27 m en bestaat uit drie delen. Het eerste deel loopt tot 31 m en heeft een gemiddelde taludhelling van 1:2,8 (in vak 29 is het talud met 1:2,4 het steilst). Het tweede deel (tussen 31 en 33 m) is met gemiddelde taludhelling van 1:7,8 veel flauwer dan het eerste en derde deel (tussen 33 en 39 m). Het derde deel heeft een gemiddelde taludhelling van 1:3,4 (in vak 34 is het talud met 1:2,5 het steilst).

In Bijlage B is een dwarsprofiel van deze teststrook opgenomen.

Bedekking

Per vak is de bedekking bepaald. De resultaten hiervan zijn opgenomen in Bijlage E. In onderstaande tabel is een resumé van de relatieve bedekking gegeven. In vak 4A is de totale bedekking met 29% het kleinst. In vak 3A is het percentage kruiden met 13% het grootst.

Tabel 4: Relatieve bedekking teststrook 0 voor boven- en ondertalud

	Boventalud			Ondertalud		
	Totaal	Grassen	Kruiden	Totaal	Grassen	Kruiden
<i>Minimaal</i>	29	87	0	62	97	0
<i>Maximaal</i>	98	100	13	98	100	3
<i>Gemiddelde</i>	84	97	3	90	98	2

In de teststrook werden op zowel het boven- als ondertalud de nodige kale plekken aangetroffen. Vooral de kale plek in vak 4A sprong in het oog, zie Figuur 12.



Figuur 12: Kale plek in vak 4A, teststrook 0.

Muizen

In de teststrook is ook muizenactiviteit waargenomen (zie ook Bijlage E). In totaal zijn 26 muizenholen aangetroffen. De meeste muizenholen (15) bevinden zich op het boventalud, waarvan drie in vak 4(A) en vier in vak 11. Vak 30 op het ondertalud bevat met acht muizenholen het meeste aantal muizenholen van alle vakken.

5.2.1.2 Resultaten teststrook 0

Op deze teststrook zijn achtereenvolgens de volgende in Tabel 1 beschreven proeven uitgevoerd (zie ook Bijlage A): GO1_1, GO10_1, GO100_1, GO50_3.2 en GO100_3.2 (gestopt na 913 golven). Hieronder zijn de bij deze proeven gedane bevindingen beschreven.

Proef GO1_1

Aan het einde van proef GO1_1 waren vooral de aanwezige muizengaten en kale plekken (bijvoorbeeld in vak 4A, zie Figuur 13) beter zichtbaar geworden.



Figuur 13: Kale plek in vak 4A einde proef GO1_1, teststrook 0.

Proef GO10_1

Na vijf stormuren had bij de kale plek in vak 4A de nodige erosie plaatsgevonden (L100xB110xD28 cm), zie Figuur 14.



Figuur 14: Erosie in vak 4A einde proef GO10_1, teststrook 0.

Ook in vak 13A was sprake van erosie (L35xB50xD14 cm), zie Figuur 15. Hier bleek een boorgat te zitten.



Figuur 15: Erosie in vak 13A einde proef GO10_1, teststrook 0.

Proef GO100_1

Tijdens deze proef werden de schades in vak 4A en 13A langzaam groter en dieper, zie Figuur 16 en Figuur 17.



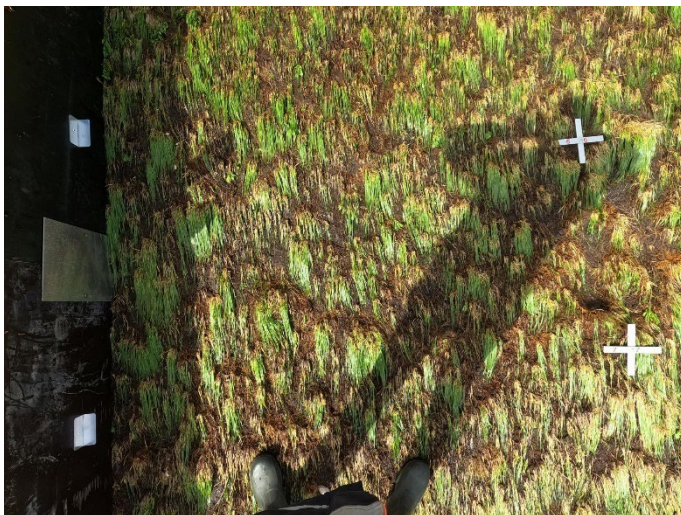
Figuur 16: Erosie in vak 4A (L120xB110xD33 cm) einde proef GO100_1, teststrook 0.



Figuur 17: Erosie in vak 13A (L75xB70xD23 cm) einde proef GO100_1, teststrook 0.

In vak 1AB was na 3,5 uur storm ook schade ontstaan. Aan het einde storm had de erosie een omvang van L25xB30xD18 cm. Ook in vak 15 was erosie met een omvang van L40xB25xD10 cm waargenomen.

Onderin vak 7B was aan het einde van proef GO100_1 ook sprake van begin van schade, zie Figuur 18.



Figuur 18: Begin schade onderin vak 7B einde proef GO100_1, teststrook 0.

Op het ondertalud was in vak 30A erosie ontstaan met een omvang van L66xB27xD18 cm. In het vak waren veel oppervlakkige muizengangen zichtbaar.

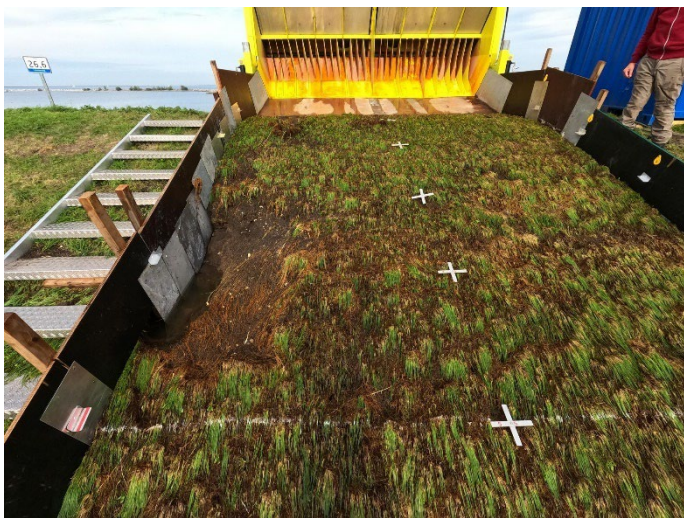
Proef GO50_3.2

De aanwezige schades waren tijdens deze storm steeds groter geworden. Na het vierde stormuur waren de schades in vak 1A en 1B toegenomen tot een omvang van (L175xB50xD10 cm) en (L130xB35xD11 cm), zie ook Figuur 19.



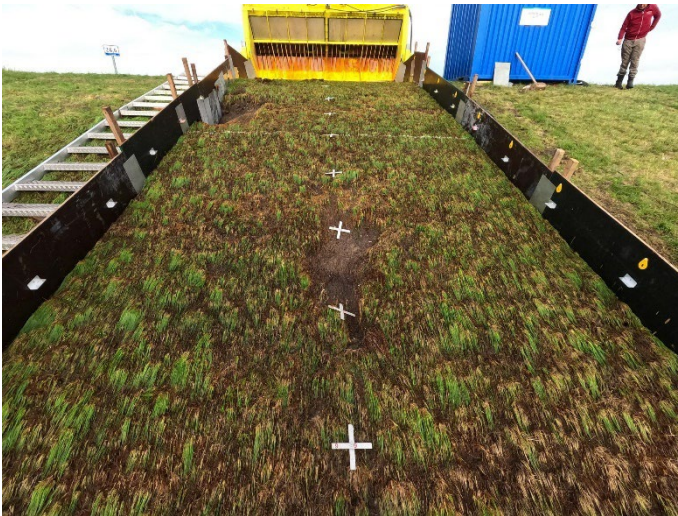
Figuur 19: Erosie in vak 1A (L175xB50xD10 cm) en 1B (L130xB35xD11 cm) na vier stormuren proef GO50_3.2, teststrook 0.

De in vak 4A ontstane schade was toen maximaal 200 cm lang, 110 cm breed en 55 cm diep, zie Figuur 20.



Figuur 20: Uitbreiding schade in vak 4A na vier stormuren proef GO50_3.2, teststrook 0.

De schade in onderin vak 7B was door het afstropen van de zode tijdens de vier stormuren ook groter geworden (L230xB35-60xD21,5 cm), zie Figuur 21.



Figuur 21: Uitbreiding schade in vak 7B na vier stormuren proef GO50_3.2, teststrook 0.

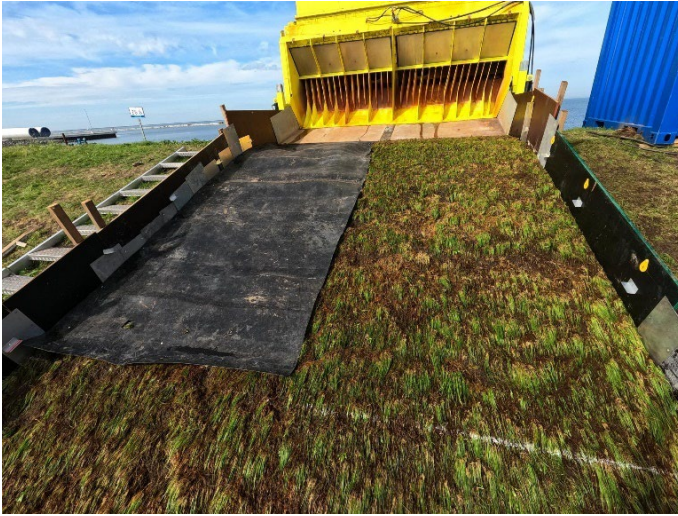
De aanwezige schades ter plaatse van de geometrische overgang waren na twee uur storm samengegaan. De erosie was na vier stormuren maximaal 270 cm lang, 200 cm breed en 18 cm diep, zie Figuur 22. In vak 13C was ook schade ontstaan (L220xB50xD23 cm), zie ook Figuur 22.



Figuur 22: Erosie ter plaatse van de geometrische overgang na vier stormuren proef GO50_3.2, teststrook 0.

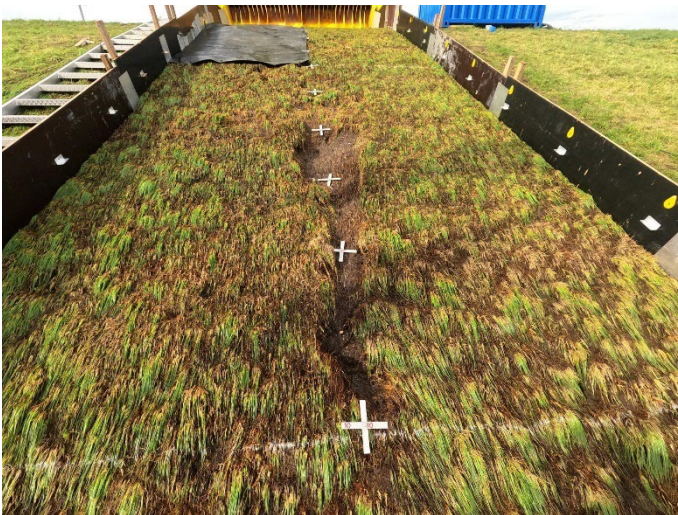
Op het ondertalud was de schade in vak 30 na twee uur storm groter geworden (L150xB50xD17 cm). De schade liep tot onder de geleideschotten door.

Omdat de schade in vak 4A ontstane schade steeds dieper werd en het geleideschot ondermijnde zijn in overleg met de beheerder na vijf stormuren de schades op het bovenste deel van het boventalud afgedekt met een plastic ribbelzeil, zie Figuur 23. Zodoende hoefde de proef op deze teststrook niet gestopt te worden.



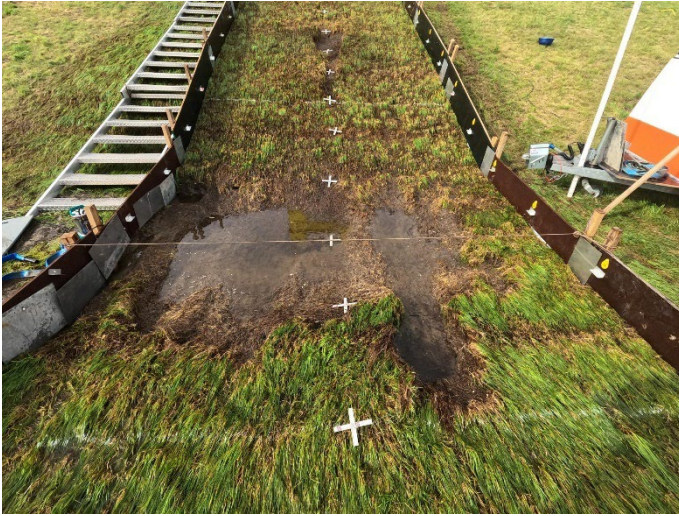
Figuur 23: Afdekken schades bovenste deel boventalud na vijf stormuren proef GO50_3.2, teststrook 0.

Aan het einde van de proef waren de afmetingen van de in vak 7B ontstane schade vooral langer geworden (maximaal 375 cm), zie Figuur 24. De breedte van de 'geul' varieert tussen 20 en 60 cm.



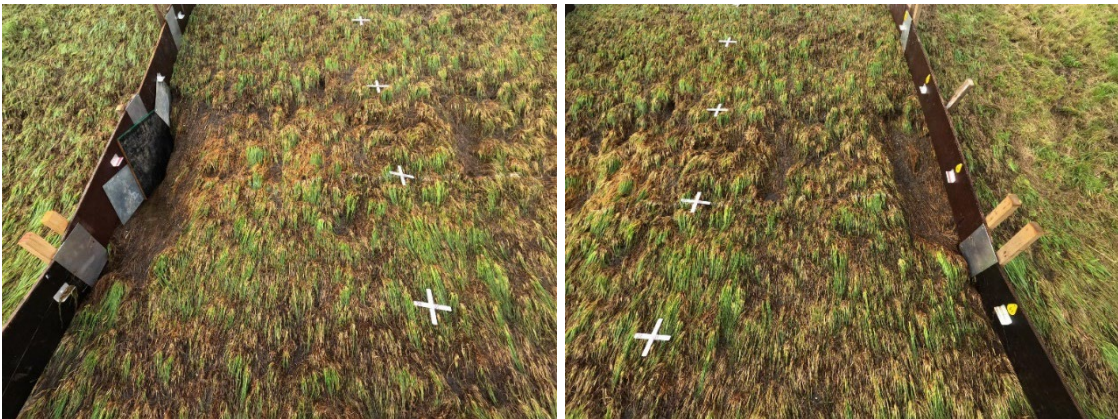
Figuur 24: In het midden van de teststrook was aan het einde van proef GO50_3.2 een circa 4 m lange geul ontstaan, teststrook 0.

Ter plaatse van de overgang was vrijwel de gehele zode over een lengte van maximaal 270 cm over een breedte van ongeveer 3 m (vakken A t/m C) weg, zie Figuur 25.



Figuur 25: Erosie ter plaatse van de geometrische overgang einde proef GO50_3.2, teststrook 0.

Op het ondertalud was de schade in vak 30 na zes uur storm maximaal 210 cm lang en 125 cm breed geworden. Direct naast de geleideschotten was de erosiekuil met 55 cm het diepst. Ook onderin vak 29 was na vijf uur storm schade ontstaan. Deze schade was aan het einde van deze proef maximaal 175 cm lang, 55 cm breed en 20 cm diep. In Figuur 26 is de erosie ter hoogte van vak 30 na proef GO50_3.2 weergegeven.



Figuur 26: Erosie op het ondertalud ter hoogte van vak 30 einde proef GO50_3.2, teststrook 0.

Proef GO100_3.2

Omdat de schade op zowel het boven- als ondertalud tijdens deze proef dusdanig groot werd en er bij de drainage ter hoogte van de knik op het boventalud zand uitspoelde (stopcriterium) is deze proef in overleg met de keringbeheerder na 913 golven (circa 4 uur en 15 minuten storm) gestopt. Hieronder is voor zowel het boven- als ondertalud uiteengezet wat er tijdens deze proef is gebeurd.

Boventalud – weg binnenberm

Tijdens de proef werden de aanwezige schades op het boventalud steeds groter. Aan het einde van de proef was ook een groot deel van de zode naast de afdekking weg en was verbinding gemaakt met de geul die in het midden van het boventalud was ontstaan. De geul had zich aan het einde van de storm tot aan de schade bij de geometrische overgang uitgebreid (door erosie werd de geul steeds breder en dieper). In Tabel 5 is voor verschillende afstanden ten opzichte van de uitstroomopening de breedte en diepte van deze geul weergegeven.

Tabel 5: Breedte en diepte geul boventalud op verschillende afstanden ten opzichte van de uitstroomopening van de WOS na proef GO100_3.2

Afstand [m]	Breedte [cm]	Diepte [cm]
1	145	15
2	125	25
3	120	20
4	130	20
5	90	35
5,5	160	45
6	140	60
6,5	160	65
7	150	65
7,5	150	65
8	180	75
8,5	150	80
9	150	70
9,5	140	50
10	125	60
10,5	125	45
11	150	55
11,5	190	40

Vanaf de geometrische overgang tot aan de weg op de binnenberm was de toplaag voor een groot deel geërodeerd: in vakken 13 en 14 over bijna de gehele breedte van de teststrook en in vakken 15 en 16 over respectievelijk circa 300 (A-C) en 200 (B-C) cm. Op circa 13,75 m vanaf de uitstroomopening was de erosiediepte maximaal: 80 cm.

NB Met behulp van een guts is geconstateerd dat de dikte van de k(l)ei(leem) ter hoogte van de maximale erosiediepte circa 105 cm is.

In Figuur 27 is de ontwikkeling van de schade op boventalud tijdens proef GO100_3.2 weergegeven. In Figuur 28 en Figuur 29 is met de drone gefotografeerde schade aan het einde van proef GO100_3.2 weergegeven.



Figuur 27: Erosie op het boventalud na 2 uur storm (linksboven), 3 uur storm (rechtsboven), 4 uur storm (linksonder) en aan het einde (rechtsonder) van proef GO100_3.2, teststrook 0.



Figuur 28: Schade boventalud einde proef GO100_3.2, teststrook 0.



Figuur 29: Bovenaanzicht schade boventalud einde proef GO100_3.2, teststrook 0.

Ondertalud

Op het ondertalud bezweken tijdens het tweede stormuur (na golf 306) ter hoogte van vak 30 de geleideschotten. De erosie is hier afgedekt met twee kunststof rijplaten. Direct vóór de rijplaten is een schot geplaatst om het overslaande water om de rijplaten te geleiden. Tevens zijn vanaf 24 m een deel van de geleideschotten weggehaald. Op deze manier is getracht te voorkomen dat de proef vanwege verdergaande erosie op het ondertalud gestopt moest worden. Vanaf dit moment is de ontwikkeling van de schade op het ondertalud niet meer gemonitord.



Figuur 30: De afgedekte schade en geleideschotten verwijderd na twee stormuren proef GO100_3.2, teststrook 0.

Aan het einde van de proef is met de drone de schade op het ondertalud gefotografeerd, zie Figuur 31. Op diverse plekken op het ondertalud is sprake van schade.



Figuur 31: Schade ondertalud einde proef GO100_3.2, teststrook 0.

Overgang asphalt-gras

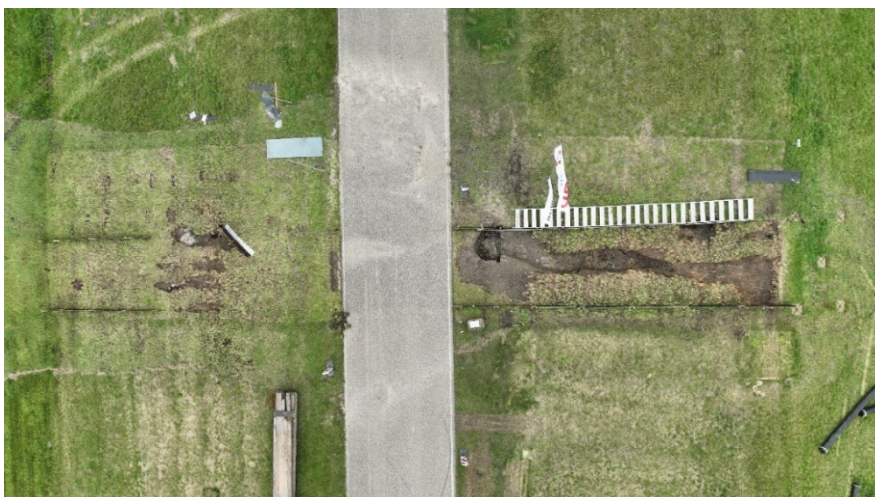
Omdat er tijdens de proeven nog geen schade ter plaatse van de overgang asphalt-gras was ontstaan is na 3,5 uur storm direct achter de overgang in het midden van de teststrook schade van 40 cm lang, 200 cm breed en 10 cm diep aangebracht. Aan het einde van de proef (45 minuten na aanbrengen schade) was deze schade, zie Figuur 32, iets groter geworden, circa 5 cm langer, 10 cm breder en 5 cm dieper.



Figuur 32: Aangebrachte schade overgang asphalt-gras einde proef GO100_3.2, teststrook 0.

5.2.1.3 Conclusie teststrook 0

Op zowel het boven- als ondertalud is tijdens de proeven schade opgetreden en is de toplaag gefaald, zie ook Figuur 33. Bij de overgang asphalt-gras is geen schade opgetreden (ook de aangebrachte schade is nauwelijks groter geworden).



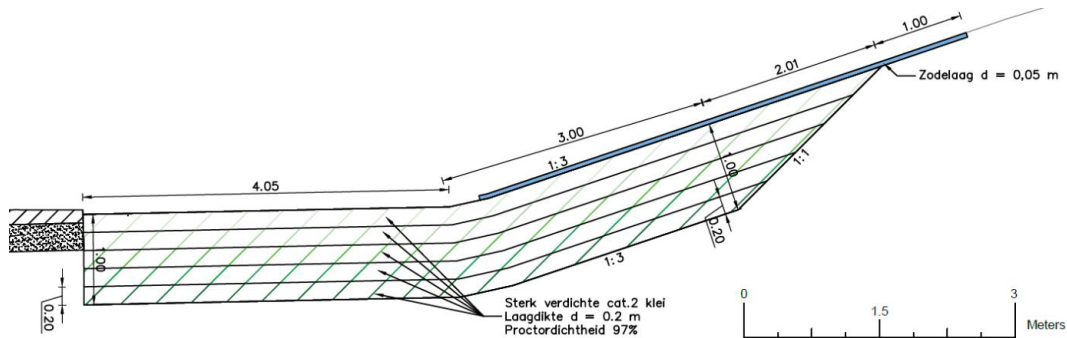
Figuur 33: Schade op zowel het boven- en ondertalud einde proef GO100_3.2, teststrook 0.

5.2.2 Teststrook 2

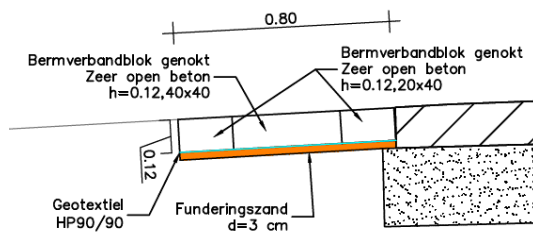
5.2.2.1 Beschrijving teststrook 2

Algemeen

Bij teststrook 2 was de geometrische overgang (knik) versterkt door sterk verdichte klei (circa 100 cm dik) in dunne lagen aan te brengen (zie Figuur 34). Op deze klei waren vervolgens graszoden⁹ geplaatst. De overgang van asphalt naar gras was versterkt met genokte bermverbandblokken (zie Figuur 35). Voor een uitgebreide beschrijving van beide oplossingen en de aanleg hiervan wordt verwezen naar [2] en [3].



Figuur 34: Oplossing teststrook 2 ter plaatse van knik.



Figuur 35: Oplossing teststrook 2 ter plaatse van overgang asphalt-gras.

Bij teststrook 2 is de sterkte van de oplossing voor geometrische overgang en de overgang van de weg naar het gras getest. Omdat de focus op het testen van de oplossingen lag is een deel van het boventalud, vanaf de uitstroomopening van de simulator (= nulpunt meetraster) tot aan vak 7, afgedekt met plastic zeil. Hierdoor vormde de overgang tussen het gras op het ongeroerde talud en de teruggeplaatste zoden geen aangrijpingspunt voor de overslaande golven.

De geometrische overgang lag op circa 12 m vanaf de uitstroomopening van de simulator. De gemiddelde helling van het boventalud (van 1 m tot 12 m) is 1:3,9. In vakken 6 en 8 is het talud met 1:2,9 het steilst. De teruggeplaatste zoden sloten lokaal niet mooi aan (dwars op de stroomrichting van de overslaande golven waren kleine openingen zichtbaar). Op de binnenberm was de zode veel kaler, zie ook Figuur 36.

⁹ Deze graszoden zijn medio juni geplaatst.



Figuur 36: Impressie boventalud teststrook 2.

De overgang van het gras naar de asfalt en van asfalt naar het gras lagen respectievelijk op circa 16 en 22 m. De bovenkant van de aangebrachte bermverbandblokken lag lokaal iets lager dan het asfalt.

Het ondertalud begint iets voorbij 26 m. Omdat de focus op de sterkte van de oplossingen ligt is het ondertalud verder niet beschreven. Desalniettemin zijn hier wel geleideschotten geplaatst om het overslaande water richting de teensloot te geleiden.

In Bijlage B is een dwarsprofiel van deze teststrook tot aan het begin van het ondertalud opgenomen.

Bedekking

In deze teststrook is de bedekking niet bepaald.

5.2.2.2 Resultaten teststrook 2

Op deze teststrook zijn achtereenvolgens de volgende in Tabel 1 beschreven proeven uitgevoerd (zie ook Bijlage A): GO1_1, GO10_1, GO100_1, GO50_3.2 en GO100_3.2. Hieronder zijn de bij deze proeven gedane bevindingen beschreven.

Proef GO1_1

Aan het einde van de proef kreeg het overslaande water vat op de teruggeplaatste zoden. Onderin vak 7 stroomde het water via de aanwezige openingen onder de zode waardoor deze bovenin vak 9 opbolde.

Proef GO10_1

Omdat het water via de openingen onder de zode door kon stromen bolde de zode op. Al snel werden hele stukken zode “opgeblazen” en kon de zode afstropen richting de geometrische overgang. Na 50 golven was in het midden van de teststrook een geul tot onderin vak 12 ontstaan, zie Figuur 37.



Figuur 37: Schadebeeld boventalud na 50 golven proef GO10_1, teststrook 2.

Aan het einde van de proef was een groot deel van zode van vak 7C tot 15C weggespoeld/geërodeerd, zie Figuur 38. De erosiegeul in de klei werd langzaam dieper.



Figuur 38: Schadebeeld boventalud einde proef GO10_1, teststrook 2.

Proef GO100_1

Tijdens de eerste 2,5 uur storm spoelde/erodeerde steeds meer zode weg: over een breedte van gemiddeld 2,5 m was de zode tot halverwege vak 16 weg. Tijdens het restant van proef GO100_1 gebeurde er weinig. De erosiediepte van de hieronder aanwezige klei nam langzaam toe (maximaal 27 cm). Figuur 39 laat het schadebeeld aan het einde van proef GO100_1 zien.



Figuur 39: Schadebeeld boventalud einde proef GO100_1, teststrook 2.

Proef GO50_3.2

Na twee uur storm was vrijwel de gehele zode vanaf de afdekking tot aan de geometrische overgang weggeërodeerd. De erosie van de klei nam toe. Van onderin vak 10B tot onderin vak 12 was een erosiekuil met een maximale erosiediepte van 48 cm ontstaan, zie Figuur 40.



Figuur 40: Erosiekuil op het boventalud na twee uur proef GO50_3.2, teststrook 2.

Tijdens de resterende vier stormuren heeft de bovenkant van de erosiekuil zich door terugschrijdende erosie verplaatst naar de onderzijde van vak 8B en was de aanwezige erosiekuil groter geworden, zie Figuur 41.



Figuur 41: Erosiekuil op het boventalud einde proef GO50_3.2, teststrook 2.

In Tabel 6 is voor verschillende afstanden ten opzichte van de uitstroomopening de breedte en diepte van de erosiekuil op het boventalud weergegeven. Op de binnenberm was de erosiediepte maximale 30 cm.

Tabel 6: Breedte en diepte erosiekuil op het boventalud (tot aan de knik) voor verschillende afstanden ten opzichte van de uitstroomopening van de WOS einde proef GO50_3.2, teststrook 2.

Afstand [m]	Breedte [cm]	Diepte [cm]
8	60	50
9	120	60
10	160	55
11	150	45
12	400	35

Tijdens proef GO50_3.2 was er op het ondertalud de nodige schade ontstaan, zie Figuur 42. De meest in het oog springende schade waren de erosiekuilen in vakken 32-33A (L110xB55xD22 cm) en 38-39A (L190xB77xD36 cm).



Figuur 42: Schadebeeld ondertalud einde proef GO50_3.2, teststrook 2.

Proef GO100_3.2

Na 217 golven van proef GO100_3.2 spoelde zand uit de erosiekuil bij 38-39A. De kuil was maximaal 60 cm diep, zie Figuur 43. Ook de erosiekuil bij 32-33A was aanzienlijk dieper geworden (maximaal 40 cm) en had zich onder de geleideschotten door kunnen uitbreiden tot naast de teststrook. Alvorens met de proef verder te gaan waren de erosiekuilen opgevuld met zandzakken en afgedekt met twee kunststof rijplaten. Direct boven de schades waren schotten geplaatst om het overslaande water om de rijplaten te geleiden. Tevens waren vanaf 23 m de geleideschotten weggehaald. Op deze manier werd voorkomen dat de proef vanwege verdergaande erosie op het ondertalud gestopt moest worden. Vanaf dit moment is de ontwikkeling van de schade op het ondertalud niet meer gemonitord.



Figuur 43: Schadebeeld ondertalud na 217 volumes van proef GO100_3.2, teststrook 2.

Tijdens de resterende uren van proef GO100_3.2 is de erosiekuil op het boventalud langzaam groter geworden, zie Figuur 44. In Tabel 7 is voor verschillende afstanden ten opzichte van de uitstroomopening de breedte en diepte van de erosiekuil op het boventalud weergegeven. De diepte van de erosiekuil is tijdens deze proef nagenoeg niet gewijzigd.



Figuur 44: Erosiekuil op het boventalud einde proef GO100_3.2, teststrook 2.

Tabel 7: Breedte en diepte erosiekuil op het boventalud voor verschillende afstanden ten opzichte van de uitstroomopening van de WOS na 2 uur storm, 4 uur storm en aan het eind van proef GO100_3.2, teststrook 2.

Afstand [m]	Na 2 uur		Na 4 uur		Na 6 uur	
	Breedte [cm]	Diepte [cm]	Breedte [cm]	Diepte [cm]	Breedte [cm]	Diepte [cm]
7	-	-	-	-	75	50
8	-	-	160	55	220	55
9	200	60	220	60	240	60
10	220	60	240	65	250	65
11	190	50	190	55	200	55
12	235	40	235	40	235	40
13	225	30	225	30	225	30
14	240	30	240	30	240	30

Bij de overgang asfalt naar gras die was versterkt met bermverbandblokken was tijdens de verschillende proeven weinig tot niets gebeurd, zie Figuur 44.



Figuur 45: Lichte slijtage achter de bermverbandblokken na alle proeven op teststrook 2.

Na afloop van de proeven is de schade op het boventalud opgevuld met klei en afgedekt. Vervolgens is, om na te kunnen gaan of de op het boventalud ontstane schade veel invloed heeft op de frontsnelheid, de hydraulische meting bij proef GO50_3.2 nogmaals uitgevoerd en zijn vervolgens 25 volumes van 5.000 l/m (“volle bak”) gesimuleerd. Het beeld bij de bermverbandblokken was na deze volumes ongewijzigd.

5.2.2.3 *Conclusie teststrook 2*

Bij de tweede proef op deze teststrook spoelde de eerste teruggeplaatste zoden op het boventalud weg. Tijdens de proeven zijn vrijwel alle teruggeplaatste zoden geërodeerd en is er een grote erosiekuil in de sterke verdichte klei ontstaan. De oplossing zelf is echter niet bezweken.

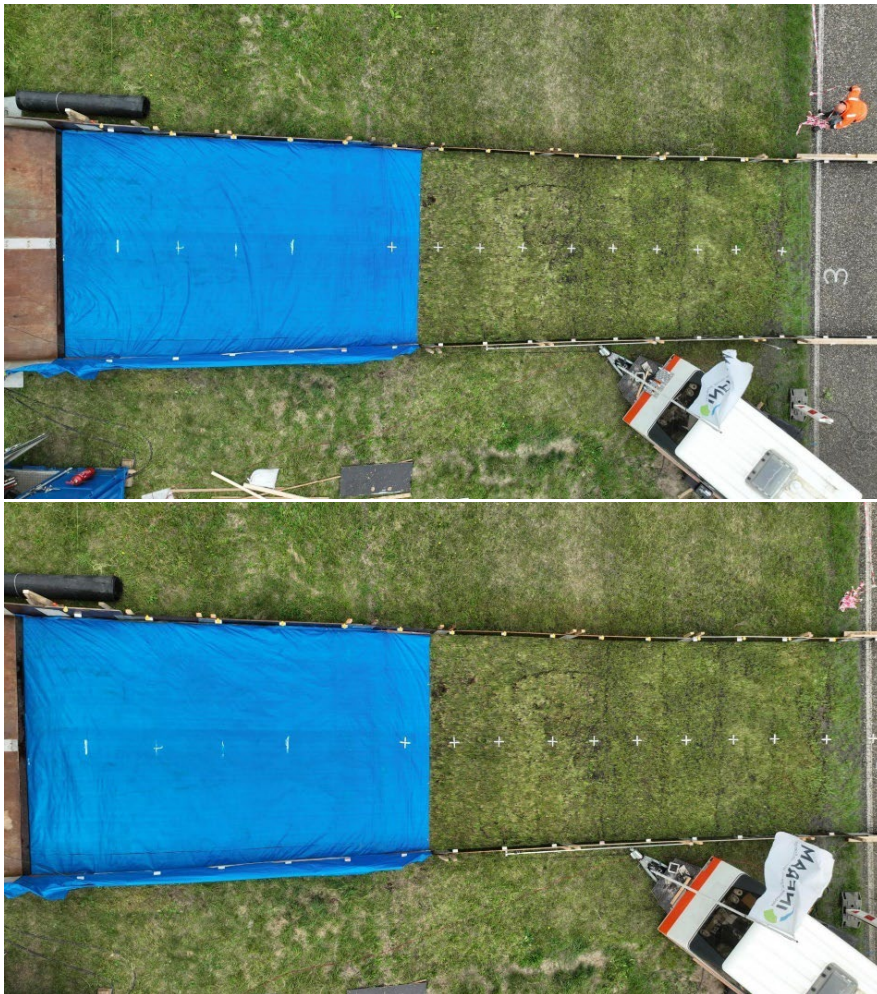
Bij de bermverbandblokken is geen noemenswaardige schade ontstaan.

5.2.3.2 Resultaten teststrook 3

Op deze teststrook zijn achtereenvolgens de volgende in Tabel 1 beschreven proeven uitgevoerd (zie ook Bijlage A): GO1_1, GO10_1, GO100_1, GO50_3.2 en GO100_3.2. Hieronder zijn de bij deze proeven gedane bevindingen beschreven.

Proeven GO1_1 en GO10_1

Aan het einde van beide proeven had het overslaande water nog geen vat op de teruggeplaatste zoden. Aan het einde van proef GO1_1 was er onderin vak 7C een kleine erosieplek zichtbaar. Deze plek is tijdens proef GO10_1 niet groter geworden. Wel was er halverwege vak 8D een kleine erosieplek bijgekomen. Ook de naden tussen de teruggeplaatste zoden waren na proef GO1_1 beter zichtbaar geworden.



Figuur 48: Bovenalud einde proef GO1_1 (boven) en GO10_1 (onder), teststrook 3.

Proef GO100_1

Tijdens het eerste uur van deze proef was de teruggeplaatste zode op verschillende plekken losgekomen, zie Figuur 49. De eerder genoemde erosieplekken waren niet groter geworden.



Figuur 49: Aan het einde van het eerste uur van proef GO100_1 op teststrook 3 zijn op het boventalud verschillende teruggeplaatste zoden losgekomen.

Gedurende de resterende uren van deze proef kwamen steeds meer zoden los. Aan het einde van de proef was op het boventalud een groot deel van de zoden losgekomen, zie Figuur 50. Een deel van deze zoden is weggespoeld en een deel is naast de teststrook gelegd. De erosie van de toplaag was met een maximale diepte van 15 cm oppervlakkig te noemen.



Figuur 50: Schadebeeld boventalud halverwege (boven) en aan het einde van proef GO100_1 (onder), teststrook 3.

Proef GO50_3.2

Voorafgaand aan deze proef waren de geleideschotten na 27 m verwijderd. Hoewel er op dat moment op het ondertalud nog geen noemenswaardige schade was, moest hiermee voorkomen worden dat de grote volumes van het ZM-regiem, zoals bij teststrook 0 en 2, schades tot gevolg hadden die de voortgang van de proef op deze teststrook zouden frustreren.

Na het eerste uur van proef GO50_3.2 was vrijwel de gehele zode op het boventalud weg, zie Figuur 51.



Figuur 51: Schadebeeld boventalud na één uur van proef GO50_3.2, teststrook 3.

Tijdens de resterende uren van deze proef nam de erosie van de doorwortelde laag langzaam toe. Echter, tijdens het zesde uur nam in vak 7C de erosie snel toe. Aan het einde van de proef was er een gat ontstaan van maximaal 75 cm lang, 50 cm breed en 50 cm diep, zie Figuur 52.



Figuur 52: Erosiegat vak 7C einde proef GO50_3.2, teststrook 3.

Bij de overgang van asfalt naar gras was tot en met het tweede uur van proef GO50_3.2 ter plaatse van de opsluitband nog weinig gebeurd. Tijdens het derde uur werd op circa 40 cm achter de opsluitband in vak 23C de teruggeplaatste zode losgetrokken en werd het onderliggende geogrid zichtbaar. Aan het einde van de proef was deze ongeveer 75 cm breed en 75 cm lang en 5 cm diep, zie Figuur 53.



Figuur 53: Schadebeeld ter plaatse van de opsluitband einde proef GO50_3.2, teststrook 3.

Proef GO100_3.2

Tijdens het eerste half uur was de tijdens de vorige proef ontstane erosiegat op het boventalud snel groter geworden: maximaal 220 cm lang, 100 cm breed en 72 cm diep (zie Figuur 54 en Figuur 55). In overleg met de keringbeheerder was, alvorens de proef te hervatten, het erosiegat afgedekt met kunststof rijplaten en een zeil.



Figuur 54: Erosiegat boventalud na 0,5 uur GO100_3.2, teststrook 3.



Figuur 55: Detail erosiegat boventalud na 0,5 uur GO100_3.2, teststrook 3.

Aanvankelijk gebeurde er tijdens de resterende vijf stormuren weinig op het boventalud. Echter, bij de laatste 30 volumes scheurde het zeil waarmee het talud was afgedekt. Hierdoor kon in de vakken 6 en 7 nog aanzienlijke schade ontstaan. Merk op dat het afgedekte deel van het talud tijdens alle proeven op deze teststrook zichtbaar had geleden. Figuur 56 geeft een impressie van de schade op het boventalud na proef GO100_3.2.



Figuur 56: Schadebeeld boventalud einde GO100_3.2, teststrook 3.

Tijdens deze proef had de schade zich nog kunnen uitbreiden tot aan de overgang naar het asfalt, zie Figuur 57. De erosiediepte was hier maximaal 25 cm. Het erosiegat in vak 15 was maximaal 35 cm.



Figuur 57: Schadebeeld ter hoogte van overgang gras-asfalt einde GO100_3.2, teststrook 3.

Na het eerste stormuur was er op circa 40 cm achter de opsluitband in vak 23B ook sprake van schade. Deze wordt tijdens het restant van de proef langzaam groter, maar niet zo groot als de schade in vak 23C (L75xB75XD10 cm).



Figuur 58: Schadebeeld ter hoogte van de opsluitband einde GO100_3.2, teststrook 3.

5.2.3.3 Conclusie teststrook 3

In tegenstelling tot teststrook 2 spoelden de teruggeplaatste zoden pas bij proef GO100_1 weg. Uiteindelijk is op het talud een groot erosiegat ontstaan. Ter plaatse van de geometrische overgang heeft, nadat de zode was weggespoeld, uiteindelijk weinig erosie plaatsgevonden. Achter de opsluitband heeft wat slijtage plaatsgevonden en is een deel van de teruggeplaatste zode weggespoeld waardoor het geogrid zichtbaar werd. De oplossing zelf is echter niet bezweken.

5.2.4 Teststrook 4

5.2.4.1 Beschrijving teststrook 4

Algemeen

Teststrook 4 diende als tweede referentie voor de bekleding op de IJsselmeerdijk. In tegenstelling tot teststrook 0 is de grasbekleding hier niet afgedekt geweest met een schermdoek.

Bij teststrook 4 is het effect van golfoverslag op de erosiebestendigheid van de grasbekleding op het binnentalud onderzocht. Daarbij is ook gekeken naar de erosiebestendigheid van de geometrische overgang (knik) en de overgang van de weg naar het gras.

De eerste 2 meter na de uitstroomopening van de simulator (= nulpunt meetraster) zijn afgedekt.

De geometrische overgang bevond zich op ongeveer 11 m vanaf de uitstroomopening. De gemiddelde helling van het boventalud (van 1 m tot 11 m) was 1:3,4. In vak 10 was het talud met 1:2,8 het steilst.

De overgang van het gras naar het asfalt en het asfalt naar het gras liggen respectievelijk op circa 16 en 22 m. Beide overgangen kunnen conform [4] als nette overgang worden beschouwd.

Het ondertalud begint op 26 m van de uitstroomopening en bestaat uit drie delen. Het eerste deel loopt tot 31 m en heeft een gemiddelde taludhelling van 1:4 (in vakken 29 en 30 is het talud met 1:2,5 het steilst). Het tweede deel (tussen 31 en 32 m) is met gemiddelde taludhelling van 1:11,9 veel flauwer dan het eerste en derde deel (tussen 32 en 39 m). Het derde deel heeft een gemiddelde taludhelling van 1:4,1 (in vak 35 is het talud met 1:3,3 het steilst).

In Bijlage B is een dwarsprofiel van deze teststrook opgenomen.

Bedekking

Per vak is de bedekking bepaald. De resultaten hiervan zijn opgenomen in Bijlage E. In onderstaande tabel is een resumé van de relatieve bedekking gegeven. In vak 29C is de totale bedekking met 62% het kleinst. In vak 33A is het percentage kruiden met 12% het grootst.

Tabel 8: Relatieve bedekking teststrook 4 voor boven- en ondertalud

	Boventalud			Ondertalud		
	Totaal	Grassen	Kruiden	Totaal	Grassen	Kruiden
<i>Minimaal</i>	91	92	0	62	88	0
<i>Maximaal</i>	100	100	8	100	100	12
<i>Gemiddelde</i>	97	97	3	94	98	2

Muizen

In vergelijking met teststrook 0 worden op deze teststrook minder muizenactiviteiten waargenomen (zie ook Bijlage E). Op het benedentalud worden de meeste muizenholen (vier) aangetroffen. De meeste hiervan worden in vak 25 gevonden (drie in totaal). Vak 11B bevat met twee muizenholen het meeste aantal muizenholen op het boventalud.

5.2.4.2 Resultaten teststrook 4

Op deze teststrook zijn achtereenvolgens de volgende in Tabel 1 beschreven proeven uitgevoerd (zie ook Bijlage A): GO1_1, GO10_1, GO100_1, GO50_3.2 en GO100_3.2. Hieronder zijn de bij deze proeven gedane bevindingen beschreven.

Proef GO1_1

Aan het einde van proef GO1_1 waren vooral de aanwezige muizengaten beter zichtbaar geworden.

Proef GO10_1

Voorafgaand aan deze proef was naar wens van de keringbeheerder in overleg met de OG net voorbij de overgang asfalt-gras met een vrachtwagen een rijspoor aangebracht (zie Figuur 59). Met het aanbrengen van deze schade wordt nagegaan of een dergelijke schade bij overslag tot grote schade(s) kan leiden.

Halverwege en aan het einde van deze vijf uur durende storm was deze schade nauwelijks groter geworden, zie Figuur 59.



Figuur 59: Aangebrachte schade na 2,5 uur (links) en einde (rechts) proef GO10_1, teststrook 4.

Op het talud zelf was tijdens deze proef geen sprake van noemenswaardige veranderingen.

Proef GO100_1

Tijdens de vijf stormuren veranderde er weinig op het talud. Ook de aangebracht schade werd niet veel groter. Op het diepste punt was de schade ten opzichte van het begin van de proef 5 cm dieper geworden.



Figuur 60: Aangebrachte schade einde proef GO100_1, teststrook 4.

Proef GO50_3.2

Omdat bij deze proef de focus op het boventalud en de overgangen ligt zijn, zoals bij teststrook 3, na de hydraulische metingen de geleideschotten vanaf 27 m weggehaald.

Tijdens het eerste stormuur ontstond er schade in vak 10D. Deze schade had zich uitgebreid naar vak 11 en was maximaal 160 cm lang, 75 cm breed en 15 cm diep. Aan het einde van het tweede stormuur was deze schade iets groter geworden. De diepte was met 5 cm toegenomen.

Ook ter plaatse van de geometrische overgang (rond 11 m) was tijdens het tweede stormuur schade in vak 12B ontstaan. Deze schade was na 2 uur storm maximaal 100 cm lang, 60 cm breed en maximaal 18 cm diep.

Beide schades hebben zich gedurende de resterende vier stormuren langzaam kunnen uitbreiden, zie Figuur 61. Na zes stormuren was de in vak 10D ontstane schade maximaal circa 175 cm lang en 100 cm breed geworden. De maximale diepte was 25 cm. De oorspronkelijk in vak 12B ontstane schade was breder (maximaal 200 cm) en langer (maximaal circa 250 cm lang) en dieper (maximaal 30 cm) geworden.



Figuur 61: Schades op het boventalud en ter hoogte van de geometrische overgang einde proef GO50_3.2, teststrook 4.

De vorm van de aangebrachte schade bij de overgang van asfalt naar gras was tijdens deze proef iets gewijzigd, zie Figuur 62. De diepte was beperkt (2 cm) toegenomen.



Figuur 62: Aangebrachte schade einde proef GO50_3.2

Proef GO100_3.2

Tijdens de eerste twee stormuren van deze proef werd de oorspronkelijke in vak 10D ontstane schade iets breder (maximaal 110 cm) en langer (maximaal 200 cm). De diepte was niet toegenomen. Tijdens de resterende vier stormuren was de schade alleen langer (maximaal 235 cm) geworden. Zie Figuur 64 voor de ontwikkeling van de schade tijdens deze proef.

De oorspronkelijk in vak 12D ontstane schade was tijdens de eerste twee stormuren alleen langer geworden (maximaal 280 cm). Tijdens de resterende vier stormuren werd de schade langzaam breder, langer en dieper. Uiteindelijk was de schade maximaal 265 cm breed, 410 cm lang en 32 cm diep. Zie Figuur 64 voor de ontwikkeling van de schade tijdens deze proef.

Tijdens het vierde stormuur is in vak 11C ook schade ontstaan, zie Figuur 64. Deze schade was tijdens de laatste twee stormuren niet veel groter geworden.

De aangebrachte schade was tijdens deze proef vooral dieper geworden: maximaal 35 cm (zie Figuur 63).



Figuur 63: Aangebrachte schade na 4 uur (links) einde (rechts) proef GO100_3.2, teststrook 4.

5.2.4.3 Conclusie teststrook 4

Op het boventalud (in vak 11D) en ter hoogte van de geometrische overgang (in vak 12D) is tijdens proef GO50_3.2 schade ontstaan. Het oppervlak van deze schades werd tijdens de proeven langzaam groter. Ook nam de diepte toe. Omdat de toplaag vrijwel overal nog wortels bevatte kan deze niet als bezwaken worden beschouwd. De proeven hebben dus niet tot bezwijken van de grasbekleding geleid.

Ter plaatse van de overgang van het asfalt naar het gras is geen schade ontstaan. Ook de aangebrachte schade ter plaatse van deze overgang heeft niet tot een echt grote schade geleid. Tijdens de proeven is de vorm van deze schade iets gewijzigd en is de maximale diepte ongeveer verdubbeld.



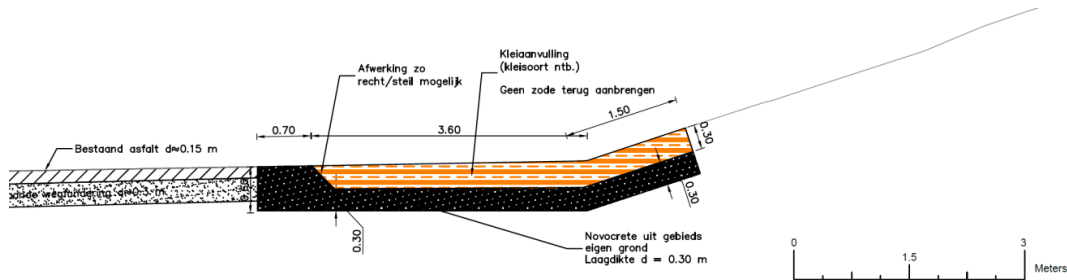
Figuur 64: Schades op het boventalud en ter hoogte van de geometrische overgang na 2 uur (boven), 4 uur (midden) en einde (onder) proef GO100_3.2, teststrook 4.

5.2.5 Teststrook 1

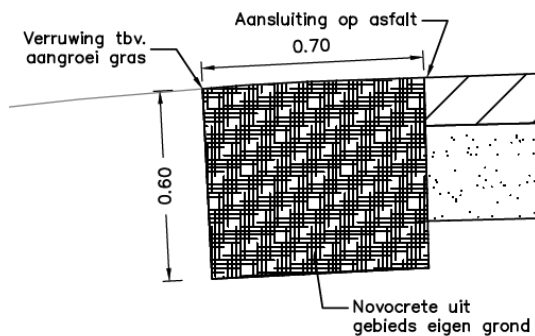
5.2.5.1 Beschrijving teststrook 1

Algemeen

Bij teststrook 1 was ter versterking van zowel de geometrische overgang (knik) als de overgang van asfalt naar gras NovoCrete® aangebracht (zie Figuur 65 en Figuur 66). Het NovoCrete® ter plaatse van de knik is vervolgens aangevuld met klei. Voor een uitgebreide beschrijving van beide oplossingen en de aanleg hiervan wordt verwezen naar [2] en [3].



Figuur 65: Oplossing teststrook 1 ter plaatse van knik.



Figuur 66: Oplossing teststrook 1 ter plaatse van overgang asfalt-gras.

Bij teststrook 1 is de sterkte van de oplossing voor geometrische overgang en de overgang van het asfalt naar het gras getest. De geometrische overgang lag op circa 11 m. De gemiddelde helling van het boventalud (van 1 m tot 11 m) is 1:3,5. In vak 6 is het talud met 1:2,7 het steilst. Er zijn in tegenstelling tot teststrook 2 en 3 geen zodes teruggeplaatst.

De overgang van het gras naar het asfalt en het asfalt naar het gras liggen respectievelijk op circa 16 en 22 m van de uitstroomopening.

Het ondertalud begint iets voorbij 26 m. Omdat de focus op de sterkte van de oplossingen ligt is het ondertalud verder niet beschreven. Desalniettemin zijn hier wel geleideschotten geplaatst om het overslaande water richting de teensloot te geleiden.

In Bijlage B is een dwarsprofiel van deze teststrook tot aan het begin van het ondertalud opgenomen.

Bedekking

In deze teststrook is de bedekking niet bepaald.

5.2.5.2 Resultaten teststrook 1

Op deze teststrook zijn drie sessies met proeven uitgevoerd. Tijdens de eerste sessie is alleen de sterkte van de oplossing ter plaatse van de overgang asfalt-gras getest. Alvorens de proeven uit te voeren is het gehele boventalud (van de uitstroom tot aan de weg op de binnenberm) afgedekt. Achtereenvolgens zijn

de volgende in Tabel 1 beschreven proeven uitgevoerd (zie ook Bijlage A): GO1_1, GO10_1, GO100_1, GO50_3.2* en GO100_3.2.

*alleen volumes 29-300

Na de eerste sessie is de gehele afdekking verwijderd en is tijdens de tweede sessie de sterkte van de tussen de geometrische overgang en de weg op de binnenberm aangebrachte oplossing getest door proef GO100_3.2 opnieuw uit te voeren. Vervolgens is tijdens de derde sessie een kliferosieproef uitgevoerd, waarbij de reststerkte van het NovoCrete® en de weg op de binnenberm is beschouwd. Bij deze proef zijn proeven GO100_1 en GO100_3.2 (5 stormuren) uitgevoerd. Alvorens deze proeven uit te voeren is het boventalud weer afgedekt. Hieronder zijn per sessie de met de proeven gedane bevindingen beschreven.

Sessie 1 (sterkte oplossing overgang asfalt-gras)

Tijdens de proeven is het NovoCrete® door de overslaande golven licht gesleten (vooral in vak 21A), zie Figuur 67 voor het 'schadebeeld' aan het einde van proef GO100_3.2. De oplossing is dus niet bezweken.



Figuur 67: Lichte slijtage NovoCrete® ter plaatse van overgang asfalt-gras einde proef GO100_3.2, teststrook 1 (sessie 1).

Wel spoelde tijdens de proeven veel van de op de NovoCrete® aangebrachte klei onder de afdekking vandaan. Hierdoor ontstond er feitelijk een woelbak, waardoor de snelheid van de overslaande golven mogelijk geremd werd en de oplossing voor de overgang asfalt-gras niet volledig belast is. In Figuur 68 is de uitspoeling aan het einde van sessie 1 te zien.



Figuur 68: Uitspoeling grond onder afdekking einde proef GO100_3.2, teststrook 1 (sessie 1).

Sessie 2 (sterkte oplossing knik)

Tijdens de herhaling van proef GO100_3.2 werd al snel de nog resterende klei weggespoeld. Door de overslaande golven is het NovoCrete® licht gesleten, zie Figuur 69, maar niet bezweken.



Figuur 69: Lichte slijtage NovoCrete® einde proef GO100_3.2, teststrook 1 (sessie 1)

In Figuur 70 is ter plaatse van de overgang van het gras naar het NovoCrete® schade te zien. Deze schade is ontstaan toen na vier uur storm het zeil circa 200 cm weggehaald was en na 5,5 uur een deel van de toplaag was weggestoken. In Figuur 70 is een detail van deze schade te zien.



Figuur 70: Schade ter plaatse van overgang gras-Novocrete® op het boventalud einde herhaling proef GO100_3.2, teststrook 1 (sessie 2)

De herhaling van de proef heeft uiteindelijk weinig tot geen gevolgen voor het NovoCrete® ter plaatse van de overgang asfalt-gras gehad, zie Figuur 71.



Figuur 71 NovoCrete® ter plaatse van overgang asfalt-gras einde herhaling proef GO100_3.2, teststrook 1 (sessie 2).

Sessie 3 (kliferosieproef)

Na afloop van de reguliere proeven is een kliferosieproef uitgevoerd. Hierbij is getest hoe lang NovoCrete® en vervolgens de weg op de binnenberm weerstand kunnen bieden tegen terugschrijdende erosie.

Ten behoeve van deze kliferosieproef is aan beide zijden van de teststrook op circa 50 cm afstand van de geleideschotten het asfalt doorgezaagd, zie Figuur 72. In het verlengde van het doorgezaagde asfalt is ook het NovoCrete® ter plaatse van de overgang asfalt-gras doorgezaagd.



Figuur 72: Doorzagen asfalt op de binnenberm ten behoeven van kliferosieproef, teststrook 1 (sessie 3).

Vervolgens is met een mobiele kraan op 100 cm achter het NovoCrete® een klif (met erosiekuil) aangebracht, zie Figuur 73. Daarbij is de klei tot op het zand weggegraven.



Figuur 73: Aangebrachte klif ten behoeve van de kliferosieproef, teststrook 1 (sessie 3).

De grond die vrijkwam bij het maken van de klif is gebruikt om het gat ter plaatse van de geometrische overgang en weg op de binnenberm weer op te vullen, zie Figuur 74. Het boventalud is vervolgens weer afgedekt.



Figuur 74: Het gat ter plaatse van de geometrische overgangen weg op de binnenberm is opgevuld met grond die vrijkwam bij het maken van de klif, teststrook 1 (sessie 3).

Bij de kliferosieproef is gestart met proef GO100_1. Na 45 minuten storm was de klei tot aan het NovoCrete® weg geërodeerd, zie Figuur 75.



Figuur 75: Kliferosie tot aan de NovoCrete® na 45 minuten proef GO100_1, teststrook 1 (sessie 3).

Na 75 minuten storm was het NovoCrete® dusdanig ondermijnd dat het onder zijn eigen gewicht bezweek, in tweeën brak en in het erosiegat viel, zie Figuur 76.



Figuur 76: NovoCrete® bezwijkt onder eigen gewicht en breekt in tweeën na 75 minuten proef GO100_1, teststrook 1 (sessie 3).

Toen het NovoCrete® weg was, werd goed zichtbaar dat onder het asfalt nog een klinkerbestrating aanwezig was, zie Figuur 77.



Figuur 77: Onder het asfalt was een klinkerbestrating aanwezig.

Nadat het NovoCrete® uit het erosiegat was verwijderd is verdergegaan met de proef. Aan het einde van proef GO100_1 was de asfaltweg maximaal circa 150 cm ondermijnd, zie Figuur 78.



Figuur 78: Schadebeeld einde proef GO100_1, teststrook 1 (sessie 3).

Vervolgens is verder gegaan met proef GO100_3.2. Na vijf uur storm was de asfaltweg maximaal circa 180 cm ondermijnd. De onder het aanwezige klinkerbestrating bleef ook 'hangen', zie Figuur 79.



Figuur 79: De onder het asfalt aanwezige klinkerbestrating blijft ook hangen, teststrook 1 (sessie 3).

Omdat de ondermijning van de asfaltweg gedurende de laatste 2,5 uur storm min of meer stabiel was, is geen zesde stormmuur meer gesimuleerd. Na afloop van de kliferosieproef is nog wel nagegaan tot hoever de weg ondermijnd moest worden alvorens deze zou bezwijken (sessie 4) Hiertoe is met behulp van een ‘spuitlans’ het zand langzaam weggespoeld. Tijdens het spoelen begon de weg heel langzaam te zakken. Toen de weg voor ongeveer de helft (2,9 meter in totaal) ondermijnd was ontstonden er scheurtjes in het asfalt. Het duurde vervolgens niet lang meer totdat de weg in het midden scheurde en in het gat viel. Figuur 80 geeft een impressie van de met deze proef gemaakte schade(s).

5.2.5.3 Conclusie teststrook 1

Tijdens de proeven op teststrook 1 was het NovoCrete® niet bezweken (wel lichte slijtage). Tijdens sessie 2 werd, na het aanbrengen van een klif, het NovoCrete® door terugschrijdende erosie ondermijnd en bezweek het uiteindelijk onder zijn eigen gewicht. De terugschrijdende erosie tijdens sessie 3 zorgde wel voor ondermijning van het asfalt maar heeft niet tot bezwijken van het asfalt geleid. Uiteindelijk is tijdens sessie 4 het asfalt bezweken toen het asfalt voor circa de helft ondermijnd was.

5.3 Overzicht resultaten

In Tabel 9 is per teststrook de schadeontwikkeling als gevolg van de uitgevoerde proeven voor zowel de grasbekleding op het talud als de aanwezige (versterkte) overgangen weergegeven. Merk op dat bij teststroken 1, 2 en 3 de focus niet op de op het boven- en ondertalud aanwezige grasbekleding lag.

Tabel 9: Overzicht resultaten golfoverslagproeven

Teststrook	Proef	Schadeontwikkeling		
		Talud	Geometrische overgang	Overgang asfalt-gras
0	GO1_1	-*	-	-
	GO10_1	-*	Begin schade (13A) na 5 uur	-
	GO100_1	Begin schade (7B) na 5 uur	Uitbreiding schade	-
	GO50_3.2	Uitbreiding schade Bezwijken toplaag (4A) na 4 uur, erosie onderlaag Bezwijken toplaag (30) na 6 uur	Uitbreiding schade	-
	GO100_3.2**	Erosie onderlaag	Erosie onderlaag	-
2	GO1_1	-	-	-
	GO10_1	Afstropen teruggeplaatste zoden na 50 golven, erosie onderlaag	Afstropen teruggeplaatste zoden, erosie onderlaag	-
	GO100_1 GO50_3.2	Erosie onderlaag	Erosie onderlaag	-
	GO100_3.2	Bezwijken toplaag (38-39A) na 217 golven, erosie onderlaag	Erosie onderlaag	-
3	GO1_1	-	-	-
	GO10_1	-	-	-

	GO100_1	Afstropen teruggeplaatste zoden na 50 golven, erosie onderlaag	Afstropen teruggeplaatste zoden, erosie onderlaag	
	GO50_3.2	Bezwijken toplaag (7C) na 6 uur, erosie onderlaag	Erosie onderlaag	Afstropen teruggeplaatste zode na 3 uur
	GO100_3.2	Erosie onderlaag	Erosie onderlaag	-
4	GO1_1 GO10_1 GO100_1	-	-	-
	GO50_3.2	Begin schade (10D) na 1 uur	Begin schade (12D) na 2 uur	-
	GO100_3.2	Uitbreiding schade	Uitbreiding schade	-
1 (sessie 1)	GO1_1 GO10_1 GO100_1 GO50_3.2 GO100_3.2	n.v.t.	Lichte slijtage NovoCrete®	Lichte slijtage NovoCrete®

*aanwezige schade vak 4A niet beschouwd

**proef na 913 golven definitief gestopt in verband met uitspoelen zand (stopcriterium) ter plaatse van drainage



Figuur 80: Impressie schades teststrook 1 (sessie 3 en 4).

6 Grastrekproeven

In dit Hoofdstuk wordt ingegaan op de bij de golfverslagproeven uitgevoerde grastrekproeven en de resultaten daarvan. Met deze grastrekproeven kan een inschatting gemaakt worden van de kritische stroomsnelheid U_c [m/s].

6.1 Bepaling sterkte grasbekleding

6.1.1 Grastrekproeven

Bij eerder uitgevoerde golfverslagproeven is gebleken dat overslaand water trekkrachten op de grasbekleding veroorzaakt. De maximale uittrekkraft kan met behulp van de graszodetrekker in het veld bepaald worden. Bij het uitvoeren van deze 'grastrekproeven' worden pennen gebruikt om de zode als het ware op te pakken. Deze pennen worden op ongeveer 4 cm onder het oppervlak door de zode gedrukt. Hiervoor moet eerst een speciaal ontwikkelde mal met twee snijranden geplaatst worden. Deze mal van 20x20 cm wordt in de graszode gedrukt/geslagen. Hierdoor wordt de graszode aan twee zijden over een diepte van 8 cm losgesneden¹⁰. Aan weerszijden van de mal wordt vervolgens de graszode vrij gegraven, zodat – als de mal is verwijderd – het trekframe kan worden geplaatst. Door de in het frame aanwezige uitsparingen worden vervolgens pinnen door de zode gedrukt. Met de graszodetrekker wordt het frame en daarmee de zode uit het talud getrokken, zie Figuur 81. Gekalibreerde instrumenten en dataloggging worden gebruikt om continu de trekkracht en verplaatsing vast te leggen.

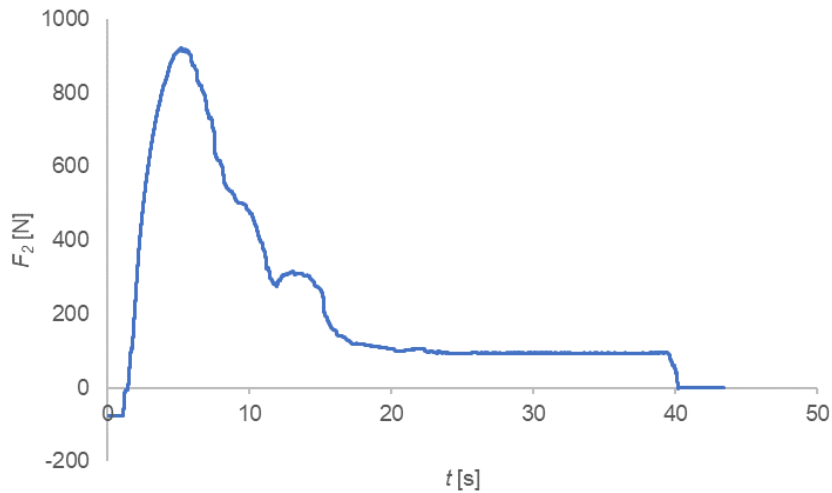


Figuur 81: Met de graszodetrekker wordt de zode uit het talud getrokken.

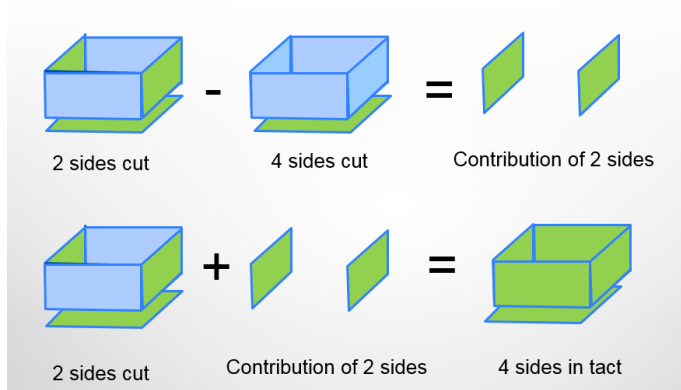
6.1.2 Trekkracht

Aan de hand van de gemeten krachten (zie ook Figuur 82) wordt de maximale trekkracht bepaald. Deze kracht wordt gecorrigeerd voor het frame inclusief pennen en het eigen gewicht van de getrokken zode. Deze kracht geldt voor een zode die aan twee of vier zijden is losgesneden. De losgesneden zijden leveren tijdens de proef geen bijdrage aan de treksterkte van de graszode. Om de totale sterkte van een intacte graszode te bepalen wordt de methode zoals beschreven in [5] gebruikt. Het principe van deze methode is weergegeven in Figuur 83.

¹⁰ Wanneer de mal na het verwijderen een kwartslag gedraaid wordt en weer in de graszode gedrukt/geslagen wordt kan ook een proef worden uitgevoerd waarbij de graszode over vier zijden is losgesneden.



Figuur 82: Voorbeeld van het verloop van de trekkracht in de tijd van een grastrekproef waarbij de zode aan twee zijden is losgesneden. Bij een maximale trekkracht van circa 900 N werd de zode uit het talud getrokken.



Figuur 83: Sterkte van een intacte graszode

De benodigde kracht voor het uittrekken van een intacte graszode kan worden bepaald met de volgende formule:

$$F_i = AF * F_2 \tag{1}$$

Waarin:

- F_i totale treksterkte van de intacte graszode [N]
- AF amplificatie factor [-]
- F_2 maximale voor eigen gewicht gecorrigeerde trekkracht van proef met twee zijden van de graszode losgesneden [N]

Omdat proeven worden uitgevoerd waarbij zowel twee als vier zijden van de graszode worden losgesneden kan AF met de volgende formule bepaald:

$$AF = \alpha \left[\frac{F_2 + (F_2 - F_4)}{F_2} \right] \tag{2}$$

Waarin:

- AF amplificatie factor [-]
- α vormfactor voor het niet meenemen van de sterkte van de zode ter plaatse van de hoeken waar de zode is losgesneden [-], conform [5] is deze vormfactor 1,1 voor een frame van 20x20 cm

\bar{F}_2	gemiddelde voor eigen gewicht gecorrigeerde trekkracht van proeven met twee zijden van de graszode losgesneden [N]
\bar{F}_4	gemiddelde voor eigen gewicht gecorrigeerde trekkracht van proeven met vier zijden van de graszode losgesneden [N]

6.1.3 Kritische normaalspanning

Per locatie worden meerdere grastrekproeven uitgevoerd. Voor het schatten van de kritische stroomsnelheid per locatie dienen de gevonden treksterktes omgezet te worden in een representatieve grootte, de kritische normaalspanning. Deze spanning wordt per individuele proef met de volgende formule uit [5] bepaald:

$$\sigma_{gras,c} = \frac{F_i}{A_b + 4 \cdot A_s} \quad (3)$$

Waarin:

$\sigma_{gras,c}$	kritische normaalspanning [N/m ²]
F_i	totale treksterkte van de intacte graszode [N]
A_b	bodem oppervlakte van de uitgetrokken zode [m ²]
A_s	oppervlakte van de zijden van de uitgetrokken zode [m ²]

Voor het bepalen van A_b wordt gebruik gemaakt van de in het veld gemeten gemiddelde breedte van de getrokken zode. Bij het bepalen van A_s wordt gebruik gemaakt van de in het veld gemeten gemiddelde dikte van de getrokken zode. Merk op dat de losgesneden zijdes over het algemeen 20 cm lang zijn.

In situaties met golfoverslag wordt aangenomen dat de grasbekleding faalt op het zwakste punt. Bij het schatten van de kritische stroomsnelheid aan de hand van de resultaten van de grastrekproeven wordt conform [5] verondersteld dat de ondergrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval (α is 0,05) van de kritische normaalspanning, de 2,5% onderschrijdingswaarde, representatief is voor de sterkte van de grasbekleding van een locatie. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat de sterkte van de kritische normaalspanningen per locatie bij benadering normaal verdeeld zijn, zodat gebruik kan worden gemaakt van de t -verdeling¹¹.

Voor het bepalen van de 2,5% onderschrijdingswaarde van de kritische normaalspanning $\sigma_{gras,c}^{2,5\%}$ wordt aan de hand van de voor alle individuele proeven bepaalde kritische normaalspanningen het gemiddelde \bar{x} en de standaardafwijking s bepaald. Vervolgens wordt met de kritieke t -waarde t^* , het aantal standaarddeviaties van het gemiddelde in de t -verdeling, de 2,5% onderschrijdingswaarde van de kritische normaalspanning bepaald ($= \bar{x} - t^* s \sqrt{\frac{1}{n} + 1}$). De t -waarde volgt uit de t -tabel met t^* voor tweezijdige toetsen voor α is 0,05 en is afhankelijk van het aantal vrijheidsgraden df , het aantal waarnemingen n min 1.

6.1.4 Kritische stroomsnelheid

Met de volgende formule uit [5] kan de kritische stroomsnelheid worden geschat:

$$U_c = 0,34 r_0^{-1} \sqrt{\frac{\sigma_{gras,c}^{2,5\%} - p_w}{\rho}} \quad (4)$$

Waarin:

U_c	kritische stroomsnelheid [m/s]
r_0^{-1}	relatieve turbulentie intensiteit [-], conform [5] wordt een waarde van 0,12 gebruikt

¹¹ De t -verdeling is een van de normale verdeling afgeleide kansverdeling die wordt gebruikt voor kleinere steekproeven, waarbij de variantie onbekend is. De variantie in een t -verdeling wordt geschat op basis van het aantal vrijheidsgraden van de dataset. Hoe groter het aantal vrijheidsgraden, hoe dichter de t -verdeling bij de standaardnormale verdeling komt te liggen.

- $\sigma_{gras,c}^{2,5\%}$ 2,5% overschrijdingswaarde van de kritische normaalspanning [N/m²]
 p_w zuigspanning [N/m²], bij het schatten van de U_c wordt verondersteld dat de zode volledig verzadigd is en er dus geen zuigspanningen zijn¹²
 ρ soortelijke massa water [kg/m³], voor zoetwater wordt een waarde van 1.000 kg/m³ gebruikt

6.2 Locaties

Bij zowel teststrook 0 als 4 zijn grastrekproeven uitgevoerd, zie ook Figuur 84. Bij teststrook 4 zijn 20 grastrekproeven op het boventalud uitgevoerd. Daarbij zijn proeven uitgevoerd met zowel twee als vier zijden van de graszode losgesneden (in de verhouding 3:1).

Bij teststrook 0 zijn 40 grastrekproeven uitgevoerd in het deel waar de grasbekleding was afgedekt met schermdoek. Daarbij zijn 20 grastrekproeven op het boventalud en 20 grastraproeven op het ondertalud uitgevoerd. Ook in het deel waar de grasbekleding niet was afgedekt met schermdoek zijn 40 grastrekproeven (20 op het boven- en 20 op het ondertalud). Hierbij is voor de proeven waarbij de graszode aan zowel twee als vier zijden werd losgesneden dezelfde verhouding gebruikt als bij teststrook 4.



Figuur 84: Locaties grastrekproeven

De grastrekproeven op het boven- en ondertalud zijn conform een vast stramien uitgevoerd, zie Figuur 85. Dit stramien bestaat uit 2 kolommen en 10 rijen en daarmee uit 20 plots. Binnen elke plot is de locatie van de uit te voeren grastrekproeven steeds gemarkeerd. De linkerbovenhoek van het stramien is op elke locatie volstrekt willekeurig gekozen, waardoor ook de locaties van de grastrekproeven willekeurig zijn.

¹² Bij elke proef is voorafgaand aan het trekken van de graszode met een bodemvochtmeter het watergehalte gemeten. Dit watergehalte wordt geduid in het volumetrisch watergehalte VWC [%]. De maximale waarde van het VWC verschilt per grondsoort. Met het bepalen van het VWC kan mogelijk een uitspraak worden gedaan over de verzadigingsgraad. In Bijlage H is per locatie het VWC per proef weergegeven.

<i>boventalud</i>		<i>ondertalud</i>	
1	2	21	22
4	3	24	23
5	6	25	26
8	7	28	27
9	10	29	30
12	11	32	31
13	14	33	34
16	15	36	35
17	18	37	38
20	19	40	39

Figuur 85: Vast stramien voor uitvoering van proeven inclusief nummering.

Door EurECO is op elke locatie van elk plot de bedekking¹³ gemeten. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in Bijlage H.

6.3 Resultaten

In deze paragraaf zijn per teststrook de treksterkte van de intacte zode, de kritische normaalspanning en de op basis hiervan berekende schatting van de kritische stroomsnelheid gegeven.

6.3.1 Treksterkte intacte zode

In Tabel 10 is voor teststroken 0 en 4 het gemiddelde \bar{x} en de standaardafwijking s van de met formule (1) bepaalde treksterkte van de intacte zode F_t weergegeven. De variatiecoëfficiënt c_v [-] is ook in de tabel weergegeven. In Bijlage H is per locatie zowel F_2 als F_4 per plot weergegeven. In Bijlage H is per locatie tevens de gemiddelde breedte en dikte van de uitgetrokken zode per plot weergegeven.

¹³ De totale bedekking van grassen én kruiden, de afzonderlijke bedekking van zowel grassen als kruiden en de bedekking van mossen.

Tabel 10: Gemiddelde \bar{x} , standaardafwijking s en variatiecoëfficiënt c_v van F_i voor teststroken 0 en 4.

Teststrook	Talud	Afdekking	AF [-]	F_i		
				\bar{x} [N]	s [N]	c_v [-]
0	Boven	Ja	1,56	1.079	332	0,31
0	Onder	Ja	1,64	1.032	290	0,28
0	Boven	Nee	1,54	1.217	222	0,18
0	Onder	Nee	1,57	1.198	260	0,22
4*	Boven	Nee	1,54	1.243	269	0,22

*Omdat bij testen 19 en 20 de te trekken zode onder water lag en lage treksterktes werden gevonden zijn de resultaten van beide trekkingen niet meegenomen.

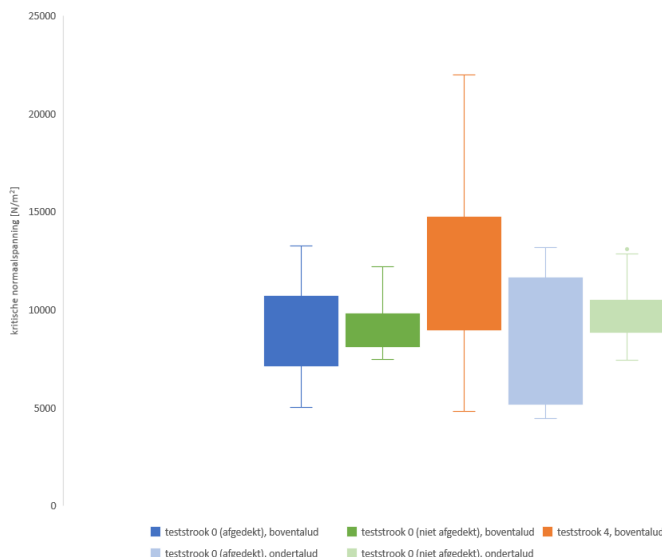
6.3.2 Kritische normaalspanning

Op basis van de afmetingen van de uitgetrokken graszoden is aan de hand van formule (3) de kritische normaalspanning $\sigma_{gras,c}$ per plot bepaald. In Tabel 11 is voor teststroken 0 en 4 het gemiddelde, de standaardafwijking en de variatiecoëfficiënt van $\sigma_{gras,c}$ weergegeven. In Bijlage H is per locatie de kritische normaalspanning per plot weergegeven.

Tabel 11: Gemiddelde \bar{x} , standaardafwijking s en de variatiecoëfficiënt c_v van $\sigma_{gras,c}$ voor teststroken 0 en 4.

Teststrook	Talud	Afdekking	$\sigma_{gras,c}$		
			\bar{x} [N/m ²]	s [N/m ²]	c_v [-]
0	Boven	Ja	8.759	2.541	0,29
0	Onder	Ja	8.167	2.857	0,35
0	Boven	Nee	9.139	1.336	0,15
0	Onder	Nee	9.746	1.672	0,17
4	Boven	Nee	12.107	4.760	0,39

In Figuur 86 is voor de verschillende locaties de vijf-getallensamenvatting in een boxplot weergegeven. Merk op dat bij alle teststroken de mediaan is uitgesloten bij de kwartielberekening vanwege een oneven aantal waarnemingen. Voor alle locaties geldt dat de verdeling positief scheef¹⁴ is.



Figuur 86 Boxplots van kritische normaalspanningen $\sigma_{gras,c}$.

¹⁴ in vergelijking met de normale verdeling liggen de waarnemingen aan de rechterkant verder weg van het midden dan aan de linkerkant (ook wel rechtsscheef).

6.3.3 Kritische stroomsnelheden

Met behulp van formule (4) is voor teststroken 0 en 4 de kritische stroomsnelheid U_c geschat en weergegeven in Tabel 12. Merk op dat bij het schatten van de U_c gebruik is gemaakt van de kritieke t -waarde t^* behorende bij het werkelijk aantal vrijheidsgraden df (in [5] werd nog gebruik gemaakt van de t^* behorende bij een oneindig aantal vrijheidsgraden (-1,96)).

Tabel 12: Geschatte kritische stroomsnelheden U_c [m/s] voor teststroken 0 en 4.

Teststrook	Talud	Afdekking	df [-]	t^* [-]	$\sigma_{gras,c}^{2,5\%}$ [N/m ²]	U_c [m/s ²]
0	Boven	Ja	14	-2,145	3.309	5,25
0	Onder	Ja	14	-2,145	2.041	4,12
0	Boven+onder	Ja	29	-2,045	2.995	5,00
0	Boven	Nee	14	-2,145	6.273	7,23
0	Onder	Nee	14	-2,145	6.160	7,16
0	Boven+onder	Nee	29	-2,045	6.336	7,27
4	Boven	Nee	12	-2,179	1.737	3,80

De laagste U_c wordt voor het boventalud van teststrook 4 gevonden. Dit is vooral een gevolg vanwege de grote ruimtelijke spreiding van de kritische normaalspanning (zie ook Tabel 11). Voor de niet afgedekte grasbekleding op het boventalud van teststrook 0 is de U_c het hoogst.

Merk op dat bij het schatten van de U_c eventuele aanwezige uitbijters zijn meegenomen. Uit de verschillende boxplots in Figuur 86 volgt dat bij de niet afgedekte grasbekleding op het ondertalud van teststrook 0 één kritische normaalspanning als uitbijter kan worden beschouwd. Omdat op basis van de waarnemingen in het veld de hoge waarde van de kritische normaalspanning niet kan worden verklaard, is deze uitbijter niet uit de dataset verwijderd.

De voor het schatten van kritische stroomsnelheid gebruikte formule is gekalibreerd op basis van bij in het verleden uitgevoerde golfoverslagproeven bepaalde kritische stroomsnelheden. Bij deze kalibratie is ervan uitgegaan dat:

1. de 2,5% onderschrijdingswaarde van de kritische normaalspanning representatief is voor de sterkte van de grasbekleding van een locatie;
2. dat deze waarde wordt berekend op basis van de aanname dat de kritische normaalspanningen normaal verdeeld zijn;
3. er geen rekening wordt gehouden met een t -waarde voor verdiscontering van onzekerheid over de normale verdeling door de beperkte steekproef;
4. er bij een volledig verzadigde zode geen zuigspanningen zijn; en
5. de grasbekleding op een substraat van klei ligt.

6.4 Maximale trekkracht teruggeplaatste vs. oorspronkelijke zode

Bij teststrook 3 zijn direct naast de teststrook enkele (vijf) grastrekproeven uitgevoerd. Wanneer de maximale trekkrachten van deze proeven worden vergeleken met de trekkracht van de oorspronkelijke zode (enkele meters buiten het proefvak waarin teststrook 3 is aangelegd zijn ook vijf grastrekproeven uitgevoerd), dan is de gemiddelde maximale trekkracht van de teruggeplaatste zode (circa 350 N) bijna een factor 2,5 lager dan de gemiddelde maximale trekkracht van de oorspronkelijke zode (circa 800 N). De variatiecoëfficiënt van de teruggeplaatste zoden is met 0,08 wel een stuk kleiner dan die van de oorspronkelijke zode (0,36).

Verwijzingen

- [1] EurOtop, „Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application,” 2018.
- [2] Waterschap Zuiderzeeland, „Startnotitie. Onderzoek erosiebestendige overgangen,” 2023.
- [3] Waterschap Zuiderzeeland, „Verslaglegging aanleg teststroken IJsselmeerdijk,” 2024.
- [4] Deltares, „BOI Omgaan met overgangen bij faalmechanisme gras erosie kruin en binnentalud. Korte studie naar kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet inclusief overgangen.,” 2019.
- [5] R.W. Bijlard, „Strength of the grass sod on dikes during wave overtopping.,” 2015.
- [6] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, „Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen,” 2007.

Bijlagen

A. Testpaspoorten proeven

Per teststrook is een testpaspoort bijgehouden. Hierin is een overzicht van de uitgevoerde proeven op de teststrook weergegeven. Voor de testpaspoorten wordt verwezen naar:

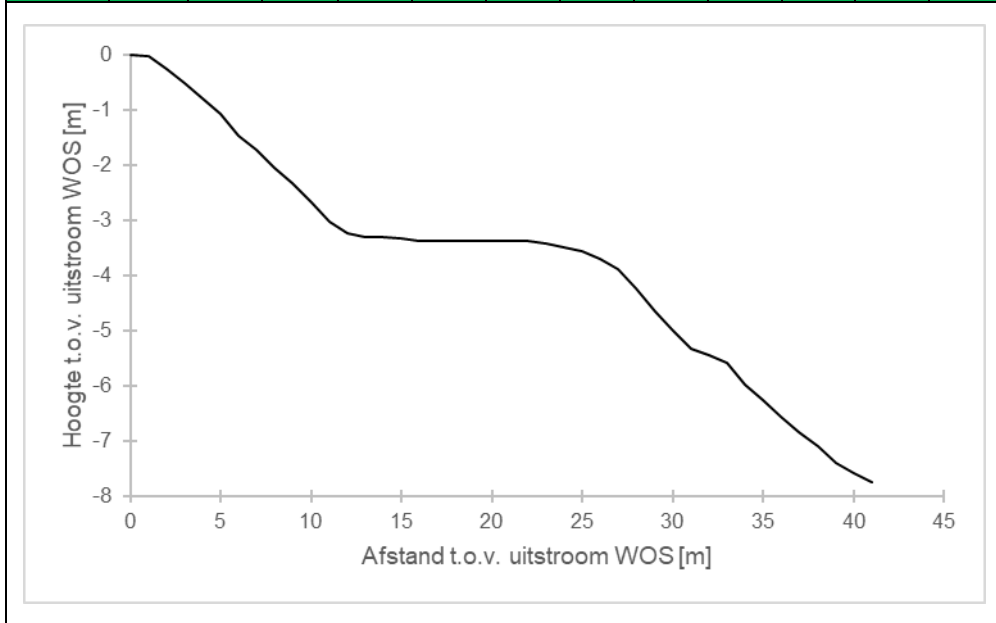
Bijlage A - Testpaspoorten proeven Erosiebestendigheid van Overgangen.xlsx

B. Inmeting teststroken

Voor elke teststrook is per vak de helling van het talud met een digitale waterpas gemeten: in het midden van de teststrook is de helling per vak over één meter gemeten. De taludhelling en het op basis hiervan verkregen profiel zijn hieronder weergegeven.

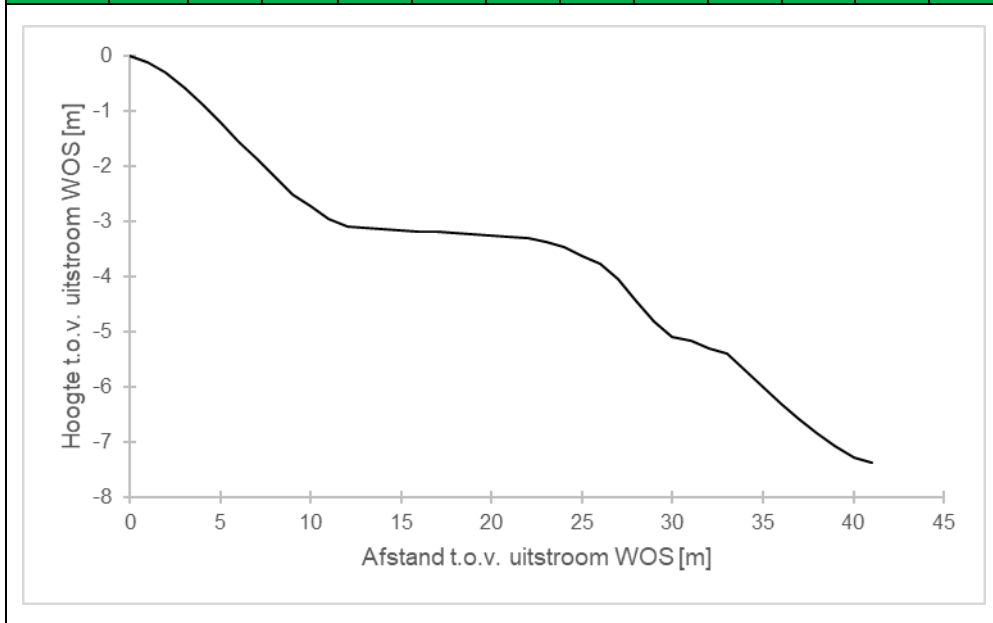
Teststrook 0

Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\tan \alpha$ [-]	0,04	0,22	0,25	0,29	0,27	0,39	0,26	0,33	0,29	0,34	0,35	0,21
Vak	13	14	15	16	23	24	25	26	27	28	29	30
$\tan \alpha$ [-]	0,07	0,00	0,02	0,03	0,06	0,06	0,09	0,13	0,18	0,34	0,42	0,36
Vak	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
$\tan \alpha$ [-]	0,31	0,13	0,13	0,39	0,28	0,30	0,28	0,27	0,30	0,19	0,15	



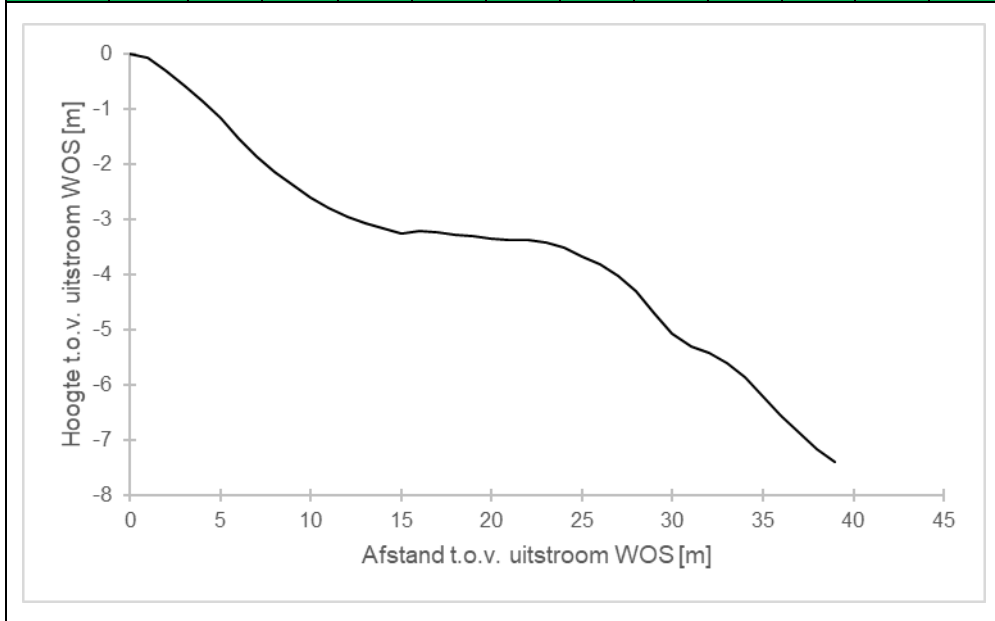
Teststrook 2

Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
tan α [-]	0,11	0,20	0,28	0,30	0,32	0,34	0,31	0,34	0,33	0,21	0,21	0,16
Vak	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
tan α [-]	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,07	0,11
Vak	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
tan α [-]	0,15	0,14	0,28	0,40	0,37	0,28	0,07	0,14	0,01	0,28	0,31	0,30
Vak	37	38	39	40	41							
tan α [-]	0,28	0,26	0,24	0,20	0,1							



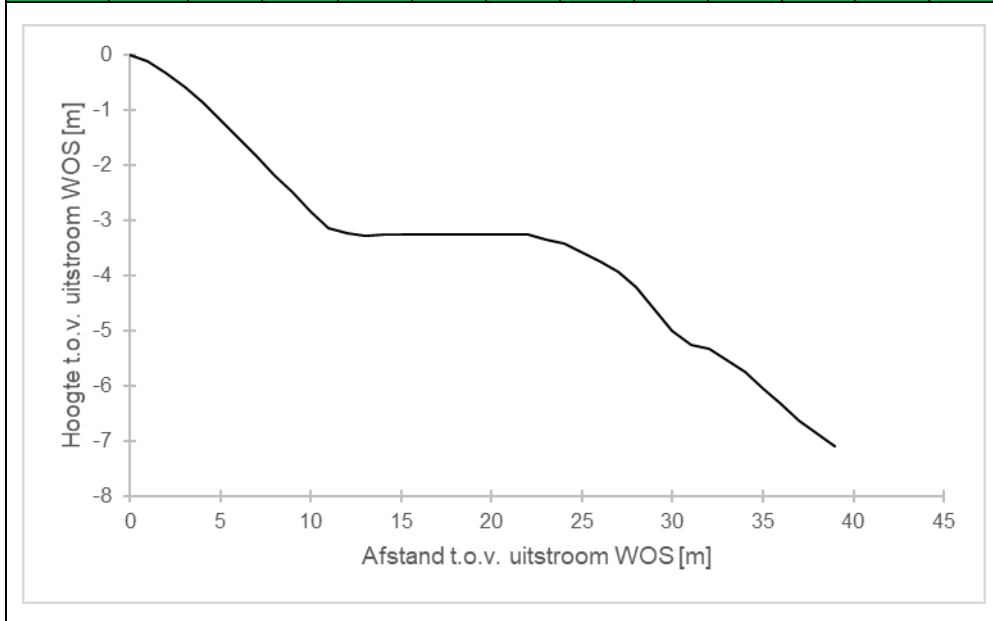
Teststrook 3

Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\tan \alpha$ [-]	0,09	0,23	0,27	0,28	0,31	0,37	0,34	0,27	0,23	0,22	0,18	0,17
Vak	13	14	15	16	17	18	19	20	21	23	24	25
$\tan \alpha$ [-]	0,12	0,10	0,08	-0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,10	0,15
Vak	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
$\tan \alpha$ [-]	0,15	0,21	0,27	0,40	0,36	0,25	0,12	0,18	0,26	0,35	0,35	0,31
Vak	38	39										
$\tan \alpha$ [-]	0,28	0,25										



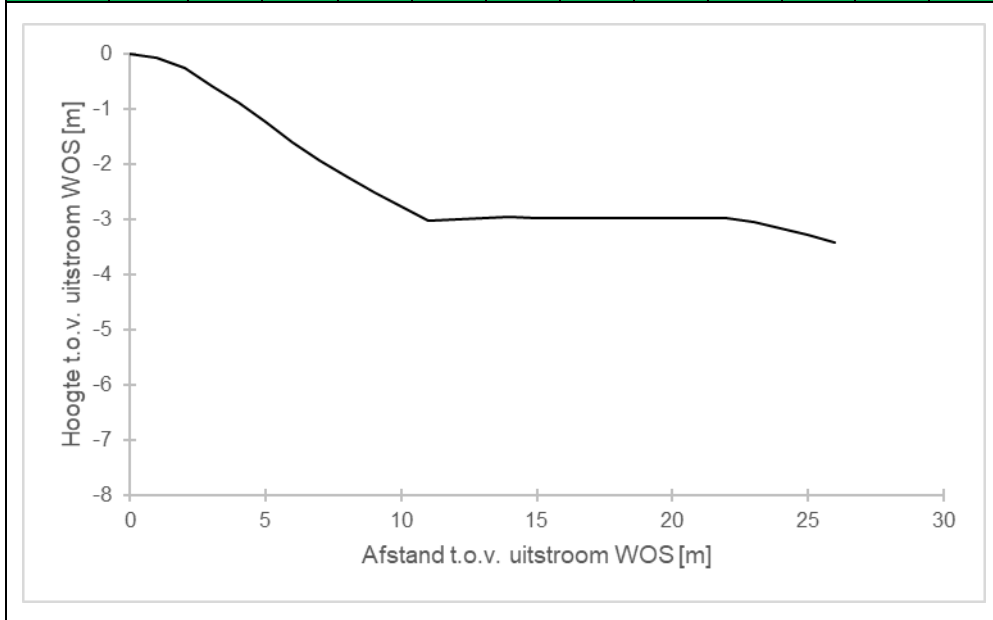
Teststrook 4

Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\tan \alpha$ [-]	0,12	0,20	0,26	0,30	0,32	0,32	0,33	0,34	0,31	0,35	0,30	0,08
Vak	13	14	15	16	22	23	24	25	26	27	28	29
$\tan \alpha$ [-]	0,04	-0,01	-0,02	0,00	0,01	0,10	0,08	0,15	0,16	0,19	0,29	0,39
Vak	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39		
$\tan \alpha$ [-]	0,40	0,25	0,08	0,20	0,20	0,31	0,29	0,29	0,24	0,23		



Teststrook 1

Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\tan \alpha$ [-]	0,07	0,20	0,31	0,32	0,35	0,36	0,33	0,31	0,27	0,26	0,25	-0,02
Vak	13	14	15	23	24	25	26					
$\tan \alpha$ [-]	-0,02	-0,02	-0,01	0,08	0,11	0,12	0,16					



C. Overslaande golfvolumes

Bij de golfoverslagproeven worden met de golfoverslagsimulator overslaande golven gesimuleerd. Voor de gesimuleerde volumes per proef wordt verwezen naar:

Bijlage C - Overslaande golfvolumes Erosiebestendigheid van Overgangen.xlsx

D. Vegetatieopnamen en wortelonderzoek (EurECO)

In deze bijlage zijn de resultaten van de door Cyril Lybrand van EurECO uitgevoerde vegetatieopnamen opgenomen. Ook de resultaten van het door Cyril uitgevoerde wortelonderzoek zijn in deze bijlage opgenomen.

Resultaten vegetatieopnamen

Op 11 september 2023 zijn door Cyril van in totaal vijf proefvakken vegetatieopnamen gemaakt. Deze vegetatieopnamen geven een beeld van de soortenrijkdom, de soortensamenstelling en de structuur van de vegetatie. Alle proefvakken liggen op het binnentalud. Proefvakken 1 en 2 liggen respectievelijk op het boven- en ondertalud in het deel waar de graszode is afgedekt met schermdoek. Ook waar de zode niet is afgedekt is een vegetatieopname op zowel het boven- als ondertalud gemaakt: respectievelijk proefvakken 3 en 5. Proefvak 4 ligt op het boventalud in het vak waar de graszode is teruggeplaatst. In Tabel 13 zijn de ligging, afmetingen en expositie van de verschillende proefvakken weergegeven.

Tabel 13. Ligging, afmeting en expositie per proefvak

Proefvak	Talud	Afgedekt?	RDX [m]	RDY [m]	L [m]	B [m]	Expositie
1	Boven	Ja	164.404	509.290	5.00	5.00	OZO
2	Onder	Ja	164.418	509.271	5.00	5.00	OZO
3	Boven	Nee	164.439	509.322	5.00	5.00	OZO
4	Boven	Nee	164.443	509.316	5.00	5.00	OZO
5	Onder	Nee	164.457	509.306	5.00	5.00	OZO

In Tabel 14 is voor elk van de proefvakken het aantal soorten, de (totale) bedekking en de hoogte van de vegetatie weergegeven. De aangetroffen soorten (abundantieschaal) per proefvak zijn weergegeven in Tabel 15.

Tabel 14. Aantal soorten, (totale) bedekking en hoogte van de vegetatie per proefvak.

Proefvak	Aantal soorten	Bedekking [%]				Hoogte [cm]		
		totaal*	grassen	kruiden	mos	gemiddeld	minimaal	maximaal
1	17	95	96	4	3	30	1	70
2	23	94	98	2	4	25	1	65
3	22	97	93	7	3	30	1	70
4	28	96	93	7	4	10	1	75
5	11	95	99	1	2	35	1	80

*grassen+kruiden

Tabel 15. Abundantieschaal aangetroffen soorten per proefvak (1=1 exemplaar;2=2-4 exemplaren;3=5-20 exemplaren;4=>20 exemplaren;5=bedekking 5-12,5%;6=bedekking 12,5-25%;7=bedekking 25-50%;8=bedekking 50-75%;9=bedekking 75-100%)

Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	Proefvak				
		1	2	3	4	5
<i>Grassen en grasachtige</i>						
<i>Agrostis stolonifera</i>	Fioringras	4	5		7	5
<i>Alopecurus pratensis</i>	Grote vossenstaart					3
<i>Arrhenatherum elatius</i>	Glanshaver	8	7	8	6	8
<i>Calamagrostis epigejos</i>	Duinriet		4			
<i>Carex hirta</i>	Ruige zegge				2	
<i>Dactylis glomerata</i>	Kropaar	5	4	4	3	4

<i>Elytrigia repens</i>	Kweek	6	5	6	5	4
<i>Festuca arundinacea</i>	Rietzwenkgras		5		4	
<i>Festuca rubra</i>	Rood zwenkgras s.s.	6	7	7	7	7
<i>Holcus lanatus</i>	Gestreepte witbol				4	
<i>Juncus articulatus</i>	Zomprus				1	
<i>Lolium perenne</i>	Engels raaigras	3	4	3	4	
<i>Phleum pratense</i>	Timoteegras				2	
<i>Phragmites australis</i>	Riet				4	
<i>Poa pratensis</i>	Veldbeemdgras	3	3	3	3	
<i>Poa trivialis</i>	Ruw beemdgras				4	
<i>Kruiden</i>						
<i>Achillea millefolium</i>	Gewoon duizendblad		3	2		2
<i>Bellis perennis</i>	Madeliefje	4		4	3	3
<i>Cerastium fontanum</i>	Gewone hoornbloem		3	2	3	
<i>Cirsium arvense</i>	Akkerdistel	2	1			
<i>Cirsium vulgare</i>	Speerdistel			1		1
<i>Cornus sanguinea</i>	Rode kornoelje	3	2			1
<i>Crepis capillaris</i>	Klein streepzaad		1	3		
<i>Daucus carota</i>	Peen	3	2	3		2
<i>Equisetum arvense</i>	Heermoes		1			
<i>Galium mollugo</i>	Glad walstro	4		3		
<i>Geranium pusillum</i>	Kleine ooievaarsbek			1		
<i>Heracleum sphondylium</i>	Gewone berenklauw		1	1	2	
<i>Jacobaea vulgaris s. vulgaris</i>	Jakobskruid s.s.	3	2	4		
<i>Leontodon saxatilis</i>	Kleine leeuwentand		1	2	4	
<i>Plantago lanceolata</i>	Smalle weegbree	2		3	4	
<i>Potentilla reptans</i>	Vijfvingerkruid				2	
<i>Prunella vulgaris</i>	Gewone brunel			2		
<i>Ranunculus acris</i>	Scherpe boterbloem				3	
<i>Ranunculus bulbosus</i>	Knolboterbloem		1		2	
<i>Ranunculus repens</i>	Kruipende boterbloem				3	
<i>Rubus caesius</i>	Dauwbraam	2	1			
<i>Rumex obtusifolius</i>	Ridderzuring				1	
<i>Sonchus asper</i>	Gekroesde melkdistel	2		2		
<i>Sonchus oleraceus</i>	Gewone melkdistel	1	1	2		
<i>Symphytum officinale</i>	Gewone smeewortel				3	
<i>Taraxacum species</i>	Paardenbloem (G)			2	4	
<i>Trifolium pratense</i>	Rode klaver		2		3	
<i>Trifolium repens</i>	Witte klaver				3	

Proefvakken 1 en 5 zijn soortenarm (i.e. 11-20 soorten). De overige proefvakken zijn matig soortenrijk (i.e. 21-30 soorten). De totale bedekking en de bedekking door de grassen zijn hoog, de bedekking door de kruiden en mossen zijn laag. De gemiddelde hoogte van de oorspronkelijke vegetatie varieert van 25 tot 35 cm. Dit duidt op een matige biomassaproductie in het voorjaar en de zomer. De gemiddelde hoogte van de teruggeplaatste zode in proefvak 4 is met 10 cm (nog) laag. Dit kan erop duiden dat de vegetatieontwikkeling sinds het terugbrengen van de zode achtergebleven is. Dit kan een negatief effect hebben op de (gewenste!) hechting van de zode aan de laag er onder. Mogelijk dat bij de golfoverslagproeven de zode (snel) afstroopt.

Resultaten wortelonderzoek

Bij proefvakken 1, 2, 3 en 5 is wortelonderzoek uitgevoerd conform de methode zoals beschreven in [6]. Bij elk van de proefvakken zijn vier deelmonsters gestoken van 0-20 cm-mv. Elk deelmonster is opgedeeld in 8 submonsters van 2,5 cm lengte. Van elk submonster is vervolgens de lengte van de wortels geschat. De schattingen van de wortellengtes voor de vier proefvakken zijn weergegeven in Tabel 16 en Tabel 17. De wortellengte tot 60 cm is geschat in cm. Wortels langer dan 60 cm zijn op 60 cm gezet. De maximale wortellengte per proefvak 1.920 cm (=4 deelmonster x 8 submonsters x 60 cm). In beide tabellen is ook het procentuele aandeel van de (gemiddelde) wortellengte ten opzichte van de maximale wortellengte weergegeven.

Tabel 16. Wortellengtes [cm] per submonster voor de verschillende deelmonsters (1 (hoog) t/m 4 (laag)) van proefvakken 1 en 2 (graszode afgedekt met schermdoek).

Submonster	1 (boventalud)				2 (ondertalud)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0-2,5	60	60	60	60	42	60	60	60
2,5-5	60	60	60	60	60	45	60	60
5-7,5	60	55	60	57	48	31	39	60
7,5-10	46	57	39	47	27	17	19	45
10-12,5	52	31	22	29	30	16	18*	39
12,5-15	28	37	19	30	18	10	13*	40*
15-17,5	31	29	37*	14**	17	13	17*	24*
17,5-20	6	21	34*	30**	18	7	13*	9*
<i>totaal</i>	<i>343</i>	<i>350</i>	<i>331</i>	<i>327</i>	<i>260</i>	<i>199</i>	<i>239</i>	<i>337</i>
<i>totaal*4</i>	<i>1.372</i>	<i>1.400</i>	<i>1.324</i>	<i>1.308</i>	<i>1.040</i>	<i>796</i>	<i>956</i>	<i>1.348</i>
<i>% van maximaal</i>	<i>71</i>	<i>73</i>	<i>69</i>	<i>68</i>	<i>54</i>	<i>41</i>	<i>50</i>	<i>70</i>
<i>gemiddeld totaal*4</i>	<i>1.351</i>				<i>1.035</i>			
<i>% van maximaal</i>	<i>70</i>				<i>54</i>			

*keileem in monster aangetroffen

**zand in monster aangetroffen

Tabel 17. Wortellengtes [cm] per submonster voor de verschillende deelmonsters van proefvakken 3 en 5 (graszode niet afgedekt).

Submonster	3 (boventalud)				5 (ondertalud)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0-2,5	60	60	60	60	60	60	60	60
2,5-5	49	36	60	48	56	60	60	60
5-7,5	58	34	60	59	49	60	33	60
7,5-10	48	60	46	27	33	47	34	60
10-12,5	19	36	12	28	11	41	12	54
12,5-15	6	34	19	8	30	23	16	48

15-17,5	7	22	5	9	7	18	12	43
17,5-20	7*	18	5	13	12	16	9	25**
<i>totaal</i>	254	300	267	252	258	325	236	410
<i>totaal*4</i>	1.016	1.200	1.068	1.008	1.032	1300	944	1.640
<i>% van maximaal</i>	53	63	56	53	54	68	49	85
<i>gemiddeld totaal*4</i>	1.073				1.229			
<i>% van maximaal</i>	56				64			

*keileem in monster aangetroffen

**zand in monster aangetroffen

De totale wortellengte per deelmonster is met 1.640 cm (en 85% van het maximum) het hoogst op de laagste locatie (deelmonster 4) in proefvak 5. De totale wortellengte per deelmonster is met 796 cm (en 41% van het maximum) het laagst op de laagste locatie (deelmonster 4) van proefvak 3. Er is dus sprake van een grote variatie in wortellengte binnen de vier locaties. Deze grote variatie kan worden verklaard door de structuur van de grasbekleding. De hogere grassoorten (voornamelijk Glanshaver) groeien duidelijk in pollen met daartussen de laagblijvende grassoorten waarvan Rood zwenkgras de belangrijkste is. Uit Tabel 16 en Tabel 17 blijkt ook dat er ook een grote variatie in wortellengte is tussen de vier proefvakken

Bij het steken van de wortelmonsters bleek dat er op de meeste locaties sprake is van een leeflaag van circa 20 cm dikte. Onder de leeflaag bevindt zich keileem of zand: bij 10 submonsters is onderin keileem aangetroffen en bij drie submonsters zand (zie ook Tabel 16 en Tabel 17).

De leeflaag bestaat uit een lichte tot matig zware zavel en is donkerbruin van kleur, waarschijnlijk als gevolg van een hoog organische stofgehalte. De leeflaag heeft een brokkelige structuur. In de leeflaag zijn stukjes schelp aangetroffen. Verder zijn wormen, twee soorten mieren (zowel één soort zwart als rood (verder niet gedetermineerd) en enkele aaltjes aangetroffen.

E. Nulopname teststroken (EurECO)

Van teststrook 0 en 4 is voorafgaand aan de uitvoering van de proeven door Cyril Lybrand van EurECO een nulopname gemaakt. Voor de resultaten van beide nulopnames wordt verwezen naar:

Bijlage E - Nulopname teststroken golfoverslagproeven Erosiebestendigheid van Overgangen (EurECO).xlsx

F. Hydraulische metingen

Bij de golfverslagproeven zijn hydraulische metingen uitgevoerd. In deze bijlage wordt ingegaan op de uitvoering en resultaten van deze metingen.

Bijlage F - Uitwerking frontsnelheden golfverslagproeven Erosiebestendigheid van Overgangen.pdf

G. Bodemvochtmeting

Bij de golfoverslagproeven zijn bodemvochtmetingen uitgevoerd. Voor de resultaten van deze metingen wordt verwezen naar:

Bijlage G - Resultaten bodemvochtmetingen Erosiebestendigheid van Overgangen.zip

H. Resultaten grastrekproeven

Bijlage H-1: F_2 en F_4 per plot per locatie

Bijlage H-2: Afmetingen uitgetrokken zode per plot per locatie

Bijlage H-3: $\sigma_{gras,c}$ per plot per locatie

Bijlage H-4: VWC per plot per locatie

Bijlage H-1: F_2 en F_4 per plot per locatie

In onderstaande figuren is per teststrook de voor het eigen gewicht van de uitgetrokken zode gecorrigeerde trekkracht F [N] per plot weergegeven. De cellen van de krachten van de proeven met twee zijden van de graszode losgesneden (F_2) hebben een groene achtergrondkleur. De krachten van de proeven met vier zijden van de graszode losgesneden (F_4) hebben een gele achtergrondkleur.

375	179	670	632
728	656	254	608
615	524	612	889
683	1159	612	362
537	468	433	359
701	702	249	538
493	1075	504	786
586	596	361	397
843	267	686	931
752	427	352	836

Figuur 87: F_2 en F_4 proeven boventalud (links) en ondertalud (rechts) teststrook 0 met afdekking.

815	417	692	654
704	946	340	706
369	911	637	756
856	1022	739	496
798	369	693	574
739	820	521	1073
586	627	577	611
891	627	968	382
922	435	788	1011
521	588	456	983

Figuur 88: F_2 en F_4 proeven boventalud (links) en ondertalud (rechts) teststrook 0 zonder afdekking.

794	472
789	605
421	861
998	472
822	421
1000	854
426	734
1132	734
661	340
303	204

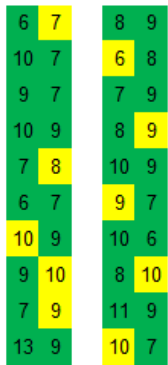
Figuur 89: F_2 en F_4 proeven boventalud teststrook 4. De resultaten van testen 19 en 20 zijn niet meegenomen in de analyse.

Bijlage H-2: Afmetingen uitgetrokken zode per plot per locatie

In onderstaande figuren is per locatie de gemiddelde breedte en dikte [cm] van de uitgetrokken zode per plot weergegeven. De cellen van de proeven met twee en vier zijden van de graszode losgesneden hebben respectievelijk een groene en gele achtergrondkleur.



Figuur 90: Gemiddelde breedte uitgetrokken zode proeven boventalud (links) en ondertalud (rechts) teststrook 0 met afdekking.



Figuur 91: Gemiddelde dikte uitgetrokken zode proeven boventalud (links) en ondertalud (rechts) teststrook 0 met afdekking.



Figuur 92: Gemiddelde breedte uitgetrokken zode proeven boventalud (links) en ondertalud (rechts) teststrook 0 zonder afdekking.



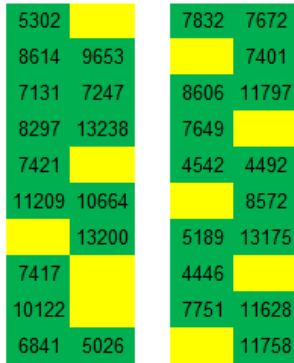
Figuur 93: Gemiddelde dikte uitgetrokken zode proeven boventalud (links) en ondertalud (rechts) teststrook 0 zonder afdekking.



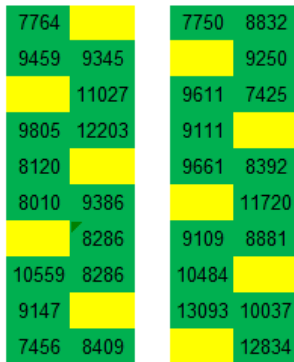
Figuur 94: Gemiddelde breedte (links) en dikte (rechts) uitgetrokken zode proeven boventalud teststrook 4. De resultaten van testen 19 en 20 zijn niet meegenomen in de analyse.

Bijlage H-3: $\sigma_{gras,c}$ per plot per locatie

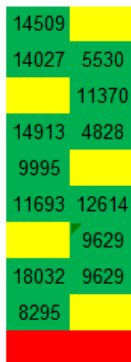
In onderstaande figuren is per locatie de kritische normaalspanning $\sigma_{gras,c}$ [N/m²] per plot weergegeven. De cellen van de proeven met twee zijden van de graszode losgesneden hebben een groene achtergrondkleur. De cellen van de proeven met vier zijden van de graszode losgesneden hebben een gele achtergrondkleur en geen waarde. Bij cellen met een rode achtergrondkleur is het resultaat van de meting niet meegenomen in de analyse (de betreffende cel bevat dan ook geen waarde).



Figuur 95: $\sigma_{gras,c}$ proeven boventalud (links) en ondertalud (rechts) teststrook 0 met afdekking.



Figuur 96: $\sigma_{gras,c}$ proeven boventalud (links) en ondertalud (rechts) teststrook 0 zonder afdekking.



Figuur 97: $\sigma_{gras,c}$ proeven boventalud teststrook 4.

Bijlage H-4: *VWC* per plot per locatie

In onderstaande figuren is per locatie volumetrisch watergehalte *VWC* [%] per plot weergegeven. De cellen van de proeven met twee zijden van de graszode losgesneden hebben een groene achtergrondkleur. De cellen van de proeven met vier zijden van de graszode losgesneden hebben een gele achtergrondkleur en geen waarde.

34	35	31	29
16	17	19	21
24	20	17	19
29	20	16	17
28	22	22	31
21	26	23	27
18	28	27	29
18	25	15	20
21	32	28	26
29	27	34	38

Figuur 98: *VWC* proeven boventalud (links) en ondertalud (rechts) teststrook 0 met afdekking.

21	18	32	35
25	21	30	32
29	25	26	25
19	25	31	19
23	29	25	33
20	25	37	29
25	20	20	15
18	20	20	19
24	24	25	20
26	31	41	42

Figuur 99: *VWC* proeven boventalud (links) en ondertalud (rechts) teststrook 0 zonder afdekking.

18	27
24	26
29	27
27	28
28	29
29	24
26	28
29	28
31	30
45	44

Figuur 100: *VWC* proeven boventalud teststrook 4.

INFRAM HYDREN is een geregistreerd handelsmerk van INFRAM International B.V.

Bank: ABN Amro | IBAN nr.: NL09ABNA0550523219 | BIC: ABNA NL2A
BTW-nr. NL8097.50.910.B01 | KvK Flevoland 39076070

INFRAM International B.V.

Amersfoortseweg 9
3951 LA Maarn

Postadres:
Postbus 150
3950 AD Maarn

T: +31 (0)343 - 745 600
info@infram.nl

www.infram-hydren.nl