

Factual Report

Overslagproeven en ooplooproef Tholen

OPDRACHTGEVER: projectbureau Zeeweringen

24-06-2011

Factual Report

Overslagproeven en oloopproef Tholen

OPDRACHTGEVER: projectbureau Zeeweringen

PROJECTNUMMER: 10i092

VERSIE: Definitief

24-06-2011



INFRAM B.V.

Postbus 16

8316 ZG MARKNESSE

Tel.: 0527 – 24 11 20

Fax: 0527 – 24 11 19

www.infram.nl

Projectgegevens

Titel:	Factual Report. Overslagproeven en oploopproof Tholen
Versie:	Definitief
Opdrachtgever:	Projectbureau Zeeweringen
Projectnummer:	10i092
Partners:	Van der Meer Consulting B.V.
Omschrijving project:	<p>Voor het projectbureau Zeeweringen zijn op Tholen observatieproeven uitgevoerd met de golfoverslagsimulator . Met de proeven op de dijk nabij Poortvliet is:</p> <ul style="list-style-type: none">- de op het dijklichaam aanwezige grasbekleding en gerepareerde inkassing op het buitentalud beproefd;- de invloed van een trap op de erosiebestendigheid van het binnentalud beproefd;- de invloed van een afrastering op de erosiebestendigheid van het binnentalud beproefd.- als referentie een tweede (herhalings) overslagproef uitgevoerd op het binnentalud.- een serie hydraulische metingen uitgevoerd. <p>Behalve overslagproeven is de gerepareerde inkassing op het buitentalud ook op golfoploop beproefd.</p>
Uitgevoerd door:	<p>ing. J.J. Bakker ir. R.J.C. Mom ir. G.J. Steendam dr. ir. J.W. van der Meer</p>

Inhoudsopgave

Samenvatting: Observaties en conclusies	1
1 Inleiding	6
1.1 Doel	6
1.2 Leeswijzer	6
2 Overslag- en olooppoeven Tholen	8
2.1 Situatie	8
2.2 Graslandbeheer	9
2.3 Overzicht proeven	9
2.4 Proefopstelling	12
2.4.1 Overslagproeven	12
2.4.2 Olooppoeft	13
2.5 Inrichting werktein	13
2.6 Proeven	14
2.6.1 Golfoverslagproeven	14
2.6.2 Golfoplooppoeft	15
3 Resultaten van de erosieproeven	17
3.1 Plaatsbepaling binnen de proefstroken	17
3.2 Erosieverschijnselen overslagproeven	17
3.2.1 Proefstrook 1	17
3.2.2 Proefstrook 2	20
3.2.3 Proefstrook 3	30
3.2.4 Proefstrook 4	40
3.3 Erosieverschijnselen olooppoeft	50
Referenties	57
BIJLAGEN	59
Bijlage 1. Simulatie overslag	60
Bijlage 2. Ontwikkeling schade	61
B.1 Proefstrook 1	61
B.2 Proefstrook 2	67
B.2 Proefstrook 2	67
B.3 Proefstrook 3	77
B.4 Proefstrook 4	81
B.5 Proefstrook A	90
Bijlage 3. Theorie Olooppoeft	94

Bijlage 4. Hydraulische metingen	99
Bijlage 5. Gras- en bodemonderzoek	116
Bijlage 6. Geschematiseerd dwarsprofiel	118

Samenvatting: Observaties en conclusies

- De golfoverslagproeven zijn wederom succesvol geweest en hebben opnieuw een veelheid aan nieuwe en soms onverwachte informatie en inzichten met zich meegebracht. De voornaamste conclusie is dat het essentieel is dat er een redelijk goede grasbekleding aanwezig moet zijn om een goede weerstand tegen golfoverslag te bieden.
- De golfoploopproof met de golfoverslagsimulator is, na reeds vóór de proeven initieel te zijn ontwikkeld, voor deze proef verder uitgewerkt. De proef is succesvol verlopen en heeft geleid tot nieuwe informatie en inzicht in het simuleren van golfoploop op een boventalud, inclusief te verwachten schade.
- Onderzocht wordt of de voor golfoverslag in ontwikkeling zijnde methode van cumulatieve overbelasting ook toepasbaar is voor golfoploop. Met de uitgevoerde proeven lijkt dit mogelijk te zijn. Een en ander zal nog verder, buiten deze opdracht, worden uitgewerkt.
- De proeven hebben geleid tot een aanscherping van een voorstel voor een nieuwe toetsregel (toelaatbaar overslagdebiet) in het toekomstige VTV, die met name gericht is op het wel of niet aanwezig zijn van een op het oog goede en gesloten grasmat.
- Ten opzichte van voorgaande golfoverslagproeven is er een nieuw mechanisme geconstateerd: het uitspoelen van de kern van zand door aanwezige verbindingen door de afdeklaag van klei, waarna verzakkingen en afschuivingen optraden.
- Een overgangsconstructie van een talud met grasbekleding naar een lager gelegen horizontale asfaltbekleding is wederom relatief kwetsbaar gebleken.
- Een trapopgang in het talud kan een kwetsbare plaats in de waterkering opleveren. Als de aansluiting tussen trap en de grasbekleding niet goed is, kan dit tot snelle erosie leiden. Onderhoud (doodspuiten van overgroeïend gras), mogelijk in combinatie met intensief gebruik van de trap), leidden bij de proef tot een snel bezwijken, omdat er een strookje kale klei zonder wortels aanwezig was.
- Een haaks op de waterkering geplaatst hekwerk/afrastering is niet gebleken een zwakke plek te zijn. Langs het hekwerk ontstaat een soort opstaande rand (hoger gras) en overslaande golven zoeken het lager gelegen talud op, waar mogelijk enige stroomconcentratie aanwezig kan zijn.
- Bij de overslagproef op het buitentalud bleek, na lichte erosie van de grasbekleding, dat waterdrukken de asfaltberm omhoog drukten. Geconcludeerd kan worden dat dit een modeffect is doordat uitsluitend naar beneden stromende golven (neerloop) zijn gesimuleerd. De later uitgevoerde oploopproof simuleerde wel golfoploop en golfneerloop op een correcte wijze. Daarbij werd duidelijk dat er tijdens neerloop geen vrij stromend waterfront is wat voor hoge drukken onder het asfalt kan zorgen. Het resultaat van de overslagproef op het buitentalud moet daarom als niet realistisch worden beschouwd voor deze locatie (wel als een dergelijke berm /fietspad op het binnentalud aanwezig zou zijn).
- De schade ontstaan tijdens de oploopproof was in overeenstemming met de te verwachten schade, namelijk op de overgang van de vrijwel horizontale berm naar

het boventalud. De proef werd om technische redenen met betrekking tot de proefopstelling gestopt, niet omdat er teveel schade was ontstaan. Dit is de enige proef die om die reden voortijdig gestopt moest worden.

- Opnieuw werd gevonden dat een obstakel, in dit geval een paal van 0,2 m bij 0,2 m, dat groter is dan 0,15 m bij 0,15 m, tot erosie rondom het obstakel kan leiden.
- Alle proeven werden gesimuleerd voor een significante golfhoogte van 2 m met een piekperiode van 5,7 s. De omstandigheden per proef, hetzij golfoverslagdebiet of ligging van het 2%-golfoplooppniveau, werd verkregen door de waterstand te variëren.

Observaties per proef:

Proefstrook 1, golfoverslag over het buitentalud en de berm:

- De vegetatie op het talud was net als de kruin open, met hier en daar langere graspollen. De kruin was grotendeels vertrap. Op het onderste deel van het boventalud hield de grasvegetatie grotendeels op en begon een nagenoeg kale zone met veel steenslag, puin en stenen. Deze was ook op het vrijwel horizontale deel van de berm aanwezig, tot aan de asfaltberm (fietspad).
- In eerste instantie is een golfoverslagproef uitgevoerd op het buitentalud, omdat een volwaardige oploopproof nog niet ontwikkeld was. Uiteraard is dit geen representatie van de plaatselijke werkelijkheid (golfoploop en -neerloop in plaats van golfoverslag). Er zijn echter vele plaatsen aan te wijzen waar een fietspad of anderszins een verharding aanwezig is op het binnentalud. Wat dat betreft representeerde de proef wel degelijk mogelijke situaties op waterkeringen in Nederland (of daar buiten).

Uit de proef is (wederom) gebleken dat een overgang van een grasbekleding naar een harde bekleding een relatief zwak punt kan zijn in de waterkering; terwijl aan de grasbekleding weinig tot geen schade was opgetreden, dreigde de asfaltbekleding abrupt opgedrukt te worden door waterdrukken. De proef is gestopt voordat dit daadwerkelijk tot falen van de asfaltbekleding leidde..

- De voor de proef visueel als matig verwachte / veronderstelde herstelde inkassing is tijdens de 1 en 10 l/s per m proef licht geërodeerd. Los materiaal is weggespoeld en als gevolg daarvan werd puinmateriaal in de toplaag meer en meer zichtbaar.

Proefstrook A: golfoploopproof:

- Net naast en zoveel mogelijk overeenkomend met proefstrook 1 is een golfoploopproof uitgevoerd, waarbij in tegenstelling tot proefstrook 1, er sprake was van oplopende en neerlopende golven. De aanleiding voor deze proef was dat de asfaltberm in de golfoverslagproef op vak 1 door het neerstromende water werd opgedrukt en het niet zeker was of dit in meer waarheidsgetrouwe gesimuleerde omstandigheden ook zo zou zijn.
- De proeven simuleerden een steeds hoger wordende waterstand, waarbij dus ook de golven steeds hoger het talud opliepen. Het niveau wat door 2% van de golven werd overschreden werd derhalve ook steeds hoger. De simulator bleef tijdens alle proeven op dezelfde plaats staan.

- Op de inkassing, het hoogst belaste deel van het talud tijdens de oloopproof, is tijdens de proeven schade ontstaan aan de toplaag. Deze schade betrof uiteindelijk een opstaande rand van ongeveer 0,5 m hoog op ca. 2,5 m van de overgang asfalt – grasbekleding. Het is niet bekend of de opstaande rand samen valt met de rand van de inkassing. De schade ontwikkelde zich tijdens de proef geleidelijk., na initieel kaler worden van Het bij aanvang reeds met veel open plekken behepte talud werd eerst kaler. Daarna werden met elke proef de erosiegaten dieper. De snelheid van erosie lag in de orde van centimeters per proef. De gaten ontstonden op het boventalud, net op de overgang na de vrijwel horizontale grasberm. Dit is ook de plek waar oplopende golven van richting moeten veranderen en deze overgang wordt dus zwaarder belast.
- Zodra de 2%-golfoploophoogte op het ter plaatse van de bij aanvang reeds kale deel van het talud (eerste 3 m gemeten vanaf de overgang van het asfalt naar de berm/talud) lag, startte de (oppervlakte) erosie.
- De erosie op de eerste 3 m van het talud bleef doorgaan bij elke proef, ook toen de 2%-golfoploophoogte boven dat niveau uit kwam (vanaf proef met X=2,4 m).
- Door doorgaande slijterosie kwam puin, bestaande uit groter (o.a. 40x40cm) en kleiner materiaal bloot te liggen. Dit materiaal werd stuk voor stuk blootgelegd en uiteindelijk weggespoeld. De daarbij ontstane gaten waren aangrijppunten voor het stromende water en verdiepten bij het vervolg van de golfoploopproof. Het is niet duidelijk of de verdieping werd veroorzaakt door oplopend dan wel aflopend water of juist door de combinatie daarvan.
- Er is geen schade opgetreden op het boventalud dat boven de als gevolg van de belasting ontstane opstaande rand ligt .
- Als gevolg van golven die op het talud liepen en vervolgens over de kruin gingen (golfoverslag) zijn aan de polderzijde een tweetal erosieplekken ontstaan.

Proefstrook 2, trap op binnentalud

- Bij een gemiddeld golfoverslagdebiet van 1 l/s per m ontstond de eerste schade langs de rand van de in het talud aanwezig trapopgang. De grond langs de trap bleek losgepakt en zonder gras en wortels.
- Bij het vervolg van de proevenserie ontwikkelde de schade zich snel; de opsluitbanden van de trap alsmede de daarvoor bestemde palen werden snel zichtbaar en grondmateriaal spoelde uit onder de aan weerszijden van de trapopgang gelegen grasmatten. Uiteindelijk spoelden de paaltjes van de opsluitbanden weg en vervolgens werden de opsluitbanden zelf ondermijnd. Na enkele uren met een ingesteld golfoverslagdebiet van 5 l/s per m bezweken de opsluitbanden en bezweek de trapopgang. De proef is doorgezet om het proces van algeheel bezwijken inzichtelijk te maken. Na enkele uren met 10 l/s per m was vrijwel de gehele trapopgang (vele treden) bezweken. Ook het naastgelegen talud was over grote oppervlakte naast de trapopgang bezweken.
- Naast de erosie langs de trap was er ook sprake van zandvoerende mollegangen tijdens overslaande golven. Deze zijn voor deze proef niet doorslaggevend geweest

bij het bezwijken, omdat als gevolg van een ander mechanisme de strook al eerder bezweken was.

- Vergeleken met eerdere proeven met een trapopgang op de Afsluitdijk, bezweek de trapopgang op Tholen eerder. Bovendien werd de schade ter plaatse van de Afsluitdijk ingegeven door stroomconcentratie aan weerszijden van de trap, omdat deze boven het talud uitstak. Hier was de trap ingebed in het talud. De aansluiting van de trap op de naastgelegen grasbekleding, waar een strookje aanwezig was van uitsluitend kale klei, was de oorzaak van initieel falen van de trapopgang.

Proefstrook 3, golfoverslagproef langs dwars over de dijk geplaatst hekwerk

- Het talud aan weerszijden van het hekwerk was bijzonder onregelmatig van vorm en vertoonde veel hobbels, verlagingen en beschadigingen. De begraasde vegetatie was erg kort en kende een hoge mosbedekking. Er was duidelijk sprake van molshopen (materiaal), mollengaten en -ritten. Sommige mollengaten hadden vrij grote ingangen.
- De strook waarin het hekwerk was geplaatst leek ongeveer over een breedte van ca. 0,35 m hoger te liggen (ca. 0,2 m) dan het omringende talud. Dit kan zijn veroorzaakt als gevolg van moeilijk bereikbaar zijn voor maaien, dan wel mindere begrazing. Direct na het bereiken van het hekwerk stroomde het overslaande water langs de rand naar het lager gelegen talud, zonder schade aan de rand te veroorzaken.
- Het schouwpad met een kaal rijspoor onderaan het talud vertoonde reeds in een vroeg stadium van de proeven (1 l/s per m) enige schade.
- Vrijwel vanaf de eerste proef (1 l/s per m) ontwikkelden aanwezige mollegaten zich tot gaten. Deze gaten kwamen aan de onderzijde van het talud weer aan het oppervlak. Door de gangen stroomde water, waarbij relatief grote hoeveelheden zand vanuit de kern van de dijk werden meegevoerd. Dit leidde tot verzakkingen van het talud. Aan de teen bolde het talud op over een oppervlak van ca. 1 m². Dit fenomeen is eerder waargenomen tijdens proeven op de Boonweg in Fryslân. Echter de opgebolde sectie barste niet op zoals in de eerdere proeven, maar vulde zich met van hoger gelegen zand materiaal uit de kern. Mogelijk waren de overslaande golven te klein om de opbolling stuk te slaan. Na een kleine 4 uur met 5 l/s per m bezweek het talud ter plaatse van de verzakking.
- De ontwikkeling van de schade kenmerkte zich door het vormen van een gat wat zich uitbreide, uitspoelen van materiaal via mollengaten, afbreken van een moot grasbekleding benedenstrooms van het gat en vervolgens naar boven uitbreidende schade door afschuiven van grotere moten van de grasbekleding. Dit mechanisme lijkt enigszins anders dan de headcut erosie zoals bij andere proeven gezien. Toen was sprake van een min of meer verticale wand waarbij materiaal uitspoelde en waarna moten grond afbraken. Hier leek het meer op afschuiven van delen van de bekleding, mede ingegeven door de steilheid van het beschadigde deel van het talud. Het betreft een instabiliteit van het talud, gevormd door de samenstelling van de dijk in combinatie met de geometrie (taludhelling).
- De opstaande rand is verder getest, waarbij het beschadigde deel van het talud is afgedekt. Bij grotere golfoverslagdebieten ontstond geen schade aan de opstaande

rand. Net naast de rand ontstond, waarschijnlijk als gevolg van stroomcombinatie samen met de aanwezigheid van een mollengang, een schade van 0,3 m breed en 0,15 m diep over een lengte van 2,5 m.

- Rondom de paal met een afmeting van 0,2 x 0,2 m is vanaf de 10 l/s per proef een erosiekuil ontstaan. Uiteindelijk, na de 50 l/s per m proef was de diepte van de kuil 0,65 m geworden. Uit eerdere proeven elders in Nederland was geconcludeerd dat kleinere objecten, tot 0,15 x 0,15 m geen grote ontgroningen zouden veroorzaken. Gebleken is dat iets grotere dus wel kunnen leiden tot grote erosiekuilen die falen van de waterkering zouden kunnen inleiden. Dit zal mogelijk nog afhangen van de lokale gesteldheid van de graszode en kleilaag.

Proefstrook 4, referentieproef voor proefstrook 3 (uitsluitend binnentalud)

- De gesteldheid van het talud was vrijwel identiek aan proefstrook 3 (naast het hekwerk).
- De schade aan het talud lijkt ook hier geïntroduceerd door de aanwezigheid van mollengaten. In eerste instantie ontwikkelde de schade zich met name door afschuren van stukjes grasbekleding op de teen en vervolgens het eroderen van de mollengaten. Bij 10 l/s per m, na 4 uur en 45 minuten, is de proef gestaakt omdat de gaten dermate groot waren geworden dat ernstige schade dreigde. De schade is daarop afgedekt en de proef is vervolgd.
- Tijdens het vervolg van de proeven bleek, net als op strook 3, er sprake van uitspoeling van zand materiaal uit de kern door mollengangen. Een deel van het talud, ca. 3 m boven de teen, zakte vervolgens zienderogen. Ook hoger op het talud begon het oppervlak te zakken. Dit bleef niet beperkt tot de strook zelf, maar ook daarbuiten. Na 3,5 uur met 30 l/s per m is de proef gestaakt. Het schade mechanisme leek identiek aan strook 3, nu echter ontstaan bij enigszins hogere golfoverslagdebieten.

1 Inleiding

1.1 Doel

Voor het projectbureau Zeeweringen zijn op Tholen observatieproeven uitgevoerd met de golfoverslagsimulator.

Met de proeven op de dijk nabij Poortvliet is:

- de op het dijklichaam aanwezige grasbekleding beproefd;
- de invloed van een trap op de erosiebestendigheid van het binnentalud beproefd; en
- de gerepareerde inkassing op het buitentalud bij verschillende belastingen beproefd.

Behalve overslagproeven is de gerepareerde inkassing op het buitentalud ook op golfoploop beproefd. Er zijn in de afgelopen jaren veel golfoverslagproeven uitgevoerd op diverse dijken. Het doel van golfoverslag is om de sterkte van de kruin en het binnentalud te beoordelen. Bij veel zee- en meerdijken is er ook gras aanwezig op het bovenbeloop van het buitentalud. Dit gedeelte ligt in de golfoploop en -neerloopzone. Ook de gerepareerde inkassing ligt in deze zone. Deze situatie is onderkend en daarom is de golfoploopproef ontwikkeld, zodat in tweede instantie de inkassing op een juiste manier kon worden beproefd.

Opmerking:

De gebruikte randvoorwaarden voor de proeven zijn gebaseerd op de omstandigheden die boven de maatgevende storm uit de toetscondities (ter plaatse: overschrijdingskans 1:4000^e per jaar) uit stijgen. Het zijn daarom fictieve omstandigheden die alleen bedoeld zijn om het binnentalud dan wel buitentalud te testen op erosiebestendigheid en de omstandigheden hebben dus geen directe relatie met de wettelijk vereiste veiligheid ter plaatse.

Dit rapport beschrijft de uitvoering van de proeven en de observaties op basis van een uitwerking van ingewonnen informatie/data en waarnemingen van de overslagproeven. Het betreft een feitelijke weergave, waarbij de interpretatie van de resultaten niet of minimaal is opgenomen.

1.2 Leeswijzer

De observaties en de conclusies uit het onderzoek, verricht op de dijk op Tholen staan voor in het document weergegeven onder de samenvatting. Na de een korte inleiding in hoofdstuk 1 volgt een beschrijving van de proeven op de dijk in hoofdstuk 2. Het resultaat van de proeven op de verschillende proefstroken wordt besproken in hoofdstuk 3. Tussen de proeven die voor het waterschap zijn uitgevoerd, zijn in eigen beheer door de opdrachtnemer hydraulische metingen verricht. De resultaten hiervan zijn in de bijlage opgenomen. Tevens zijn in een bijlage de resultaten van het uitgevoerde gras- en bodemonderzoek beschreven.

2 Overslag- en ophooproeven Tholen

2.1 Situatie

De proeven zijn uitgevoerd op de aan de Oosterschelde gelegen dijk ter hoogte van de Schelpenhoekseweg (zie figuur 2.1).



Figuur 2.1 Locatie op Tholen (bron: Google Earth)

Foto 2.1 geeft het totaaloverzicht vanaf de dijk. Op korte afstand van elkaar liggen een trap op het binnentalud en een afrastering met daarnaast op zowel het buiten- als binnentalud nog een trap.



Foto 2.1 De dijk ter hoogte van dijkspaal 1048

Het dijklichaam heeft een kern van zand, die is afgedekt met een laag klei (variërend in dikte). Het binnentalud, de kruin en het gedeelte van het buitentalud boven de onderhoudsberm is bekleed met een grasmatt. In 2007 is de onder de buitenberm gelegen steenbekleding (basalton op steenslag) vervangen. Om ruimte te maken voor het aanbrengen van de nieuwe steenbekleding (betonzuilen) heeft de aannemer een deel van het talud boven de berm weggegraven (inkassing). Later is dit talud weer hersteld en ingezaaid.

Onder het 5 cm dikke asfalt van de 3 meter brede onderhoudsstrook is een 35 cm dikke laag van betonpuin op geotextiel aanwezig. Deze laag is afgedekt met een 5 cm dikke laag van hydraulische fosforslakken.

In bijlage 6 is een geschematiseerde doorsnede van het dijkprofiel ter hoogte van dijkpaal 1048 weergegeven.

Het feitelijke binnentalud is behoorlijk lang en steil (ca. 1:3). In vergelijking tot het binnentalud is het buitentalud flauwer: boven de berm is het beloop circa 1:3,8 en beneden de berm is het beloop circa 1:3,5. De berm zelf heeft een beloop van circa 1:20.

De buitenberm ligt op een hoogte van circa NAP + 4,2 m. De kruin van de dijk ligt op circa NAP + 6,8 m.

2.2 Graslandbeheer

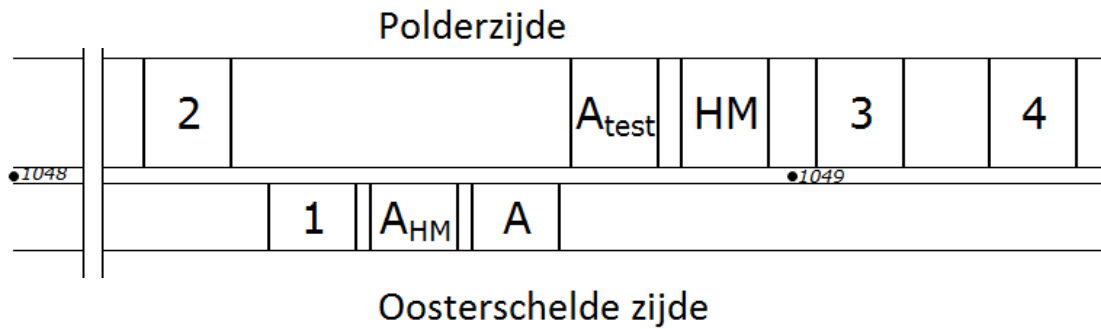
De op zowel het binnen- als buitentalud gelegen trap – ter hoogte van de afrastering – vormt de scheiding tussen twee typen graslandbeheer.

Ten zuidoosten van de trap wordt het dijktraject begraasd. Het betreft zomerbegrazing door schapen, zonder toevoeging van kunstmest en zonder toevoeging van herbiciden: extensief agrarisch weidebeheer [3]. Het graslandbeheer is recentelijk echter niet overeenkomstig het beoogde beheer uitgevoerd. Er was duidelijk sprake van overbegrazing.

Ten noordoosten van de trap heeft het waterschap het dijktraject aangemerkt voor gazonbeheer. Het feitelijk toegepaste beheer is klepelmaaien (4x per jaar). Het klepelmaaibeheer wordt uitgevoerd door de gemeente Tholen [3].

2.3 Overzicht proeven

Op deze proeflocatie zijn in totaal vijf proeven uitgevoerd met betrekking tot de sterkte van het talud: 4 overslagproeven en 1 olooppoef. Daarnaast zijn er twee proeven voor hydraulische metingen van laagdiktes en (front)snelheden uitgevoerd, zowel voor golfoverslag op het binnentalud als golfoploop op het buitentalud. Tot slot is er op het binnentalud een kalibratieproef gedaan met betrekking tot het kunnen uitvoeren van een olooppoef. Ten behoeve van deze proeven zijn in totaal 8 proefstroken aangelegd (zie figuur 2.2). De proefstroken zijn 4 m breed



Figuur 2.2 Proefstroken

Proefstrook 1

Proefstrook 1 is op het buitentalud aangelegd. Om de op het **buitentalud** gelegen **grasbekleding** en **inkassing** te beproeven is de simulator op het binnentalud geplaatst met de uitstroombak op de kruin, waardoor het geloste water eerst over de kruin en daarna over het buitentalud naar de Oosterschelde stroomde. Dit is een golfoverslagproef geweest, omdat op dat moment een golfploopproof nog niet mogelijk was. De werkelijke belasting op het buitentalud is natuurlijk golfoploop en golfneerloop.



Foto 2.2 Opstelling proefstrook 1

Proefstrook 2

Op de tweede proefstrook is de invloed van de in het **binnentalud** aanwezige **trap** (niet-waterkerend object NWO) beproefd.



Foto 2.3 Situatie proefstrook 2 voor aanvang van de proef

Proefstrook 3

Op de derde proefstrook is naast de erosiebestendigheid van het gras ook de invloed van een op het **binnentalud** aanwezige **afrastering** beproefd.

Proefstrook 4

Op de derde proefstrook ging het binnentalud vrij snel kapot, mogelijk door zeer intensieve beweiding van schapen langs de afrastering. Om het binnentalud op zichzelf (dus zonder afrastering) te beoordelen is op het **binnentalud** een vierde proefstrook ingericht.

Bij de proeven op de verschillende proefstroken is gebruik gemaakt van het hydraulisch regime¹ dat ook bij eerdere overslagproeven is gebruikt. De bij deze proeven gehanteerde overslagverdeling geldt voor zeedijken: het zee-regime (zie bijlage A). Dit geldt eveneens voor de oploopprouven.

Proefstrook HM

Naast de derde proefstrook is een strook ingericht voor het uitvoeren van hydraulische metingen ten behoeve van golfoverslagproeven (zie § 3.1.1).

Proefstrook A_{test} (test voor oploopprouf)

Alvorens de oploopprouf kon worden uitgevoerd is op het **binnentalud** een proefstrook ingericht (proefstrook A_{test}) om een beeld te krijgen in hoeverre de simulator gebruikt kon worden voor de oploopprouf. Tevens is tijdens deze sessie de hoogte van de oploop bepaald als functie van het uitstromende volume, zodat de stuurfile² voor de werkelijke oploopprouf op het buitentalud kon worden gemaakt.

Proefstrook A (oploopprouf)

Ten behoeve van de **oploopprouf** is op het **buitentalud** een proefstrook ingericht, waarbij de simulator op het onder de berm gelegen talud is geplaatst, met de uitstroomgeleiding op de onderhoudsberm.

Proefstrook A_{HM} (metingen oploopprouf)

Om een beeld te krijgen van de door de oploop gegenereerde laagdikten en (front)snelheden is, naast proefstrook A, een proefstrook ingericht (proefstrook A_{HM}) waar met surfplanken en paddle-wheels de hydraulische metingen zijn uitgevoerd. Tevens is in deze sessie een kalibratie uitgevoerd tussen uitstromend volume en de oploophoogte.

Een overzicht van alle uitgevoerde proeven is hieronder weergegeven.

¹ Overslagverdeling gebaseerd op golfhoogte $H_s = 2\text{m}$ en golfsteilheid 0,04. Deze omstandigheid kan worden gezien als een soort gemiddelde extreme conditie die langs de Nederlandse kust kan voorkomen.

² Een stuurfile is een digitale lijst met openingstijden voor de Golfoverslagsimulator. Op basis van deze lijst wordt de klep in de simulator geopend dan wel gesloten. Het instroomdebiet en de tijdsduur dat de klep gesloten is, bepaald het volume van de golf. Op deze manier worden alle golven uit de overslag- of oploopverdeling at random gesimuleerd.

Tabel 2.1. Overzicht testen

<i>Proefstrook</i>	<i>Wat te testen?</i>	<i>Locatie</i>	<i>DP</i>
1	inkassing (als overslagproef)	buitentalud	1048 + 69,7 m
2	trap	binnentalud	1048 + 59,9 m
3	afrastering	binnentalud	1049 + 5,8 m
HM	hydraulische meting	binnentalud	1048 + 94,6 m
4	referentie	binnentalud	1049 + 19,0 m
A _{test}	kalibratie oploop	binnentalud	1048 + 87,1 m
A _{HM}	hydraulische meting + kalibratie oploop	buitentalud	1048 + 75,7 m
A	inkassing (als oploopproef)	buitentalud	1048 + 81,7 m

2.4 Proefopstelling

2.4.1 Overslagproeven

Voor de overslagproeven is gebruik gemaakt van eenzelfde opstelling als gebruikt bij eerdere proeven.



Foto 2.4 Proefopstelling golfoverslagproeven

De gebruikte proefopstelling bestaat uit:

- een 4 m brede teststrook op kruin en te onderzoeken talud, aan de zijkanten afgeschermd door geleidingswanden die met behulp van houten palen op het talud zijn aangebracht;
- een golfoverslagsimulator op het buitentalud met de uitstroomopening op kruin van de dijk;
- een frequentieel instelbare grote pomp, welke het water in de overslagsimulator pompt;
- een meetcabine op een platte wagen, waar vanuit de simulator wordt bediend.

De pomp voor het aanvoer van het water naar de simulator is gedurende de proeven niet verplaatst. Om te voorkomen dat het waterpeil in de geïsoleerde aanvoersloot bij de proeven op het buitentalud te veel zou zakken, heeft Waterschap Scheldestromen een pomp beschikbaar

gesteld. Hiermee is, bij proeven waar een groot debiet werd beproefd, water uit de naastgelegen polder naar de aanvoersloot gepompt.

2.4.2 Oploopproof

Ten behoeve van de oploopproof is gebruik gemaakt van vrijwel dezelfde opstelling als bij de overslagproeven. In vergelijking tot de overslagproeven is de simulator op het onder de berm gelegen talud geplaatst, met de uitstroomgeleiding net boven de onderhoudsberm. Bij deze proef stroomde het water het talud op en kwam daarna weer naar beneden. Om dit water weg te laten stromen voordat de volgende oploopproof kwam, is de uitstroombegeleiding 0,2 m boven de berm geplaatst. Bij de kalibratietest op het binnentalud is de simulator op de verharding van het parkeerterrein geplaatst (foto 2.5).



Foto 2.5 Proefopstelling golfloopproof

2.5 Inrichting werkterrein

De watervoorziening voor de overslagproeven en oploopproof is verzorgd door een regelbare centrifugaalpomp met een pompcapaciteit van 1800 m³/uur met de aanzuiging in de achter de dijk gelegen poel. Via een persleiding is het water naar de simulator gepompt.

Omdat de poel niet in verbinding stond met andere watergangen zou, als gevolg van het gebruik van water voor de proeven, het waterniveau in de poel dusdanig kunnen dalen dat problemen met de watervoorziening zouden ontstaan. Daarom is met een tweede pomp water uit een ander watersysteem aangevoerd naar de poel, zodat het water in de poel op het gewenste niveau kon worden gehouden.

Ten behoeve van de stroomvoorziening van de hele proefopstelling is gebruikt gemaakt van een dieselgenerator. De generator is aangesloten op een milieutank met een capaciteit van 1500 liter diesel.

Voor het maken van continue filmopnamen is gebruikt gemaakt van twee op kantelmasten geplaatste IP Dome camera's. De camera's zijn op kantelmasten naast de proefstrook geplaatst,

waarbij één camera het bovenste en de andere camera het onderste gedeelte van het talud en de teen van het talud kon filmen.

De camera's konden vanuit de meetcabine worden bediend. De meetcabine is bij alle proeven aan de onderzijde van het talud naast de proefstrook geplaatst, zodat vanuit de cabine een prima zicht op de proeven mogelijk was.

2.6 Proeven

2.6.1 Golfverslagproeven

Bij de overslagproeven is op elke proefstrook het resultaat van stormen gesimuleerd, dat wil zeggen de bij de storm behorende golfverslag over de kruin en binnentalud. De proeven zijn uitgevoerd met een toenemend gemiddeld golfverslagdebiet (l/s per m) (dit zijn de debieten die constant in de simulator zijn gepompt). De simulator zelf is op gezette tijden (zoals vastgelegd in stuurfiles) geopend, zodat gewenste overslaande volumes vrijkwamen en over de kruin en het binnentalud stroomden. Voor het simuleren van de momentane overslagen wordt de klep van de simulator automatisch aangestuurd middels een PLC. Deze manier van aansturen is bij eerdere proeven (Afsluitdijk, Vechtdijk (Zwolle) en Tielrode (België)) succesvol gebleken en is daarom ook bij deze proeven toegepast. De verdeling van de overslagvolumes is conform de huidige theorie (zie bijlage 1).

De proefduur per omstandigheid is maximaal 6 uur. Omstandigheden zijn een gemiddeld debiet van 1, 10, 30, 50 en 75 l/m/s (zie tabel 2.1). Overslag is gesimuleerd in 3 sessies van elk 2 uur. Bij deze proeven is zowel tweemaal tussentijds als aan het einde van de proef de schade opgenomen, dus na 2 uur, 4 uur en 6 uur. In tegenstelling tot de andere proeven is de proef met een overslagdebiet van 1 l/s per m in 5x versneld (72 minuten) uitgevoerd (de proef is versneld door de simulator te vullen met 5 l/s per m. De overslagverdeling van 1 l/s per m is daarbij gehandhaafd (aantal overslaande golven met bijbehorende volumes). Deze proeven zijn niet onderbroken omdat er geen schade werd verwacht. Tabel 2.2 geeft het proevenschema.

Tabel 2.2 Proevenschema voor een proefstrook

<i>Proefnummer (OS = OverSlag)</i>	<i>Overslagdebiet (l/m/s)</i>	<i>Duur proef</i>	<i>Interval voor opnemen schade</i>
OS-01	1	72 minuten	-
OS-02	10	6 uur	2 uur
OS-03	30	6 uur	2 uur
OS-04	50	6 uur	2 uur
OS-05	75	6 uur	2 uur

Op proefstrook 2 is, gelet op de reeds ontstane schade na 1 l/s per m, besloten een extra proef met 5 l/s per m uit te voeren. Op geen van de proefstroken zijn de proeven OS-04 en OS-05 uitgevoerd.

2.6.2 Golfoplooproef

Beschrijving

Bij Tholen speelt het probleem dat er nauwelijks grasgroei is bij de inkassing. Dit is bij de overgang van de berm op het zeewaartse talud naar het boventalud van gras. Er is voor de golfoplooproef een plaats op het talud gekozen voor de simulator, beneden het met gras begroeide boventalud. Dit gedeelte van het talud bevindt zich onder stormomstandigheden (verhoogde waterstand) in de zogenaamde golfoploopzone³. Een oplopende golf komt op een gegeven moment de overgang van berm naar talud tegen. Bij eerdere overslagproeven was een dergelijke overgang (van talud naar teen of berm) altijd een zwak punt. De inkassing begint net op de overgang tussen berm en talud en is mogelijk een zwak punt. Echter de waterbeweging is nu van onder naar boven en vervolgens terug, terwijl bij de overslagproeven de beweging alleen van boven naar beneden is. De impact hiervan is met de oplooproef onderzocht. Hierbij moet tevens worden opgemerkt dat er een zeer matige tot slechte grasmat aanwezig was op de inkassing.

Het idee van golfoploopsimulatie en wat daar theoretisch voor nodig is, is uitgewerkt in [1]. De golfoverslagsimulator is ten tijde van de uitvoering van de proeven op Tholen in 2011 nog niet geschikt gemaakt om ook een exact juiste oplooproef te doen. Maar uit de test op teststrook A_{test} is geconcludeerd dat met de huidige simulator al aardig dicht in de buurt kan worden gekomen van een echte oplooproef en daarom is besloten om een eerste echte (pilot) oplooproef uit te voeren (strook A).

Bij overslag is voor elke golfconditie en overslagdebiet een verdeling van overslaande volumes bekend en deze wordt gesimuleerd. Er wordt dus op volume gestuurd. Elke volume geeft een bepaalde snelheid op de kruin, redelijk overeenkomend met de werkelijkheid.

Bij oploop moet een snelheid worden gesimuleerd op een bepaalde plek op het buitentalud en daarna moet de golf tot een bepaalde hoogte oplopen. De beschrijving daarvan is in [1] uitgezocht en in dit rapport (vertaald) gedeeltelijk overgenomen in bijlage 3.

Kalibratie volume tegen oploophoogte

Als eerste is de golfoverslagsimulator onderaan het binnentalud gezet (stook A_{test}) en is golfoploop gesimuleerd door tegen het binnentalud op te golven. Voornaamste doel was om de relatie vast te leggen tussen uitstromend volume en de golfoploophoogte. Deze relatie was nodig om een stuurfile te kunnen maken voor de uiteindelijke oplooproef op strook A. Daarnaast is uit de test een indruk verkregen of het wel mogelijk is oploop op een redelijke manier te simuleren en welke problemen daarbij om de hoek komen kijken. De achtergronden en de theorie ten aanzien van de oplooproeven wordt hier niet beschreven. Verwezen wordt naar [1]. Het resultaat van de test is door het uitvoeringsteam, dr ir Van der Meer en de opdrachtgever als

³ Onder maatgevende omstandigheden voor de toetsing op veiligheid is ter plaatse de waterstand volgens het HR2006 3,9 m NAP terwijl de berm op 4,0 m NAP ligt. Met een maatgevende golfhoogte van $H_s = 1,35$ m ligt de berm dan in de golfklapzone en het talud dus inderdaad in de oploopzone. Bij lagere waterstanden ligt ook de berm in de golfoploopzone.

positief beoordeeld. Op basis van dit resultaat is besloten de oploopproof op strook A uit te voeren. Foto 2.6 geeft een overzicht van de opstelling en uitvoering van deze kalibratie.



Foto 2.6 Opstelling en uitvoering van de kalibratie op het binnentalud

In bijlage 3 staat de kalibratie verder uitgewerkt weergegeven.

In tabel 2.3 is voor de verschillende oploopproeven de verticale afstand x (tussen de gesimuleerde stilwaterlijn en de overgang onderhoudsberm – inkassing (NAP + 4,2 m)), de verticale afstand van het 2%-golfoplooppunt $R_{u2\%}$ tot het overgangspunt en de duur van de proef weergegeven.

Tabel 2.3 Oploopproeven

<i>Proefnummer</i>	<i>Pompdebiet (l/m/s)</i>	<i>x (m)</i>	<i>$R_{u2\%}-x$ (m)</i>	<i>Duur proef</i>
OL-01	5	4,5	-0,5	21 minuten
OL-02	10	4,0	0,0	42 minuten
OL-03	20	3,2	0,8	2 uur 13 minuten
OL-04	40	2,4	1,6	5 uur 16 minuten
OL-05	75	1,2	2,4	10 uur 23 minuten

3 Resultaten van de erosieproeven

3.1 Plaatsbepaling binnen de proefstroken

Binnen de proefstroken is ten behoeve van de plaatsbepaling een meetraster van 1 bij 1 m² met grasmarkeringsverf aangebracht (zie foto 3.1). Hierbij vormt het einde van de uitstroombak van de simulator de 0-lijn voor de lengtemaatverdeling. De hierbij ontstane 4 m brede stroken zijn van bovenaf naar beneden genummerd. Het eerste vak dat loopt van 0 m tot 1 m is vak 1. Vak 2 loopt van 1 m tot 2 m, etc.. In dwarsrichting loopt de meterverdeling over de 4 m brede stook kijkend naar de golfoverslagsimulator van links naar rechts (A t/m D).



Foto 3.1 Het voorafgaand aan de uitvoering van de proeven aangebracht raster

3.2 Erosieverschijnselen overslagproeven

Het resultaat van de proeven op de verschillende proefstroken is hieronder per proefstrook beschreven. Met behulp van film- en fotocamera's is de ontwikkeling van de erosie van de grasmat op het talud en bij de teen vastgelegd. In de bijgevoegde DVD-ROM zijn alle tijdens de overslagproeven en overloopproof gemaakte foto's opgenomen.

3.2.1 Proefstrook 1

Proefstrook 1 bevond zich op de kruin en het buitentalud tot en de berm met fietspad. Het hart van de proefstrook bevond zich t.p.v. kilometer 104,8697 van het dijkpalensysteem. Het buitentalud is een wat vreemde plek voor overslagproeven omdat er op die plek in werkelijkheid uiteraard alleen maar sprake is van golfop- en neerloop. De aanleiding voor deze proef is de aanwezigheid van een voormalige inkassing die na de recente dijkversterking weer is aangevuld. Het project zeeweringen wilde door middel van een overslagproef checken of de voormalige inkassing mogelijk een verzwakking vormt. Op dat moment was dat ook de enige beschikbare

methode voor onderzoek. Pas tijdens het onderzoek is een al eerder ingezette ontwikkeling van een golfploopsimulator versneld uitgevoerd en is uiteindelijk ook een golfploopproof op de inkassing uitgevoerd, zie paragraaf 3.3. De resultaten van proefstrook 1 moeten dan ook in dit licht worden gezien, namelijk dat overslag in deze situatie niet de juiste methode van beproeven is geweest. De proef geeft mogelijk andere resultaten dan de oloploop in paragraaf 3.3.

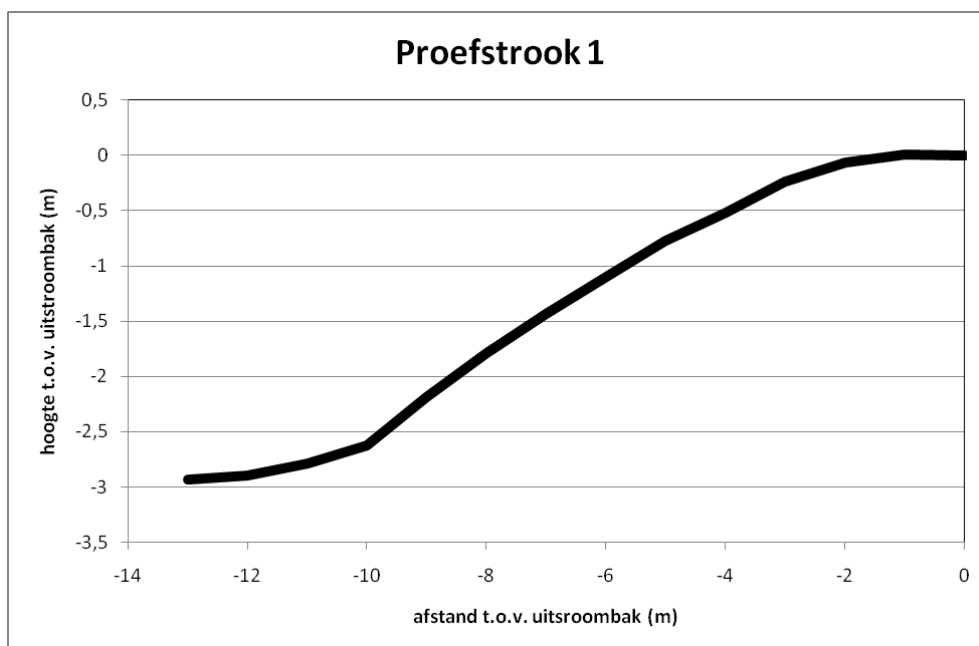
Beschrijving proefstrook (nulsituatie)

Kruin

De rand van de uitstroombak (= 0 m) bevindt zich op 2,07 m van de buitenkruinlijn, waardoor ook de enigszins bolle kruin grotendeels wordt getest. Bij het begin van de proeven zijn de buiten- en binnenkruinlijn gedefinieerd en vastgelegd. De vegetatie was open (kalig), sterk vertrapt en laag.

Talud en teen

Het buitenbeloop is enigszins bol. Bovenin is de helling ongeveer 1:4, halverwege 1:3 en onderin ongeveer 1: 2.5 (zie figuur 3.1). Een schematisch dwarsprofiel is opgenomen in bijlage 6. De vegetatie op de eerste 9 m van het talud is net als de kruin open maar wel minder vertrapt dan op de kruin en kent langere (tot 0,15 m) graspollen. De buitenteenlijn bevindt zich op 10 m. In de laatste meter voor de teen (vak 10) treedt een sterke verandering op. Halverwege dat vak houdt de grasvegetatie grotendeels op en begint een nagenoeg kaal en sterk stenige zone met veel steenslag (scherven van breuksteen), puin en stenen. Wel groeit daar een klein kruidachtig (zoutminnend?) plantje. De bijna 2 m brede strook tussen teen (10 m) en rand asfalt van de berm (11,85 m) heeft een helling van ongeveer 1:8. Op 9 m in vak A bevindt zich naast een kale plek een steilrandje met een hoogte van ca. 10 cm. Net voor de 10 m in vak B zit een gras begroeid bultje. Op 11 m in vak D zit een kale verdieping, mogelijk een rijspoor. In de laatste 3 m voor het asfalt zijn een drietal grote stenen aan de oppervlakte zichtbaar (10A, 10 en 12D).



Figuur 3.1 Dwarsprofiel proefstrook 1

Berm

Bijna 2 m na de teen begint de asfaltverharding van de berm c.q. fietspad. De asfaltverharding heeft daar geen kantopsluiting, is ca. 5 cm dik en ligt op een laagje zwak hydraulische slakken die vervolgens op een fundering van steenslag ligt.

Resultaten proeven

1 en 10 l/s per m

Na de proeven met deze overslagdebieten zijn op het talud (tot 9 m) weinig veranderingen zichtbaar. Aan het eind van de 10 l/s per m proef zijn een aantal kalige plekken ontstaan en worden stenen aan het oppervlak zichtbaar.

Rond en na de teen (tussen 9 en 12 m) vindt oppervlakkige erosie (gemiddeld ongeveer 10 cm) plaats. Langzaam wordt steeds meer puin, steen en steenslag zichtbaar. Langs de rand van het asfalt begint bij tijdens de 10 l/s per m de onderliggende laag slakken zichtbaar te worden, maar er treedt nog geen ondermijning van het asfalt op. De diepste erosiekuilen bevinden rond en na de teen en zijn 10 tot 20 cm diep. De aanwezige vegetatie in de laatste 3 m voor het asfalt is nog slechts marginaal aanwezig

30 l/s per m

Na ongeveer 1 uur bleek dat er ondermijning optrad van het asfalt van de onderhoudsberm door uitspoeling van de onderliggende slakken (zie foto 3.2). Daardoor kon vervolgens als gevolg van het overslaande water zich druk opbouwen onder het asfalt. Al snel daarna bleek dat daardoor de gehele asfaltlaag omhoog werd gedrukt en stroomde het water deels onder de verharding door naar de aangrenzende steenzetting. Het asfalt was inmiddels enkele centimeters opgebald en het gevaar bestond dat bij een van de volgende grotere golven het asfalt geheel uit zou breken. Dit zou dan leiden tot een onacceptabele schade aan de buitenkant van de kering in het stormseizoen. In overleg met de aanwezige beheerder is besloten om na 1 uur en 3 minuten de proef te staken.

In dit laatste uur is er op het talud (tot 9m) nagenoeg geen verandering opgetreden. Door uitgespoelde stenen is het aantal gaten in de laatste 3 m toegenomen, maar deze zijn echter niet dieper geworden. Gemiddeld is het oppervlak wel weer enkele centimeters weggesleten.



Foto 3.2 Ondermijning asfalt onderhoudsweg

Ontwikkeling schade

Bijlage 2-B-1 geeft een indruk van de ontwikkeling van de schade in de tijd.

Uitvoering proeven

In tabel 3.1 is een overzicht van de uitvoering van de overslagproef op proefstrook 1 weergegeven.

Tabel 3.1 Uitvoering proeven proefstrook 1

Debiet (l/s per m)	Sessie		Datum	Start	Eind	Opmerking
1	-		28-feb	9:43	10:55	
10	1	0 – 2 uur	28-feb	11:41	13:41	
	2	2 – 4 uur	28-feb	14:00	16:00	
	3	4 – 6 uur	28-feb	16:21	18:21	
30	1	0 – 2 uur	1-mrt	8:42	9:46	EINDE PROEF

3.2.2 Proefstrook 2

Proefstrook 2 bevindt zich op de kruin en op het binnentalud tot de asfaltverharding van het parkeerterrein. Het hart van de proefstrook bevindt zich t.p.v. kilometer 104,8599 van het dijkpalensysteem. Precies in het midden van het proefvak ligt het hart van een 1 m brede betonnen dijktrap. Het doel van deze proef is het testen van de invloed van de trap op de erosiebestendigheid bij golfoverslag van de grasbekleding aan weerszijden van de trap.

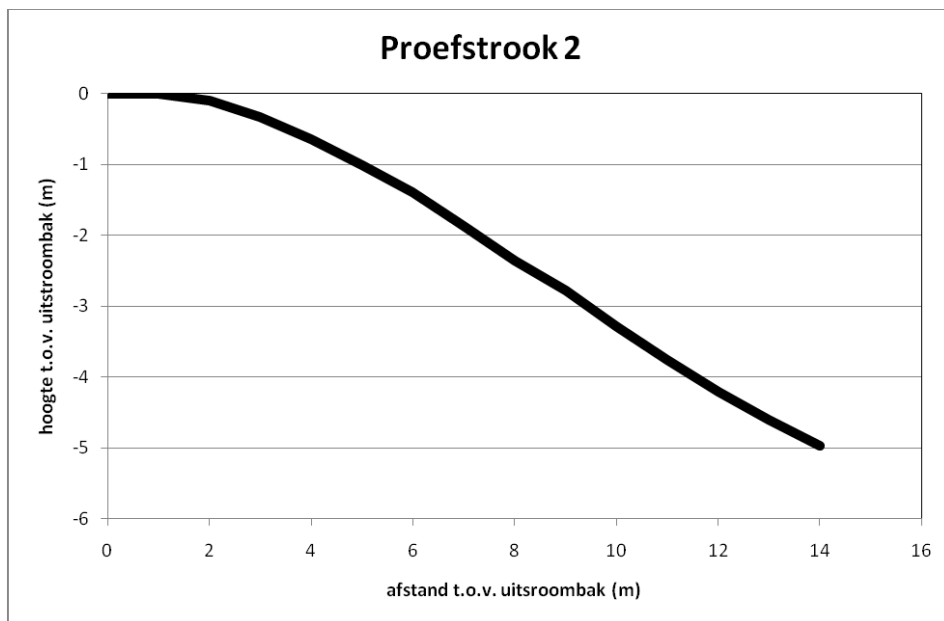
Beschrijving proefstrook (nulsituatie)

Kruin

De rand van de uitstroombak (= 0 m) bevindt zich op 2,01 m van de vooraf gedefinieerde binnenkruinlijn, waardoor ook de kruin grotendeels wordt getest. De vegetatie op de kruin is open (kalig), sterk vertrapt en laag. In het verlengde van de trap is, als gevolg van de geconcentreerde betreding, de kruin over ca 2 m volledig vertrapt en kaal en verlaagd, in vak 1 met ca. 6 cm en in vak 2 met ca. 12 cm. Onder dit vertrapte deel bevindt zich onzichtbaar en over de breedte van de trap een verharding vanaf ca. 1,1 m tot de eerste traprede op 1,88 m.

Talud, trap en teen

Het talud is nogal bol. Bovenin is de helling ruim 1:3, halverwege 1:2,5 en, vlak voor het flauwer worden net boven de teen, ongeveer 1: 2 (zie figuur 3.2).



Figuur 3.2 Dwarsprofiel proefstrook 2

De trap is opgebouwd uit losse betonblokken van $0,50 \times 0,50 \times 0,15 \text{ m}^3$ en betonnen opsluitbanden aan weerszijden van $1,00 \times 0,40 \times 0,06 \text{ m}^3$. De opsluitbanden zijn bij aanleg met behulp van perkoenpalen gefixeerd. De bovenkant van de opsluitbanden bevinden zich 6 tot 12 cm onder het vlak van het talud.

De hoekpunten van de traptreden liggen gelijk aan de bovenkant van de opsluitbanden. De laatste traptrede ligt ca. 20 cm onder het taludvlak. De trap ligt dus verzonken in het talud. Het einde van de trap ligt net als de niet erg gedefinieerde binnenteenlijn op ca. 15 m. De bijna 1 m grond tussen trap en rand asfalt op 15,8 m is niet verhard en is in het verlengde van de trap deels vertrapt en kaal. Tussen het gras en het asfalt van de parkeerplaats is geen kantopsluiting aangebracht. De opbouw van de verharding van het parkeerterrein is onbekend. Ter hoogte van de laatste traptrede staat een halve meter links van de trap een hardhouten paal ($8 \times 8 \text{ cm}^2$) van een afvalbak.

Direct ter weerszijden van de trap ligt een 0,2 m brede strook volledig kale en losgetrapte grond. De waarschijnlijke oorzaak daarvan is een combinatie van vertrappen, maaien maar vooral het gebruik van een herbicide door de gemeentelijke beheerder waardoor het hele wortelstelsel ontbrak.

De 1,5 m brede strook talud tussen het linker geleideschot en de trap (strook A en de helft van B) is onregelmatig van oppervlak met veel kale plekken en losse grond. Het slechte vegetatiedek bevat redelijk veel kruidachtigen en vertoonde bij de nulopname de nodige doch slecht zichtbare gevolgen (kale plekken) van mollenactiviteit. De vergelijkbare strook aan de rechterzijde is grotendeels vergelijkbaar met de zone aan de linkerkant doch oogt wat grasbedekking betreft slechter en kent in de vakken D5, D6 en D7 meer ruigesoorten zoals Fluitenkruid.

Resultaten proeven

1 l/s per m

Als gevolg van de overslaande golven vond al snel erosie plaats langs de opsluitbanden van de trap. Op enkele plaatsen werden de paaltjes, die de opsluitbanden op hun plaats houden, langzaam zichtbaar.

Ter hoogte van vak 11C/12C was sprake van verdergaande erosie van de kleilaag, lokaal tot onder de opsluitband (zie foto 3.3). Aan het einde van deze proef waren de erosie gaten in 6B, 9C en 11C/12C resp. 0,2 m, 0,25 m en 0,50 m diep. Al tijdens de proef waren de gevolgen van de mullengangen duidelijk zichtbaar geworden. Zo was er sprake van uittredend water uit mullengaten, zowel in het proefvak (16A) als daarbuiten.



Foto 3.3 Erosie van de kleilaag ter hoogte van vak 11c/12c

Ter hoogte van de teen/onderaan de trap was de grasbekleding reeds tot aan het asfalt van de parkeerplaats geërodeerd (zie foto 3.4).



Foto 3.4 Schade teen talud

Om te voorkomen dat vroegtijdig het stopcriterium – schade asfalt parkeerplaats - zou worden bereikt, is de ontstane schade aan de teen afgedekt met een geotextiel en een stalen rijplaat. De rijplaat rust hierbij op de onderste trede van de trap. Met de giek van een mobiele kraan is druk op de plaat uitgeoefend, zodat de plaat op zijn plaats zou blijven gedurende proeven (zie foto 3.5).



Foto 3.5 Afdekking schade teen talud met geotextiel en rijplaat.

5 l/s per m

Na 1 uur

Gedurende het eerste uur van de proef vond verdergaande erosie langs de opsluitbanden plaats. Het ter hoogte van vak 11C/12C ontstane gat breidde zich uit naar beneden en werd langzaam breder (zie foto 3.6).

De treden van de trap werden langzaam ondermijnd als gevolg van erosie van de hieronder gelegen klei. Ook de grasbekleding werd langzaam ondermijnd.



Foto 3.6 Uitbreiding van het gat ter hoogte van de opsluitbanden in vakken 11c en 12c

Ter hoogte van de opsluitband in vak 13C bevond zich een mollengang. Het overslaande water dat zich in het gat verzamelde stroomde er aan de onderzijde van vak 14b weer uit. Het uittredende water bevatte zand (uitspoeling van de onder de kleilaag aanwezige zandkern).

Na 2 uur

Het gat aan de rechterzijde van de trap breidde zich langzaam uit richting het geleideschot en de kruin van de dijk (de grasbekleding werd ondermijnd door de eroderende klei en stortte in). Het gat werd steeds langer, breder en dieper, waardoor de opsluitbanden steeds meer vrij kwamen te staan.

Gedurende de proef sloegen de eerste paaltjes langs de opsluitbanden eruit, waardoor de opsluitbanden naar buiten weken. Hierdoor ontstond een ruimte tussen de treden van de trap en de opsluitband. Een afgeschoven grondmoot voorkwam dat de opsluitbanden omvielen (zie foto 3.7).



Foto 3.7 Verdergaande erosie in de vakken 10c, 11c en 12c

Na 3 uur

Gedurende het derde uur vond meer en meer erosie van de klei ter hoogte van de opsluitbanden in de vakken 4B, 5B en 8B plaats (zie foto 3.8).



Foto 3.8 Erosie van de kleilaag langs de opsluitbanden in de vakken 4b, 5b en 8b

Het gat aan de rechterzijde van de trap breidde zich langzaam uit naar boven en rechts (tot aan het geleideschot). De opsluitbanden werden verder ondermijnd (foto 3.9).



Foto 3.9 Verdergaande erosie gat rechterzijde trap.

Na 4 uur

Na 3 uur en 18 minuten sloegen er bij golf 236 (volume ≈ 2000 l) 3 opsluitbanden uit (zie foto 3.10), waardoor verdergaande erosie van de klei onder de trap kon plaatsvinden. Hierdoor werd de ondermijning van de treden van de trap versneld.



Foto 3.10 De eerste opsluitbanden slaan eruit bij golf 236.

Uiteindelijk vielen een aantal treden van de rechterzijde van de trap in het gat (zie foto 3.11) dat steeds dieper werd en zich langzaam uitbreidde richting de kruin van de dijk.



Foto 3.11 Instorten van de treden van de trap

Na 6 uur

Gedurende deze proef sloeg een vierde opsluitband eruit. Enkele minuten later vielen weer een aantal ondermijnde traptreden in het gat dan steeds dieper werd (zie foto 3.12). Ter hoogte van vak 6B sloeg een langs de opsluitband geslagen paaltje eruit. Enkele golven later verzakte de opsluitband en week naar buiten (zie foto 3.13).



Foto 3.12 Steeds meer treden worden ondermijnd en vallen in het gat



Foto 3.13 Verzakking opsluitband vak 6b

Aan het einde van de proef was het talud feitelijk bezweken. Aan de linkerkant van de trap was een bijna 7 m lange strook met een breedte van 0,15 tot 0,5 m weg geërodeerd. De bijbehorende diepte varieerde tussen 0,15 m en 0,5 m. Aan de rechterzijde was één groot gat ontstaan met een lengte van ca. 4 m, 2 m breed en tot 1 m diep. Op de kruin juist boven de trap erosie opgetreden over een oppervlak van ca. 1 m², waardoor een 4 tal tegels van 0,5 x 0,5 m² zichtbaar zijn geworden. Los van de beschreven erosiegebieden is de grasmat redelijk tot goed intact gebleven (zie ook de foto's in bijlage C-2)

10 l/s per m

Na 2 uur

Hoewel het talud bij de proef met 5 l/s per m reeds als bezweken kon worden beschouwd is doorgesgaan met de proef om het verdere bezwijkproces vast te leggen.

Het erosiegat aan de rechterkant van de trap breidde zich steeds verder uit naar de kruin. Gedurende de proef sloegen meerdere opsluitbanden weg, waardoor meerdere traptreden in het gat vielen. Ook de treden aan de linkerzijde van de trap werden ondermijnd en vielen uiteindelijk in het gat (zie foto 3.14).



Foto 3.14 Verdergaande erosie en instorting van de trap

Ook net onder de kruin sloegen aan weerszijden van de trap de opsluitbanden eruit. Door ondermijning van de betonblokken vielen steeds meer treden in het door erosie ontstane gat. Het gat aan de linkerkant van de trap had zich ondertussen ook uitgebreid tot aan de geleideschotten en werd alsmaar dieper (zie foto 3.15).



Foto 3.15 Instorting van de trap ter hoogte van de kruin

Na circa 2,5 uur

Omdat de laatste blokken aan de bovenzijde van de trap bezweken, is de proef na 2 uur en 26 minuten gestopt (laatste golf bijna 2000 l/m) om schade aan de kruin te voorkomen. Feitelijk was de onder de kleilaag aanwezige zandkern nog niet bereikt. Onder toezien oog van het waterschap is na de proef het talud nog een keer belast met 2 demonstratiegolven van elk 2500 l/m. Het eindresultaat is weergegeven in foto 3.16.

De meest aan de rechterzijde van de trap losgekomen blokken zijn met de overslaande golven in het grote gat onderin beland. Na deze proef is het opgetreden schadebeeld alleen ' vastgelegd met de fotocamera. Er is geen opname van de schade meer gedaan.



Foto 3.16 Eindresultaat proef 10 l/s per m boven en halverwege het talud

Ontwikkeling schade

Bijlage 2-B-2 geeft een indruk van de ontwikkeling van de schade in de tijd.

Uitvoering proeven

In tabel 3.2 is een overzicht van de uitvoering van de overslagproef op proefstrook 2 weergegeven.

Tabel 3.2 Uitvoering proeven proefstrook 2

Debiet (l/s per m)	Sessie	Datum	Start	Eind	Opmerking	
1	-	2-mrt	15:03	16:15		
5	1	0 – 1 uur	3-mrt	9:04	10:04	
	1	1 – 2 uur	3-mrt	10:26	11:26	
	2	2 – 3 uur	3-mrt	11:38	12:38	
	2	3 – 4 uur	3-mrt	12:52	13:52	

Debiet (l/s per m)	Sessie		Datum	Start	Eind	Opmerking
	3	4 – 6 uur	3-mrt	14:05	16:05	
10	1	0 – 1 uur	4-mrt	9:30	10:31	
	1	1 – 2 uur	4-mrt	10:38	10:38	
	2	2 – 3 uur	4-mrt	11:50	12:16	EINDE PROEF

3.2.3 Proefstrook 3

Proefstrook 3 bevindt zich op de kruin en op het binnentalud tot en met het met gras begroeide halfverharde (slakken/puin?) schouwpad. Het hart van de proefstrook bevindt zich t.p.v. kilometer 104,9058 van het dijkpalensysteem. In strook D bevindt zich een afrastering die vlak naast een trap dwars op de waterkering staat. Het rechter geleidschot is zodanig geplaatst dat de verzwakte rand van de daarnaast gelegen trap juist buiten de teststrook ligt. Het doel van deze proef is het testen van de invloed van de afrastering op de erosiebestendigheid van de grasbekleding bij golfoverslag.

Beschrijving proefstrook (nulsituatie)

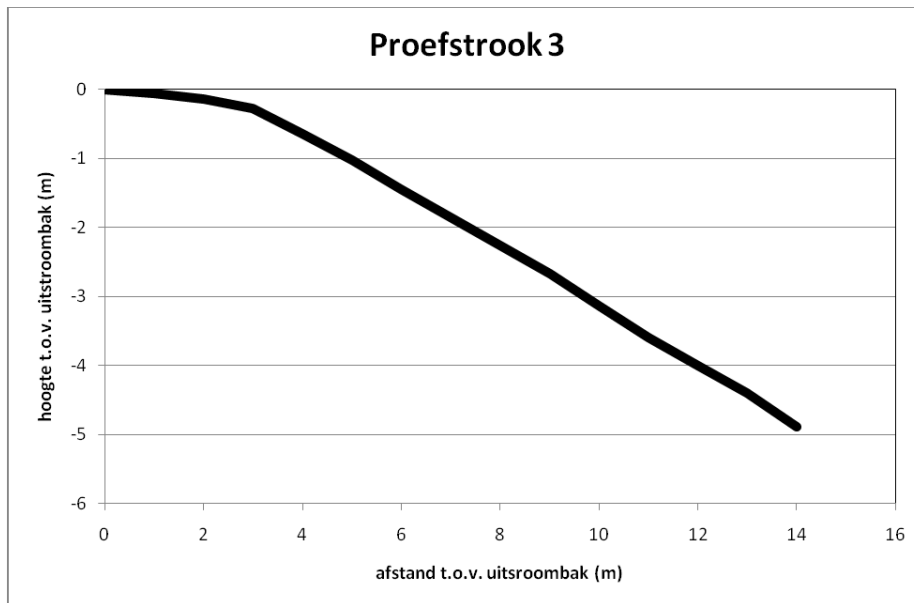
Kruin

De rand van de uitstroombak (= 0 m) van de op de kruin geplaatste simulator bevindt zich op 2 m van de vooraf gedefinieerde binnenkruinlijn, waardoor ook de kruin grotendeels getest kan worden. De afrastering is op het buitentalud en de kruin deels weggehaald om de simulator te kunnen plaatsen en begint in het proefvak derhalve op ruim 2 m, net na de binnenkruinlijn. Het oppervlak van de kruin is sterk onregelmatig. Hoogteverschillen tot ca. 0,1 m komen voor. Zo ligt de strook grond waar de afrastering heeft gestaan duidelijk hoger, zeker t.o.v. de daarnaast gelegen rand van de proefstrook (zie foto nulopname 1C). De 2 m brede kruin kent een lichte helling van ca. 1:15 naar binnen.

De vegetatie op de kruin is open (kalig), mossig, sterk vertrapt, zwaar begraasd en uiterst laag. Op de plaats waar de afrastering heeft gestaan is de grasvegetatie dor en lang. De smalle strook tussen de afrastering en de trap is niet begraasd, maar wordt met het onderhoud rond de trap gemaaid en de vegetatie is op het zicht grotendeels vergelijkbaar met de rest van de kruin.

Talud, afrastering en teen

De taludhelling is onregelmatig. Na de ronde overgang kruin-talud is de taludhelling tot en met vak 11 ongeveer 1:2,5. Daarna over 3 m ca 1:2,3, vervolgens over 2 m 1:2,5 en de laatste meter 1:2. De teen bevindt zich op circa 15 m (zie figuur 3.3).



Figuur 3.3 Dwarsprofiel proefstrook 3

Het talud is bijzonder onregelmatig van vorm en vertoont veel hobbels, verlagingen en beschadigingen. De begraasde vegetatie is erg kort en kent een hoge mosbedekking. De aanwezige vegetatie is open maar lijkt door de mosgroei een gesloten aanzicht er is sprake van diverse (beschadigde) kale plekken. Er is duidelijk sprake van molshopen, mollen-gaten en -ritten. Tussen 10 en 12 m komen zelfs 3 gaten voor met diepten tot 12 cm (10B onderin, 11C linkerkant en 12B linkerkant). Tussen 12B en 12C is sprake van een duidelijke mollenrit (zie foto 3.17). In 15D is sprake van een duidelijke molshoop waarbij veel zand aan het oppervlak is gekomen. Het talud heeft aan de linker kant van 14A een beschadiging veroorzaakt door een mobiele kraan.

De afrastering bevindt zich in strook D op 3,35m vanaf het rechter geleideschot en bestaat uit 14 palen rond ca. 8 cm met zowel gaas als een "leuning" bestaande uit een plank. Onder de afrastering is sprake van een verhoging tot wel 0,2 m. Op deze ca. 0,35 m brede strook staat een verdorde ruigte met een hoogte tot ca. 0,5 m.



Foto 3.17 Mollenrit

De teen bevindt zich op 15 m. Rond de teen bevinden zich naast de palen van de afrastering nog 2 palen. Eén (8 x 8 cm²) voor de bevestiging van een afvalbak (rechts in 15D) en één hekpaal (20 x 20 cm²) voor het sluithek. Juist achter de teen begint een ca. 4 m breed en met weinig gras begroeid schouwpad. Er zijn 2 kale rijsporen zichtbaar. Een manoeuvrerende mobiele kraan heeft de grasmat achter het schouwpad deels beschadigd. In vak 20C bevindt zich een hekpaal (20 x 20 cm²) waaraan een stalen draaihek is bevestigd. In 21D staat een paal (8 x 8 cm²) voor de bevestiging van een afvalbak.

Resultaten proeven

1 l/s per m

Door de grote hydraulische weerstand t.p.v. de afrastering (palen, hogere grondrug en hoge ruigte) wordt deze strook nagenoeg niet belast door het overslaande water. Het overslaande water loopt aan weerszijden van de afrastering naar beneden. Enkel bij de grotere golven (volume > 1000 l) werd het gras ter plekke van de afrastering enigszins belast. Het hoge gras ter plekke van de afrastering was dan ook na afloop van de proef nagenoeg droog. Het talud werd lokaal wel wat kaler en aanwezige mollengaten werden beter zichtbaar. Het op de scheiding tussen vakken 10B en 11B aanwezige mollengat werd niet dieper of groter. Ook het mollengat ter hoogte van 12B (halverwege op de scheiding met vak 12A) kende geen ontwikkeling. Onder het rechter geleideschot treedt via een mollengang lekkage op. Met behulp van ingeheide kleine schotjes is de lekkage gestopt. Door de geconcentreerde waterstroom tussen afrastering en geleideschot in combinatie met een aanwezige mollengat treedt er enige erosie op rond de paal van de afvalbak (15D op de rand van de proefstrook). De grote paal (16C) staat in de 'luwte' van de afrastering zodat daar niets is gebeurd. In de vakken 17B en C (kaal rijspoor van schouwpad) treedt al wel erosie tot 10 cm diep op.

5 l/s per m

Na 2 uur

Tijdens de eerste 2 uur wordt de grasmat langzaam steeds opener, maar er treden geen grote veranderingen op. In het laatste uur begint uit het mollengat (15D) water met zand te stromen. In de laatste 10 minuten van de eerste sessie van 2 uur ontstaat t.p.v. een mollengat in vak 16B een heftige zandvoerende 'wel' (zie foto 3.18). In het bovenliggende talud is dan nog geen gat te zien waarin het water verdwijnt dat de zandvoerende wel voedt. Kennelijk is het geïnfiltreerd water dat bij het mollengat in 16B een uitweg vindt. Aan het einde van de eerste sessie heeft zich benedenstrooms van genoemde wellen al een behoorlijke hoeveelheid zand afgezet (zie foto 3.18).



Foto 3.18 Uitspoeling zand ter hoogte van vak 16b

Na circa 3 uur

In deze sessie nam de zandvoerende wel toe en werden significante hoeveelheden zand uit het talud afgevoerd. Al snel begon de grasbekleding in vak 12C over een oppervlak van meerdere vierkante meters zienderogen te zakken (zie foto 3.19). Dit viel samen met het openen van de mollandang op 10 m (strook B). Hierdoor verdwenen grote hoeveelheden water in het talud, waarbij het gat snel groter en dieper (0,5 m) werd.



Foto 3.19 Verzakking talud genomen in de tweede sessie na 20 minuten

Vanaf dat moment kwam het bezwijken van het binnentalud in een stroomversnelling. De grote hoeveelheden water die in het talud verdwenen zorgden voor een toename van de grondwaterdruk bij de teen waardoor de wel steeds heftiger werd en steeds meer zand afvoerde. Het uitspoelen van zand onder de kleilaag het verliep daardoor ook steeds sneller. Na iets meer dan een half uur liep de grondwaterdruk ter plaatse van de zandvoerende wel (16B) zodanig op dat de aanwezige graszode over een oppervlak van een kleine vierkante meter omhoog werd gedrukt (in de vakken 15a/15b en 16a/16b). Dit verschijnsel, het zo genaamde

opbolmechanisme (zie ook foto 3.20), was eerder opgetreden bij proeven op de Friese Waddenzeedijk.



Foto 3.20 Opbolmechanisme

Door de aanwezige gaten liep de opbolling tussen de golven door weer grotendeels leeg, waardoor deze uiteindelijk niet knapte, maar langzaam volliep met gronddeeltjes. Het gevolg was dat de activiteit van het opbolmechanisme langzaam terug liep. Wel werd de zandvoerende wel steeds heftiger. Ondertussen werd het gat in vak 11B snel groter en de zandvoerende wel steeds heftiger. Als gevolg van het wegspoelen van het onderliggende zand zakte het er bovenliggende talud langzaam in elkaar. Na ongeveer 40 minuten braken de eerste brokken grond uit het in 11B ontstane gat (zie foto 3.21). Circa 10 minuten later gebeurde dat op die locatie op grote schaal en werd het erosiegat snel groter. Het ontstane gat breidde zich langzaam uit naar boven (zie foto 3.22).



Foto 3.21 Ter hoogte van vak 11B ontstaat een gat

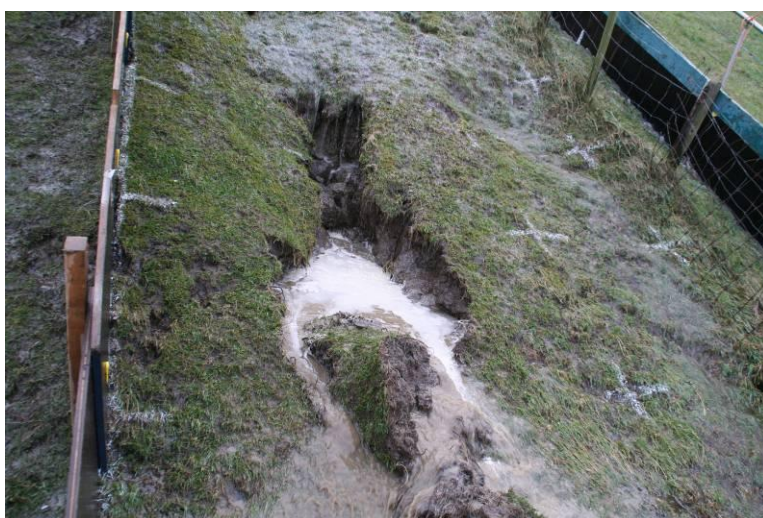


Foto 3.22 Het ontstane gat ter hoogte van vak 11B wordt steeds groter

De schade breidde zich langzaam uit naar boven. Tegelijkertijd nam door de verzakkingen in het talud de spanning in de graszode toe en begon de zode te scheuren (zie foto 3.23). Het talud was bezweken.



Foto 3.23 Het scheuren van de graszode

In overleg met de opdrachtgever maakte een relatief grote golf (2000 l/m) na ruim 2 uur en 56 minuten definitief een einde aan deze proef. Een grofweg 6 m² grote moot grond scheurde af en schoof af in het onderliggende erosiegat (zie foto 3.24 en 3.25).

De rest van het talud was toen nog betrekkelijk weinig aangetast en het doel van deze proef, het testen van de invloed van de aanwezige afrastering, was niet gehaald.



Foto 3.24 Afgeschoven grondmoot (van onderaf gezien)



Foto 3.25 Afgeschoven grondmoot (van bovenaf gezien)

De ontstane schade is de volgende dag gelijk hersteld (zie foto 3.26).



Foto 3.26 Herstel schade

Om alsnog de invloed van de afrastering te kunnen beproeven is in overleg met de beheerder besloten het beschadigde en herstelde talud af te dekken. Hiertoe is het talud vanaf 8 meter over de volledige breedte afgedekt. Bovendien is vanaf de uitstroomopening (0 m) van de simulator het linkerdeel van het talud over een breedte van 2,5 m (strook A, B en de helft van C) afgedekt met geotextiel (zie foto 3.27).

In de overgebleven stook 1,5 x 8 m is de afrastering blootgesteld aan een overslag debiet van 10 l/s per m.



Foto 3.27 Bescherming hersteld talud met geotextiel

10 l/s per m

Bij deze 3x 2 uur durende proef zijn in het resterende deel van het proefvak praktisch geen veranderingen opgetreden. Wel is nog aandacht besteed aan de grote hekpaal in vak 20C. Om de tijdens deze proef beginnende erosie rond deze paal te kunnen volgen is het beschermende geotextiel rond deze paal verwijderd. Aan het einde van deze proef is de opgetreden erosie nog slechts zeer oppervlakkig.

30 l/s per m

Bij deze proef is de eerste sessie van 2 uur 2 keer onderbroken geweest. De eerste keer was na 15 minuten om de cameramast te verplaatsen i.v.m. erosie rondom de hekpaal in 20C waaraan de mast was bevestigd. Deze erosiekuil was na 15 minuten al ca. 25 cm diep. De tweede keer was na 1,5 uur om het taludbeschermende geotextiel te verplaatsen. Het resterende talud rondom de afrastering liet praktisch geen ontwikkeling zien. Echter de erosie onder geotextiel (vak 9D) zorgde voor een afschuiving op de plaats waar het doek gekramd. Het doek is daarom opgenomen en 1,5 hoger (op 6,5 m) opnieuw aangebracht. Daarna is de proef herstart. Na 2 uur



belasten zijn tussen de afrastering en het geleideschot 2 gaatjes ontstaan. Eén op de rand van het beschermende doek op 1,2 m (vak 2D) en één op 4 m (vak 4D; mollandgat). De erosie rondom de hekpaal nabij de teen is toegenomen tot een diepte van ca. 0,4 m.

In de tweede sessie is slechts weinig ontwikkeling van de erosie van de grasmatt waargenomen. Wel lijkt het begin van gaten te ontstaan op 4 en 5,1 m op de overgang van vak C naar D, juist links van de afrastering. Daarnaast is de erosie rond de hekpaal licht toegenomen.

In de laatste sessie ontwikkelen de gaatjes tussen afrastering en geleideschot nauwelijks. Het begin van erosie op de grens van C en D ontwikkelen zich sterk tot een strook van 2,5 m lang en ca. 0,3 m breed waarin de toplaag met een dikte van ca. 0,15 cm is verdwenen (zie foto 3.28). Hierbij zijn ook duidelijk de sporen van mollenactiviteit zichtbaar geworden. De erosiekuil rond de hekpaal nabij de teen leek ondertussen een evenwichtsdiepte van 0,6 m te hebben gekregen.

Foto 3.28 Erosie grasbekleding in vak 5C, 6C, 7C

50 l/s per m

Om toch nog de test met 50 l/s per m mogelijk te maken is, alvorens met die test te beginnen, met paaltjes de gekramde bovenstroomse kant van het geotextiel extra verstevigd. Omdat uiteindelijk de aanvullende maatregel te weinig soelaas bood is na 40 minuten de proef definitief gestaakt. De afsluiting vond plaats met een vervroegde golf van 5500 l per m ("volle bak"). In de laatste 40 minuten is met de eerder genoemde gaatjes tussen afrastering en geleideschot weinig gebeurd, wel er in de laatste halve meter (6 tot 6,5 m) de toplaag van het gras weg geërodeerd (zie foto 3.29) en is tegen het geleideschot een gat (randeffect) ontstaan (zie foto 3.30). Aan de andere zijde van de afrastering is de ontwikkeling van de erosie doorgegaan, met name in de breedte. Wel is ter plaatse van de verstevigingsmaatregelen de diepte toegenomen waardoor uiteindelijk de genomen maatregelen zijn ondermijnd. Dit was het moment om de 50 l proef na 40 minuten definitief te staken.



Foto 3.29 Erosie toplaag



Foto 3.30 Randeffect ter plaatse van geleideschot

Bij de paal van 0,2 x 0,2 m onderaan talud is een uiteindelijk een erosiegat van circa 0,65 m diep ontstaan (zie foto 3.31). In de loop van de proeven zijn ook de horizontale afmetingen van deze erosiekuil toegenomen. Opgemerkt moet worden dat deze paal niet in een kleipakket met een grasmat stond maar in een halfverhard (puin en slakken) en deels met grasbegroeid schouwpad.



Foto 3.31 Erosie rond hekpaal

Ontwikkeling schade

Bijlage 2-B-3 geeft een indruk van de ontwikkeling van de schade in de tijd als gevolg van de verschillende proeven op proefstrook 3.

Uitvoering proeven

In tabel 3.3 is een overzicht van de uitvoering van de overslagproef op proefstrook 3 weergegeven.

Tabel 3-3 Uitvoering proeven proefstrook 3

Debiet (l/s per m)	Sessie		Datum	Start	Eind	Opmerking
1	-		9-mrt	12:41	13:53	
5	1	0 – 2 uur	9-mrt	14:38	16:38	
	2	3 – 4 uur	9-mrt	16:58	18:09	EINDE PROEF
10	1	0 – 2 uur	10-mrt	12:54	14:55	
	2	3 – 4 uur	10-mrt	15:13	17:13	
	3	5 – 6 uur	11-mrt	8:35	10:35	
30	1	0 – 2 uur	11-mrt	11:23	11:38	Proef onderbroken ivm verplaatsen cameramast
			11-mrt	11:48	13:12	Proef onderbroeen ivm noodmaatregel
			11-mrt	14:05	14:35	
	2	3 – 4 uur	14-mrt	9:01	11:04	
	3	5 – 6 uur	14-mrt	11:32	13:29	EINDE PROEF
50	1	0 – 2 uur	14 – mrt	14:11	14:51	EINDE PROEF

3.2.4 Proefstrook 4

Naar aanleiding van het onverwacht snelle falen van proefstrook 3 heeft de opdrachtgever gevraagd ter toetsing van het resultaat een extra proef uit te voeren op een vergelijkbaar talud, maar dan zonder afrastering. Deze strook kon worden gevonden 13,2 m ten zuidoosten van proefstrook 3.

Proefstrook 4 bevindt zich op de kruin en op het binnentalud tot en met het met gras begroeide halfverharde (slakken/puin?) schouwpad. Het hart van de proefstrook bevindt zich t.p.v. kilometer 104,919 van het dijkpalensysteem.

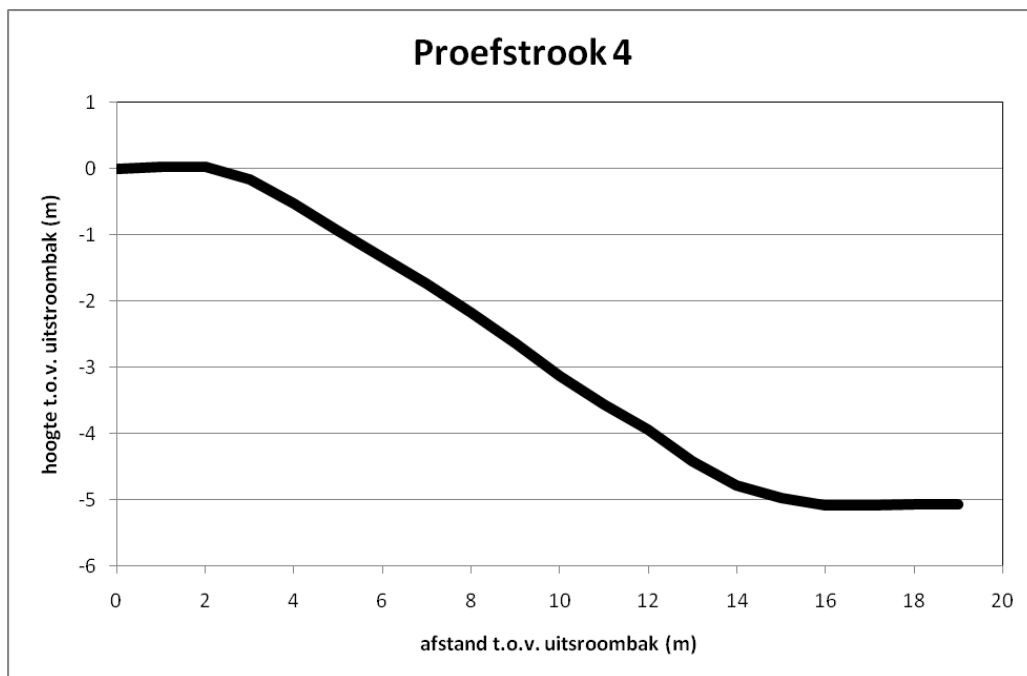
Beschrijving proefstrook (nulsituatie)*Kruin*

De rand van de uitstroombak (= -0,05 m) van de op de kruin geplaatste simulator bevindt zich op 2,05 m van de vooraf gedefinieerde binnenkruinlijn, waardoor ook de kruin grotendeels getest kan worden. Het oppervlak van de kruin is onregelmatig. De 2 m brede kruin ligt nagenoeg vlak docht kent een hele lichte helling naar buiten.

De vegetatie op de kruin is open (kalig), mossig, sterk vertrapt, zwaar begraasd en zeer kort. Op de kruin staan een aantal distelrozetten, waarvan 2 redelijk fors.

Talud en teen

De taludhelling is onregelmatig. Na de ronde overgang kruin-talud (gem. 1:5) is de taludhelling tot 7 m ongeveer 1:2,5. Daarna over 3 m ca 1:2.1, vervolgens over 2 m 1:2,5 en de laatste meter 1:2. De teen bevindt zich op circa 14 m (zie figuur 3.4).



Figuur 3.4 Dwarsprofiel proefstrook 4

Het talud is bijzonder onregelmatig van vorm en vertoont veel hobbels, verlagingen en beschadigingen. De begraasde vegetatie is erg kort en kent een hoge mosbedekking. De aanwezige vegetatie is open maar lijkt door de mosgroei een gesloten aanzicht er is sprake van diverse (beschadigde) kale plekken. Er is duidelijk sprake van molshopen, mollengaten en -ritten. In vak 3C bevindt zich een uitgezakte en vertrapte (schapen) plek. Datzelfde geldt voor 10 B, C en D. In 11B is sprake van een molshoop waarbij zand aan het oppervlak komt. De teen bevindt zich op 14 m. Ook rond de teen en daarna is sprake van molshopen met zand. Vak 14A en 15 A is als gevolg van een rijspoor beschadigd. Na de teen begint een met weinig gras begroeid schouwpad waarop 2 kalige rijsporen zichtbaar zijn.

Resultaten proeven

1 l/s per m

Bij deze 5x versneld uitgevoerde proef is het talud 'schoongespoeld'. Alle losliggende gronddeeltjes en organisch materiaal zijn van het talud weggespoeld waardoor alle kale plekken en mollengaten nadrukkelijker zichtbaar zijn geworden. Dit geldt met name voor de strook (15) direct na de teen (zie foto 3.32).



Foto 3.32 Kale plekken en mollengaten

5 l/s per m

Na 2 uur

Globaal gezien is er weinig veranderd t.o.v. einde proef met 1 l/s per m. Kale plekken worden iets nadrukkelijker zichtbaar. Wel valt (zie foto 3.32) de verandering in de vakken 11B en 11C op en is de situatie direct na de teen verergerd. Daarnaast valt op dat aansluitend aan de teen de vakken 16A, 17A, 18A en 19A kaler zijn geworden en de mollengaten zijn daar tot 5 tot 15 cm diep. Het mollengat in vak 6A (rond 8 cm) is ca. 12 cm diep.



Foto 3.32 De situatie direct na de teen verslechterd langzaam

Na 4 uur

Ook hier is het grootste gedeelte van het talud niet of nauwelijks veranderd. Veranderingen op het talud bevinden zich onderin 4C en 5B (gaatjes van 5cm diep) en links onderin 10B (gaatje van 10 cm diep). In de vakken 11B en 11C zijn de genoemde plekken weer iets kaler geworden. De grootste verandering zien we rond de teen. In 14 A en C is een kale plek ontstaan en in 14 D een gaatje van 14 cm diep (zie foto 3.33). In de vakken 15A, B, C en D zitten nu 5 gaten met een diepte tussen 8 en 18 cm. In 16 A is een oppervlakkige erosie van de grasmat ontstaan. De 2,5 m lange strook erosie in 17A, 18A en 19A is nu tot 10 cm diep.



Foto 3.33 Verdergaande erosie direct na de teen

Na zes uur

Na 6 uur is het grootste gedeelte van het talud niet of nauwelijks veranderd t.o.v de situatie na 4 uur. Veranderingen op het talud bevinden zich in de vakken 10B, 11B, 11C en 11. Daar zijn nu 4 gaatjes met een diepte van 5 cm bijgekomen. In de vakken 15A (20 cm), B (12 cm), C (12 cm) en D (10 cm) is de diepte van de erosiegaten toegenomen (zie foto 3.34). Verder zijn er geen opzienbare veranderingen.



Foto 3.34 Erosiegaten direct na de teen

10 l/s per m

Na 2 uur

Na 2 uur is feitelijk alleen de situatie in 15A en 15C echt veranderd. Vrijwel gehele grasmat in vak 15A is weg en de diepte is circa 22 cm (zie foto 3.35). In vak 15C is nu ook een sprake van serieuze erosie, waarbij alleen de diepte niet echt toegenomen is.



Foto 3.35 Serieuze erosie direct na de teen

Na 4 uur

Na 2 uur is feitelijk alleen weer de situatie direct na de teen echt veranderd. Behalve in vak 15 B is de gehele teen vrijwel bezweken (zie foto 3.36).

In vak 15A is in de rechter onderhoek een serieus gat ontstaan. Op de grens tussen 15C en 16C is een gat tot op het zand ontstaan (zie foto 3.37)



Foto 3.36 Het ontstaan van gaten direct na de teen



Foto 3.37 Een gat tot op het zand (van bovenaf gezien)

Na 4 uur en 45 minuten

Tijdens de derde sessie is de proef na 45 minuten gestaakt omdat de teen op het punt stond om serieus te bezwijken (zie foto 3.38). Vervolgens is de teen vanaf 13 m afgedekt eerst met stalen roosters (hekwerkelementen) om de gaten te overbruggen en vervolgens met geotextiel. Het doel hiervan was om het bezwijken van het talud verder te kunnen onderzoeken.



Foto 3.38 Teen is vrijwel bezweken

Nadat de gaten waren afgedekt (zie foto 3.39) is de proef hervat om de laatste sessie van 2 uur af te ronden.



Foto 3.39 Afdekking teen talud

Na 6 uur

Aan het eind van de 10 ltr proef was er geen sprake van opmerkelijke wijzigingen in het oppervlak van de het talud.

30 l/s per m

Na 2 uur

Ook na de eerste sessie van deze proef was er nauwelijks sprake van erosie van de grasmatt op het talud. Uiteraard trad er wel een lichte vorm van slijtage op.

Na circa 3,5 uur

Al snel in de tweede sessie werd uitspoeling van zand onder het afgedekte deel van de proefstrook ontdekt. Omdat het vermoeden bestond dat het gat onder het geotextiel groter werd

is de proef na 18 minuten onderbroken. Na het weghalen van het geotextiel bleek dat ter hoogte van de teen (rechter bovenhoek vak 15A) een zandvoerende wel aanwezig was. Het gat was toen al vrijwel geheel opgevuld met zand.

De proef is na het aanbrengen van het geotextiel weer hervat en vrijwel direct na de eerste golven zakte ter hoogte van vak 12A het talud zienderogen (zie foto 3.40). Blijkbaar werd dit gedeelte van het talud ondermijnd door het wegspoelen van het zand).



Foto 3.40 Het talud ter hoogte van vak 12A zakt

Ruim 35 minuten na het begin van de tweede sessie ontstond vlak boven de aangebrachte teenbescherming een zandvoerende wel (zie foto 3.41). Deze wel ontwikkelde zich vervolgens in een half uur tot een forse "spuiter" van een zand watermengsel (zie foto 3.42) dat steeds hoger en hoger spoot (op het laatst tot een hoogte van 0,4 m).



Foto 3.41 Zandmeevoerende wel boven afdekking teen talud



Foto 3.42 Spuiter

Ondertussen zakte het bovengelegen talud over een groot oppervlak en kwam en steeds meer trekspanning op de graszode te staan (zie foto 3.43). Ook buiten het proefvak zakte het talud wel met een halve meter.

3 uur 8 minuten



3 uur 10 minuten



3 uur 24 minuten



3 uur 26 minuten



3 uur en 26 minuten



Foto 3.43 Het inzakken van het talud

Na een laatste grote golf is na bijna 3 uur en 28 minuten de proef definitief gestaakt. Dit viel samen met het moment waarop de grasmat ter hoogte van 6, 7 en 8 m zowel in het proefvak als daarbuiten scheurde (zie foto's 3.43 t/m 3.46)



Foto 3.43 Eindsituatie na 3 uur en 28 minuten



Foto 3.44 Schade (van onderaf gezien)



Foto 3.45 Schade van bovenaf gezien



Foto 3.46 Eindbeeld proefstrook 4

Na afloop is met een guts in het talud geprikt. Het onder de graszode aanwezige klei bleek bijna volledig te zijn weggespoeld (zie foto 3.47)



Foto 3.47 Resultaat gutsboring: graszode, lucht, klei en zand

Ontwikkeling schade

Bijlage 2-B-4 geeft een indruk van de ontwikkeling van de schade in de tijd.

Uitvoering proeven

In tabel 3.4 is een overzicht van de uitvoering van de overslagproef op proefstrook 4 weergegeven.

Tabel 3-4 Uitvoering proeven proefstrook 4

Debiet (l/s per m)	Sessie		Datum	Start	Eind	Opmerking
1	-		17-mrt	13:55	15:07	
5	1	0 – 2 uur	17-mrt	15:37	17:37	
	2	3 – 4 uur	18-mrt	8:44	10:44	
	3	5 – 6 uur	18-mrt	11:10	13:10	
10	1	0 – 2 uur	21-mrt	8:41	10:41	
	2	3 – 4 uur	21-mrt	11:09	13:09	
	3	5 – 6 uur	21-mrt	13:45	14:30	Proef onderbroken ivm reparatie
			21-mrt	15:15	16:30	
30	1	0 – 2 uur	22-mrt	8:27	10:27	
	2	3 – 4 uur	22-mrt	11:00	11:18	Proef onderbroken ivm zandverlies
			22-mrt	11:39	12:48	EINDE PROEF

3.3 Erosieverschijnselen olooppoef

Ter afsluiting van het proevenprogramma is met de golfoverslagsimulator een experimentele golfoplooppoef uitgevoerd op het buitentalud. In feite is dit een herhaling van proef 1 op het buitentalud met inkassing, met als verschil dat de simulator nu onderaan het talud stond in plaats van op de kruin. Er werden oplopende golven gesimuleerd, waarbij de stuurfiles van de simulator aan oploopsituatie waren aangepast. In deze situatie liep het water dus eerst de dijk op en daarna naar beneden. De aanleiding van deze proef werd gevormd door het verrassende resultaat van proef 1, waarbij de asfaltberm door neerstromend water werd opgedrukt. De vraag was of dit in de werkelijke situatie met zowel golfoploop als -neerloop ook zo zou zijn.

Beschrijving proefstrook (nulsituatie)

De voor deze proef ingerichte proefstrook bevond zich ter plaatse van kilometer 104.8817 van het dijkpalensysteem, precies 12 m verschoven ten opzichte van proefvak 1. Deze locatie is gekozen met het oog op een zo groot mogelijke overeenkomst met proefvak 1.

Ten behoeve van de olooppoef is de simulator op de steenzetting geplaatst, met de rand van de uitstroombak (= 0 m) 0,2 m boven het asfalt van de buitenberm. In verband met de mogelijkheid van overslag bij de olooppoef loopt de proefstrook over het buitentalud, de kruin en het binnentalud. De geleideschotten lopen echter tot en met de kruin.

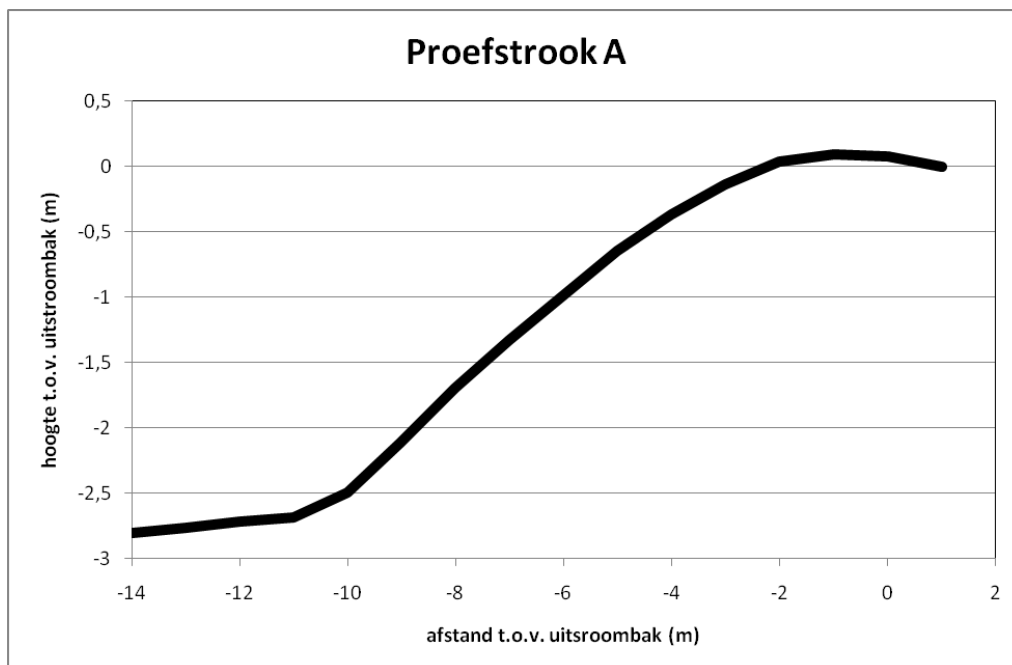
Kruin

De ca. 2,8 m brede kruin bevindt zich, gemeten langs het talud, tussen 12 m en 14,8 m vanaf de rand van de uitstroombak en is enigszins bol. De grasmat is kort (ca. 5 cm) en open.

Talud en teen

Het buitenbeloop verloopt enigszins bol. Na een afgeronde overgang van kruin naar talud, met een gemiddelde helling van ca. 1:5, neemt de steilheid over ca. 3 m toe naar ongeveer 1:3. De volgende 3 m, tussen 4 en 7 m, bedraagt de helling ca. 1: 2,5. De afgeronde teen bevindt zich op ca. 4 m en de ca 1 m brede overgangsstrook naar het talud kent een gemiddelde helling van 1:5 (zie figuur 3.5).

De grasbekleding tussen de buitenkruinlijn (12 m) en 4,5 m is 'redelijk' doch open. De lengte van het gras is tot ca. 10 cm. Op het talud komen veel kalige plekken voor en vrij veel kriskras afdrukken van profielbanden van een tractor of soortgelijke machine. De strook tussen 4,5 m en de rand van het asfalt op de berm (op 2,2 m) is voornamelijk kaal en zeer stenig aan het oppervlak. De rand van de uitstroombank van de simulator bevindt zich op het asfalt van de buitenberm op ongeveer 0,9 m vanaf de rand steenzetting. Het asfalt van de buitenberm ligt onder een flauwe helling van ca. 1:23.



Figuur 3.5 Dwarsprofiel proefstrook A

Binnentalud

Gezien de zeer beperkte overslag die bij deze oploopproof zou optreden, is het binnentalud in het verlengde van bovenbeschreven buitentalud vooraf niet beschreven. Ook om die reden zijn de geleideschotten op het binnentalud niet aangebracht.

Resultaten proeven

De gesimuleerde golfeigenschappen bij alle hiernavolgende proeven zijn: $H_s = 2$ m en $T_p = 5,7$ s. De gesimuleerde waterstanden lopen per proef op en worden uitgedrukt in m (vertikaal gemeten) onder de buitenberm (=x). Elke proef wordt gekenmerkt door de hoogteligging van het 2%-golfoplooppniveau ten opzichte van de uitstroomopening van de bak (= bermniveau).

LET OP: i.v.m. een storing in de hard disk recorder is de tijdsaanduiding van de film (recorder tijd) en de foto's (werkelijke tijd) bij deze proef niet gelijk (verschil is circa 2 uur).

X = 4,5 m; 2%-golfoplooptniveau 0,5 m onder de berm (vuldebiet = 5 l/s)

Na de eerste proef met de waterstand 4,5 m onder de buitenberm is alleen oppervlakkige erosie van 1 à 2 cm geconstateerd in de eerste nauwelijks begroeide 2 m na het asfalt van de buitenberm (tussen 2 en 4 m). Daarnaast zijn de kale plekken nadrukkelijker zichtbaar geworden ("schoonsoelen" talud)

X = 4,0 m; 2%-golfoplooptniveau precies op de berm (vuldebiet = 10 l/s)

Na deze proef is de oppervlakkige erosie (slijterosie) van de eerste proef niet wezenlijk veranderd doch wel lichtelijk toegenomen. Op het begroeide talud (na 4,5 m) is verder niet sprake van zichtbare veranderingen.

X = 3,2 m; 2%-golfoplooptniveau 0,8 m boven de berm (vuldebiet = 20 l/s)

Deze proef is uitgevoerd in 3 sessie van 44 minuten (= equivalent van 2 uur testen in overslagproeven) In de eerste sessie is op de overgang van 4C naar 4D een begin van erosie met een erosiediepte van ca. 7 cm waarneembaar. Daarnaast worden de oppervlakkig aanwezige stenen en puin in het talud beter zichtbaar.

Na de derde sessie is de erosie in de vakken 3, 4 en 5 verder licht toegenomen. Gemiddeld is ca. 5 cm weggesleten. In strook 3 zijn erosiedieptes tot 7 cm ontstaan en is opvallend dat, net als bij de overslagproef van proef 1, een smalle rand (ca. 3 cm) direct tegen het asfalt erosie vertoont tot 4 cm. De lichtgekleurde slakkenfundering is daarbij zichtbaar geworden. Verder is er sprake van een lichte doch doorgaande ontwikkeling in de slijterosie in de niet of nauwelijks begroeide stoken aansluitend aan het asfalt. De 3 meest opvallende erosieplekken zijn:

1. de overgang A/B van de vakken 4 en 5 is een grote kale plek met in het centrum een erosiediepte van 6 cm.
2. de kale plek in 4C is 6 cm diep en
3. ter plaatse van de overgang B/C in vak 5 is het diepste punt in de grote kale plek ca. 9 cm diep/

X = 2,4 m; 2%-golfoplooptniveau 1,6 m boven de berm (vuldebiet = 40 l/s)

Aan het eind van eerste sessie was er aan de linker kant van de teststrook (vak A3) een begin van ondermijning van de asfaltverharding ontstaan. Om te voorkomen dat bij de volgende sessie de oploopproof, zoals bij de overslagproeven op proefstrook 1, voortijdig zou moeten worden gestopt. is de ondermijning afgedicht met snelcement (zie foto 3.48). In deze sessie is het begin van erosie wat uitgebreid. Naast een algehele lichte toename van de slijterosie in de vakken 3, 4 en 5 zijn in de vakken 3B, 4A, 4C en 5B ter plaatse van de ondertussen kale plekken gaatjes van resp. 10 cm, 8 cm, 8 cm en 11 cm diepte ontstaan. Daarnaast is op de overgang 4 A/B een bij de versterking achtergebleven Haringmanblok van 40 x 40 cm² zichtbaar geworden.



Foto 3.48 Reparatie ondermijning met snelcement

In de tweede en derde sessie is het globale beeld gelijk gebleven in die zin dat er alleen wijzigingen zijn opgetreden in de vakken 3, 4 en 5. De slijterosie over het gehele oppervlak is toegenomen waardoor alle oppervlakkige stenen nog beter zichtbaar zijn geworden. In de vakken 3A, 3B, 3B/C, 4C, 5A en 5C zijn nu erosiegaten aanwezig met een diepte van resp. 7, 10, 6, 12, 17 en 18 cm. Op de overgang 5 B/C tekent zich nu nadrukkelijk de vorming van een erosie kuil af. Plotseling gevormde diepere erosiekuilen zijn als regel een gevolg van het uitspoelen van de grotere stenen. Een smalle strook vlak voor het asfalt is nu 5 tot 8 cm diep. In vak 6 is de grasmat over de gehele breedte licht aangetast. Verder op het buitentalud is de grasmat plaatselijk een fractie kaler (opener), maar verder onaantast. De foto's in bijlage C-5 geven het eindbeeld van de 3 afzonderlijke sessies van deze proef.

$X = 1,6 \text{ m}$; 2%-golfoploophniveau 2,4 m boven de berm (vuldebiet = 75 l/s)

Deze proef kenmerkte zich door veel tussenstops van de 3 geplande sessies. De redenen hiervoor waren o.a. te weinig water in aanvoersloot, een noodgedwongen aanpassing van de frequentie sturing van de pomp, een verstopte aanzuigkorf en reparaties aan de geleideschotten als gevolg van de zware hydraulische belastingen en deels als gevolg van randeffecten in de vorm van erosie onder de geleideschotten links en rechts ter hoogte van de vakken 3 en 5. De proef is aan het eind van de tweede sessie, als gevolg van de alsmar groter wordende schade aan het talud in de vakken 3, 4 en 5, definitief afgebroken. Bovendien kostte het steeds meer moeite om de geleideschotten op hun plaats te houden vanwege de erosie onder die schotten.

In de eerste ca. 3,5 uur durende sessie van deze proef is de belasting op de geleideschotten dusdanig toe dat alle zeilen bijgezet moeten worden om de proefopstelling in stand te houden. Daarnaast neemt de erosie in de vakken 3, 4 en 5 nu snel toe. Met name in het midden en bij beide geleideschotten neemt de erosie diepte toe zodat er naast een algehele slijterosie er 3 afzonderlijke erosiekuilen ontstaan. De erosiekuilen aan de randen zijn deels een gevolg van randeffecten, omdat door een toenemende lekkage onder de geleideschotten door er dwarsstromingen ontstaan. Waar mogelijk is deze lekkage door noodmaatregelen beperkt. Deze ontwikkeling zet zich in de tweede sessie voort en aan het eind van die sessie werd besloten de

proef definitief te beëindigen. In die eindsituatie blijkt de grasmat van het buitentalud vanaf vak 6 niet of nauwelijks te zijn aangetast. De erosie heeft zich beperkt tot de zone vanaf het asfalt tot en met vak 5 (zie foto 3.49). Direct na de rand van het asfalt komt de erosiediepte tot 14 cm, en plaatselijk is er tot 15 cm ruimte onder het asfalt ontstaan. Verder is de gemiddelde slijterosie in de aansluitende zone van de vakken 3, 4 en 5 10 tot 15 cm. Ter plaatse van de overgang vak 5B/C, in het midden van de proefstrook dus, is een erosiekuil ontstaan die ca. 45 cm diep is. In 5A is ter plaatse van het geleideschot een gat van 50 cm diepte ontstaan. Aan de linker kant, in de vakken 3D, 4D en 5D is een langgerekte erosiekuil (2,5 m) ontstaan met een diepte die varieert van ca. 45 cm in 5D tot 20 cm in de overgang 3/4D. In vak 5 is over de gehele breedte een steile rand ontstaan, waarboven de grasmat nagenoeg onaangetast is en waaronder het gras volledig ontbreekt.

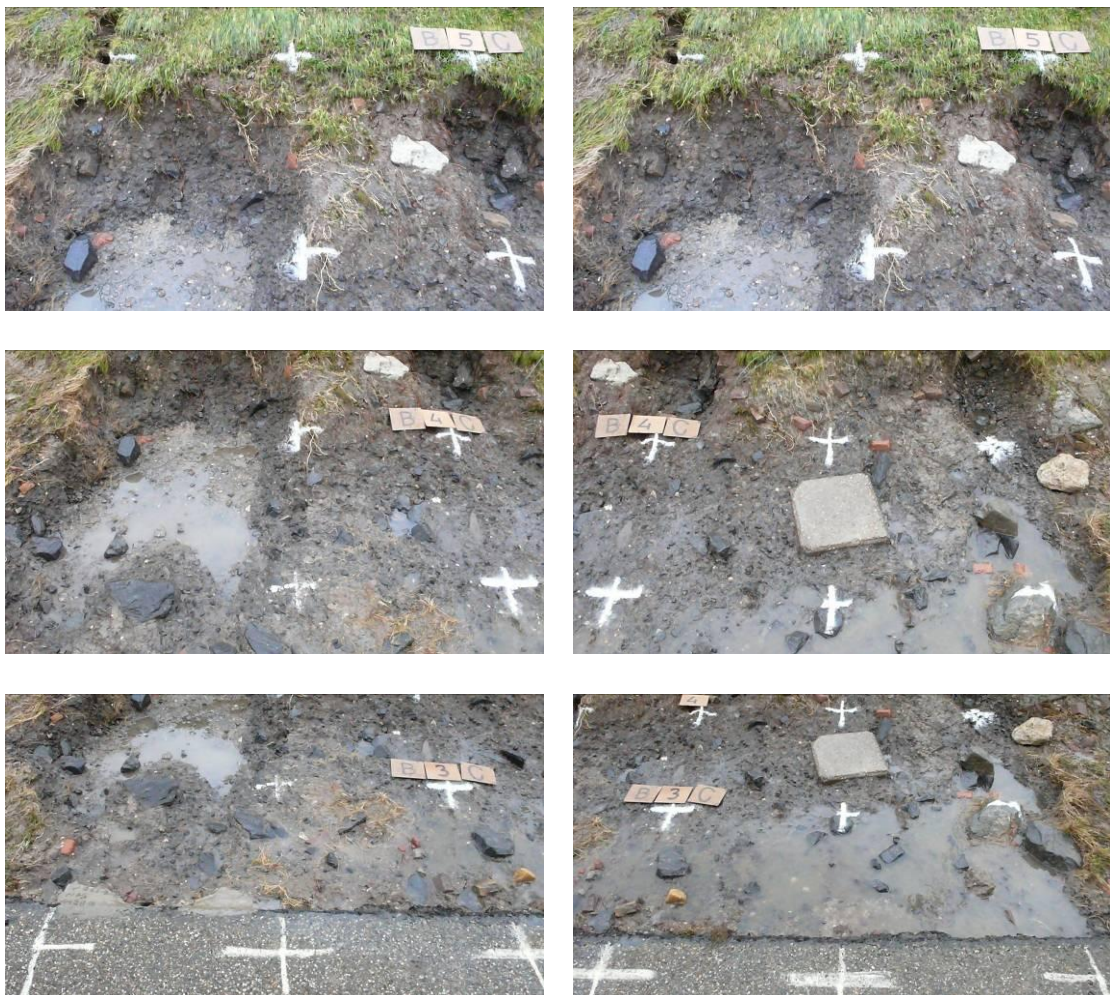


Foto 3.49 Erosie beperkt zich tot de zone vanaf het asfalt tot en met vak 5



Foto 3.50 Eindresultaat oploopproof

Binnentalud

Als gevolg van een beperkt aantal overslaggolven is onderaan het binnentalud ook begin van schade ontstaan. Deze bestaat uit twee erosiepunten ter plaatse van twee mollengaten (zie foto 3.51) en erosie tot op de uit mijnsteen bestaande fundering van het parkeerterrein, in de zone valk voor het asfalt (zie foto 3.52).



Foto 3.51 Erosie binnentalud ter plaatse van mollengaten



Foto 3.52 Erosie fundering parkeerterrein

Ontwikkeling schade

Bijlage 2-B-5 geeft een indruk van de ontwikkeling van de schade in de tijd.

Uitvoering proeven

In tabel 3.5 is een overzicht van de uitvoering van de overslagproef op proefstrook A weergegeven.

Tabel 3-5 Uitvoering proeven proefstrook A

x (m)	Vuldebiet (l/s)	Sessie	Datum	Start	Eind	Opmerking
4,5	5	-	28-mrt	10:29	10:50	
5,0	10	-	28-mrt	10:57	11:39	
3,2	20	1	28-mrt	11:50	12:33	
		2	28-mrt	12:49	13:33	
		3	28-mrt	14:09	14:55	
2,4	40	1	28-mrt	15:09	17:08	Proef onderbroken
		2	29-mrt	8:30	10:15	
		3	29-mrt	10:28	12:14	
1,6	75	1	29-mrt	12:47	18:30	Proef meerdere malen onderbroken
		2	30-3	14:21	18:20	EINDE PROEF

Referenties

- [1] Van der Meer, J.W., February 2011. *The Wave Run-up Simulator. Idea, necessity, theoretical bakground and design.*
- [2] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007. *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen.*
- [3] Alterra, april 2011. *Rapportage onderzoek zodenkwaliteit dijk Tholen.*
- [4] Deltares, april 2011. *Grondonderzoek SBW Golfoverslagproef Tholen*

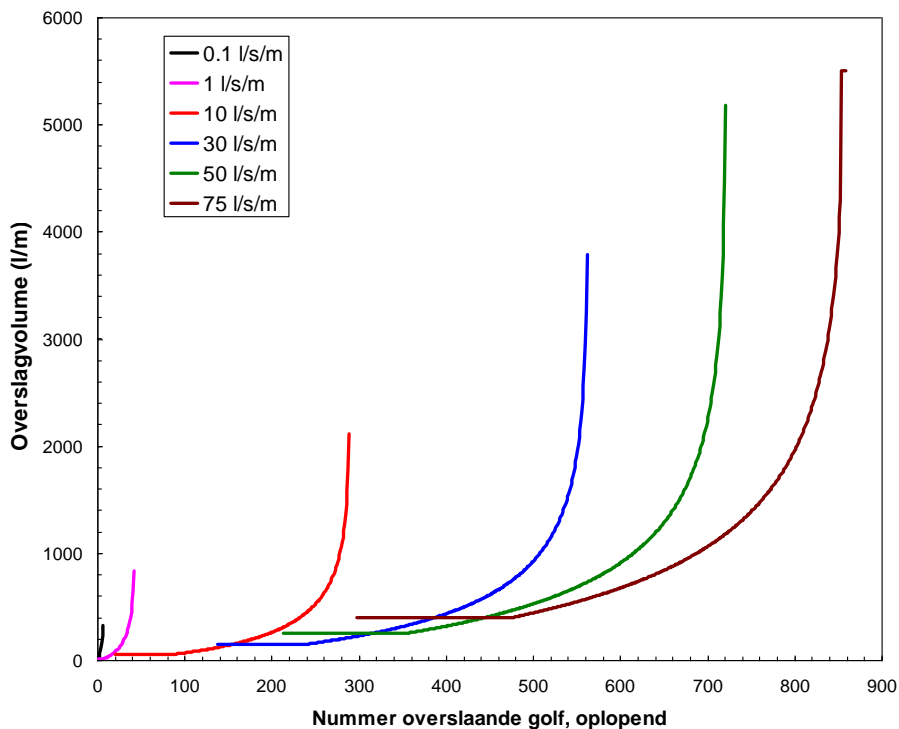
BIJLAGEN

Bijlage 1. Simulatie overslag

Zee-regime

In het "Factual Report. Golfoverslagproeven Zeeuwse Dijken" [Infram, september 2008] is een beschrijving gegeven van de hydraulische belasting en simulatie door middel van de golfoverslagsimulator. De gesimuleerde overslagverdelingen zijn nogmaals gegeven in figuur B-1. Dit zijn de overslagverdelingen die bij de proeven op proefstrook 1, 2, 3 en 4 zijn gesimuleerd. Uitgangspunten hierbij zijn:

- een buitentalud van 1:4;
- een golfhoogte H_s van 2 m;
- een piekperiode T_p van 5,7 s;
- een gemiddelde periode T_m van 4,7 s; en
- een stormduur van driemaal twee uur (onderbrekingen voor schadeopname).



Figuur B-1 Verdelingen van te simuleren overslagvolumes voor een golfhoogte van 2 m.

Bijlage 2. Ontwikkeling schade

B.1 Proefstrook 1

Schadeontwikkeling (van onderaf)

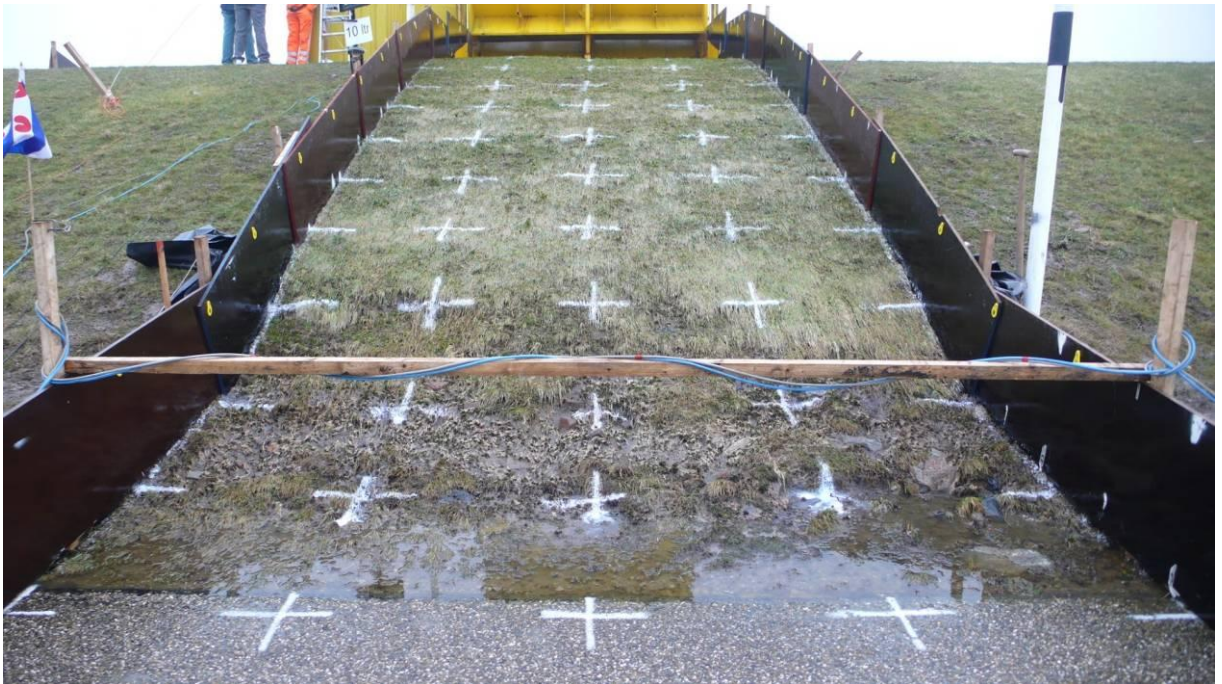
Beginsituatie



Na 1,0 l/s per m



Na 10 l/s per m (2 uur)



Na 10 l/s per m (4 uur)



Na 10 l/s per m (6 uur)

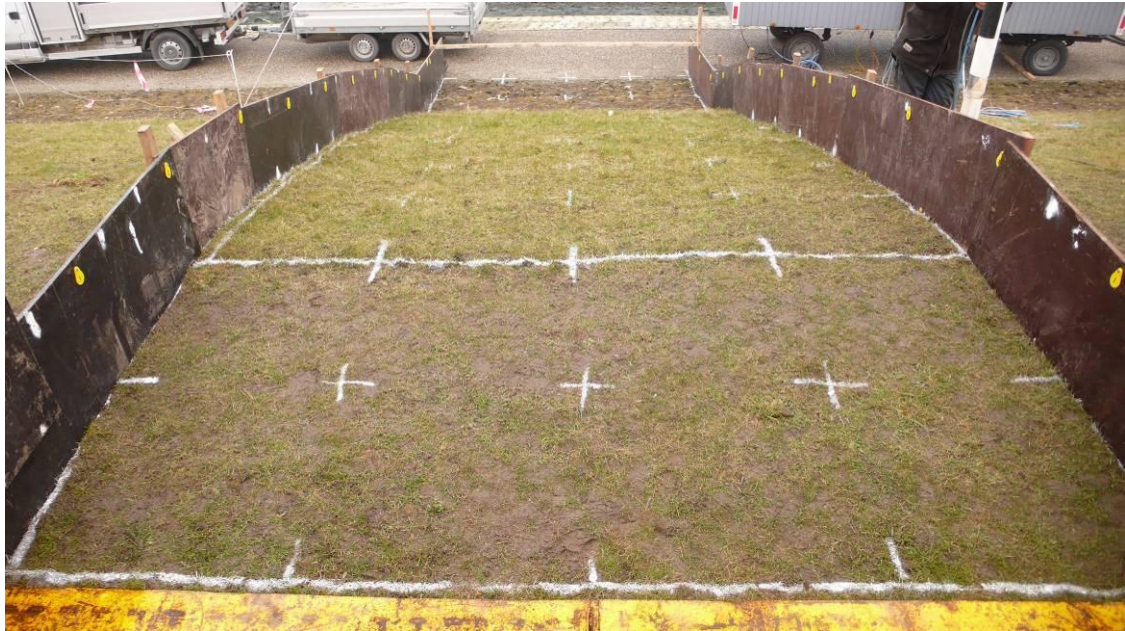


Na 30 l/s per m (einde proef)



Schadeontwikkeling (van bovenaf)

Beginsituatie



Na 1,0 l/s per m



Na 10 l/s per m (2 uur)



Na 10 l/s per m (4 uur)



Na 10 l/s per m (6 uur)



Na 30 l/s per m (einde proef)



B.2 Proefstrook 2

Schadeontwikkeling (van onderaf)

Beginsituatie



Na 1 l/s per m



Na 5 l/s per m (1 uur)



Na 5 l/s per m (2 uur)



Na 5 l/s per m (3 uur)



Na 5 l/s per m (4 uur)



Na 5 l/s per m (6 uur)



Na 10 l/s per m (2 uur)



Na 10 l/s per (einde proef)



Schadeontwikkeling (van bovenaf)

Beginsituatie



Na 1 l/s per m



Na 5 l/s per m (1 uur)



Na 5 l/s per m (2 uur)



Na 5 l/s per m (3 uur)



Na 5 l/s per m (4 uur)



Na 5 l/s per m (6 uur)



Na 10 l/s per m (2 uur)



Na 10 l/s per (einde proef)



B.3 Proefstrook 3

Schadeontwikkeling (van onderaf)

Beginsituatie



Na 1 l/s per m



Na 5 l/s per m (einde proef)



Schadeontwikkeling (van bovenaf)

Beginsituatie



Na 1 l/s per m



Na 5 l/s per m (einde proef)



B.4 Proefstrook 4

Schadeontwikkeling (van onderaf)

Beginsituatie



Na 1 l/s per m



Na 5 l/s per m (2 uur)



Na 5 l/s per m (4 uur)



Na 5 l/s per m (6 uur)



Na 10 l/s per m (2 uur)



Na 10 l/s per m (4 uur)



Na 10 l/s per m (6 uur)



Na 30 l/s per m (2 uur)

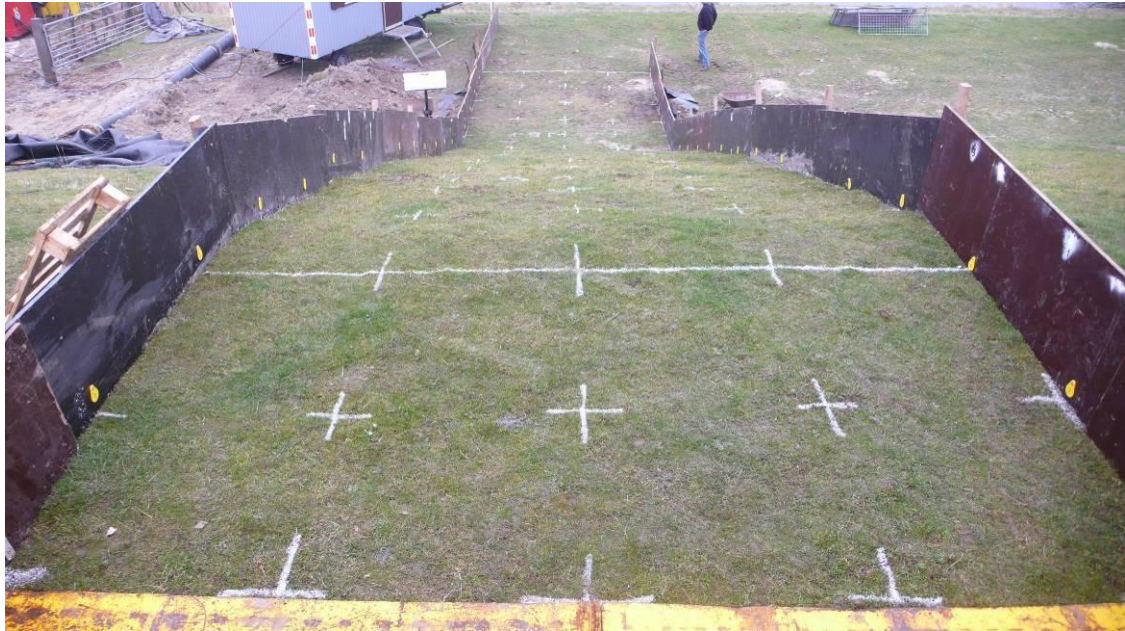


Na 30 l/s per m (einde proef)



Schadeontwikkeling (van bovenaf)

Beginsituatie



Na 1 l/s per m



Na 5 l/s per m (na 2 uur)



Na 5 l/s per m (na 4 uur)



Na 5 l/s per m (na 6 uur)



Na 10 l/s per m (na 6 uur)



Na 30 l/s per m (na 2 uur)



Na 30 l/s per m (einde proef)



B.5 Proefstrook A

Schadeontwikkeling

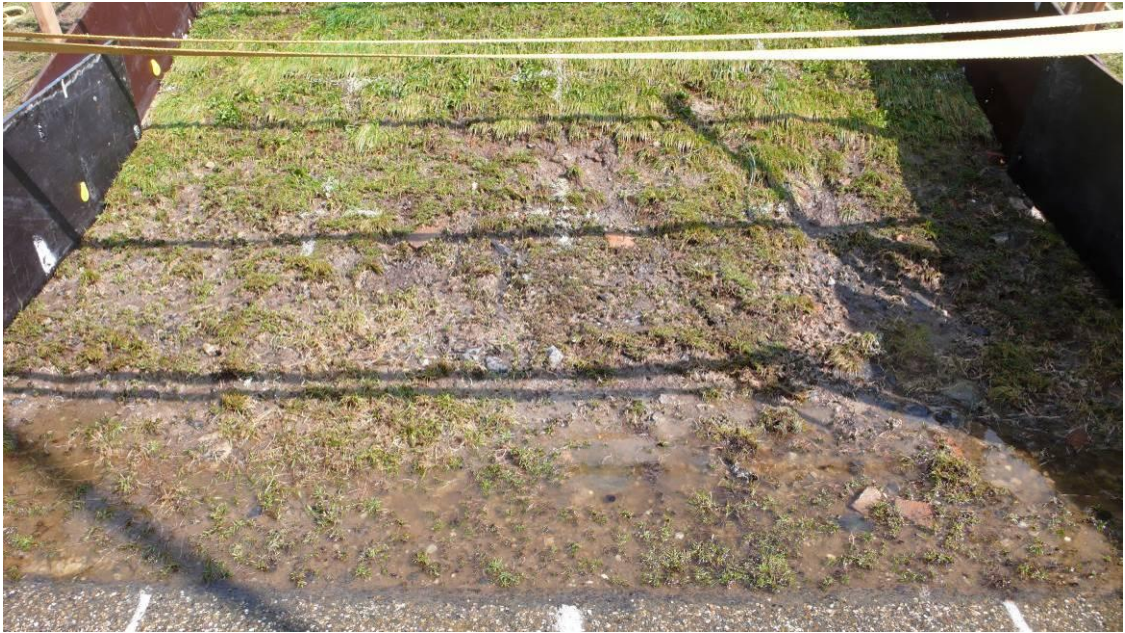
Beginsituatie



Na proef met vuldebiet 10 l/s



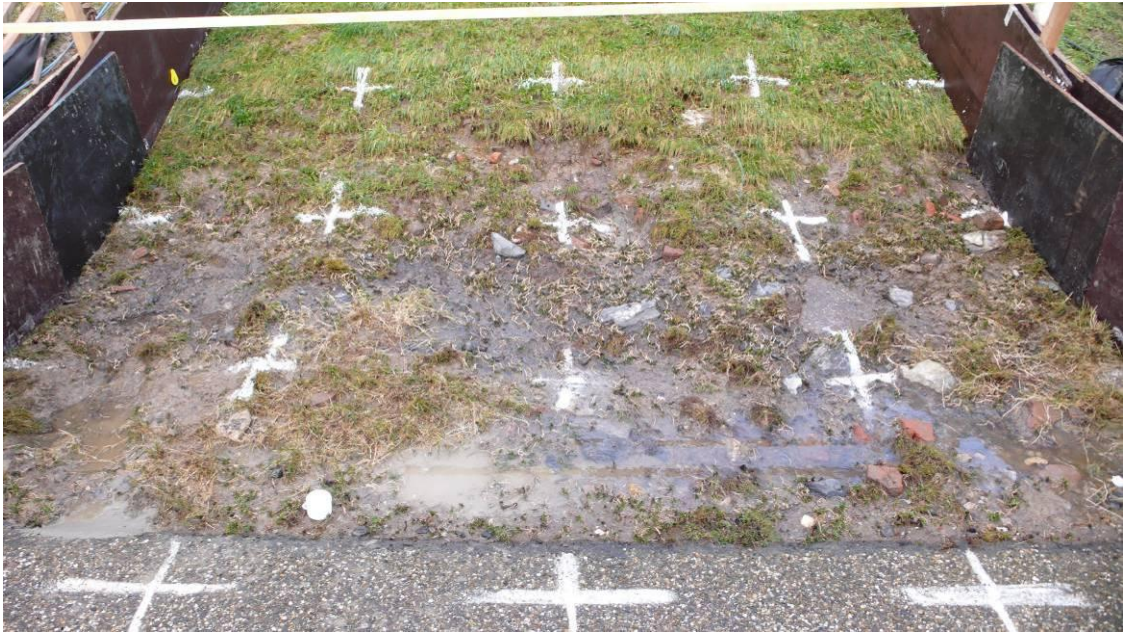
Na proef met vuldebiet 20 l/s (tweede sessie)



Na proef met vuldebiet 20 l/s (derde sessie)



Na proef met vuldebiet 40 l/s (eerste sessie)



Na proef met vuldebiet 40 l/s (tweede sessie)



Na proef met vuldebiet 40 l/s (derde sessie)



Na proef met vuldebiet 75 l/s (tweede sessie = einde proef)



Bijlage 3. Theorie Oplooptroof

In [1] is uitvoerig de theorie omtrent golfoploop en bijbehorende snelheden op het talud besproken. Voor een goed begrip van onderstaande bijlage wordt aanbevolen ook kennis van [1] te nemen, omdat niet alle begrippen, uitgangspunten en conclusies uit [1] in deze bijlage worden herhaald.

Bij een oplooptroof moeten er verschillende snelheden gemaakt kunnen worden, terwijl de oplooptrooftoogte vrijwel gelijk is. Dat kan door de klepopening te sturen. Dit mechanisme is er nog niet (wel op de met expertise van Van der Meer gebouwde simulator in de VS), maar elk volume geeft natuurlijk een bepaalde snelheid en oplooptrooftoogte. De gewenste oplooptrooftoogten kunnen wel worden gesimuleerd, alleen zal een grotere oplooptrooftoogte ook een hogere snelheid hebben. Dit is niet een erg grote afwijking. Voor een pilot kan dit worden geaccepteerd, zodat elke gewenste oplooptrooftoogte in een proef gesimuleerd kan worden.

Wat vastgesteld moest worden is de relatie volume-oplooptrooftoogte. Dit moest proefondervindelijk gebeuren, door met verschillende volumes tegen de dijk op te golven en dan de oplooptrooftoogte te meten. Bij de zogenaamde kalibratieproef (vanaf het parkeerterrein tegen het binnentalud op, strook A_{rest}) is deze relatie vastgelegd. Daarnaast is onderzocht hoe groot de opening onder de uitstroombak moest zijn om al het water af te voeren en tijd die een golf er over deed om onder de uitstroombak van de simulator afgevoerd te zijn. Tevens is bepaald welke volumes gesimuleerd konden worden. Daarnaast kwamen tijdens de proef andere zaken aan het licht kwamen die verbeterd moesten worden om een daadwerkelijke proef te kunnen uitvoeren (organisatorisch, proefopstelling en qua instellingen apparatuur).

Alles was toen voorhanden om een golfoploopstuurfile te maken. Uitgangspunt was een bepaalde golfconditie die een bepaalde 2%-oplooptrooftoogte gaf. Daar kon een bijbehorende waterstand bij worden berekend. Daarna was het mogelijk om elke oplooptrooftoogte van individuele golven te berekenen, ervan uit gaande dat de oploop Rayleigh verdeeld is. Bij elke oplooptrooftoogte kon dan een volume worden uitgerekend en kon de stuurfile worden gemaakt.

Bij Tholen is eerst een kalibratieproef uitgevoerd op het binnentalud om de relatie tussen uitstromend volume en oplooptrooftoogte vast te leggen. Op basis hiervan zijn stuurfiles gemaakt voor de uiteindelijke oplooptroof en is de simulator op de berm en het benedentalud van het buitenbeloop geplaatst. Vervolgens zijn eerst hydraulische metingen uitgevoerd. Hierbij is voor de werkelijke oplooptrooftoogte ook de relatie volume - oplooptrooftoogte vastgelegd welke vervolgens weer vertaald is naar de uiteindelijke stuurfiles voor de simulator. Het wijzigen van de relatie tussen volume en oplooptrooftoogte heeft te maken met de gewijzigde layout (taludhelling, materiaal en berm), en daarnaast zijn er ook snelheden en laagdikten gemeten. Dit was nodig om analyse van de uiteindelijke golfoplooptroof (buiten de huidige opdracht die alleen een observatieproef was) mogelijk te maken.

Figuur B3.1 geeft de gemeten relatie tussen uitstromend volume en oplooptrooftoogte. Hierbij werd visueel de gemiddelde oplooptrooftoogte over zowel de linker- als rechterhelft van het talud vastgesteld. Door het niet volledig vlak zijn van het talud ontstonden er bij de grootste

oploophogten kleine verschillen, maar de trend is duidelijk. De volgende formule geeft goed het verband weer, welke gebruikt is voor het maken van een stuurfile:

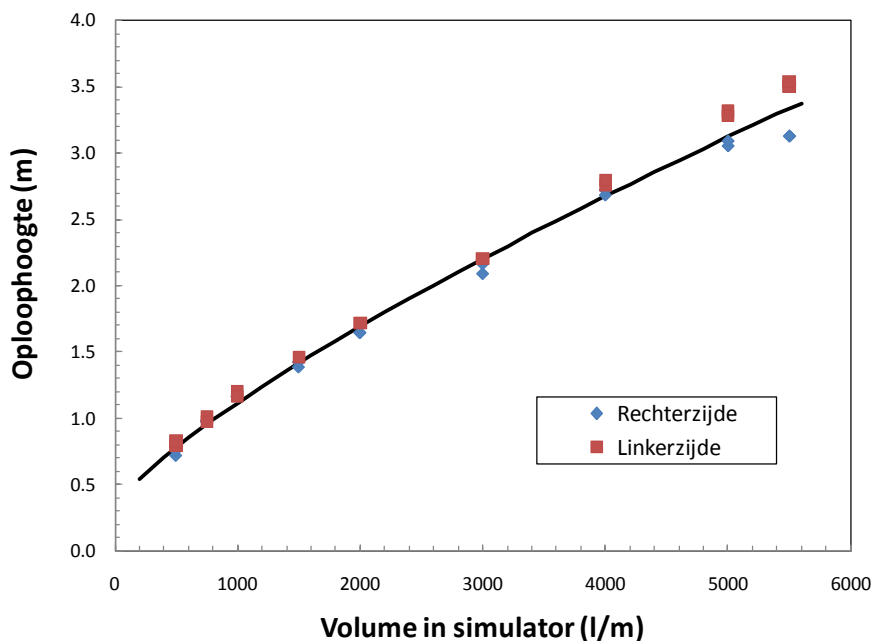
$$Ru = 0.004V^{0.77} + 0.3 \quad (B3.1)$$

Geldig vanaf V=500 l (als V=0 dan ook Ru = 0)

Waarin:

Ru = oploophogte, verticaal gemeten (m)

V = uitstromend volume (m³/m)



Figuur B3.1 Relatie uitstromend volume en oploophogte op het binnentalud 1:2,4

Opzet bij de uitvoering van de proeven

Bij golfoverslag is steeds uitgegaan van een bepaalde golfconditie bij de teen van de dijk, een bepaalde geometrie van de dijk en een bepaald golfoverslagdebiet. Proeven worden dan uitgevoerd van 6 uur, niet omdat deze duur een bepaalde stormduur simuleert, maar om de invloed van de duur van overslag op eventuele schade vast te kunnen stellen. Na elke 6 uur wordt het golfoverslagdebiet verhoogd. Rekentechnisch betekent dit dat dezelfde golfcondities blijven gelden, maar dat de waterstand hoger wordt gelegd.

Bij de meeste golfoverslagproeven is een significante golfhoogte van 2 m aangehouden met een piekperiode van 5,7 s, wat overeenkomt met een golfsteilheid van 0,04. Bij de Vechtdijk is ook de invloed van het hydraulisch regime onderzocht en is uitgegaan van zowel een riviersituatie met een significante golfhoogte van 1 m, als een zwaar zeeregime met een golfhoogte van 3 m. Een grotere golfhoogte geeft minder overslaande golven, maar grotere overslaande golfvolumes dan bij een lagere golfhoogte. Er is voor de eenvoud altijd uitgegaan van een 1:4 buitentalud.

Bij de oploopproof is opnieuw uitgegaan van een significante golfhoogte van 2 m, een piekperiode van 5,7 s en een 1:4 buitentalud. De 2%-golfoploophoogte bij deze uitgangssituatie is precies 4 m. Verondersteld wordt dat de oploopverdeling overeenkomt met een Rayleighverdeling. Dit betekent dat als de waterstand bekend is, alle oploophoogten op het talud ook bekend zijn. In plaats van uit te gaan van een bepaald overslagvolume, moet nu worden uitgegaan van de hoogte op het talud van het 2%-golfoploopniveau. Er zullen dan nog 2% van alle oplopende golven boven dit niveau uitkomen. Door bij een laag gelegen 2%-oploopniveau te beginnen en deze na 6 uur gesimuleerde storm te verhogen, wordt eenzelfde methodiek verkregen als bij golfoverslag.

Bij Tholen bestaat het benedentalud uit een 1:4 steenzetting, dan een 1:20 berm op een hoogte van 4,2 m +NAP en tenslotte een 1:3 boventalud van gras. De berm bestaat deels uit asfalt (fietspad) en deels uit een grastalud en is in totaliteit ongeveer 4 m breed. De uitstroomopening van de simulator werd net op het begin van de berm gezet en de simulator zelf op het benedentalud. De golfloop werd dus gesimuleerd op het grootste deel van de berm en het volledige boventalud. Bij grote volumes (4000 l/m en groter) werd ook overslag gesimuleerd. Foto B3.1 geeft een opzet van het geheel.



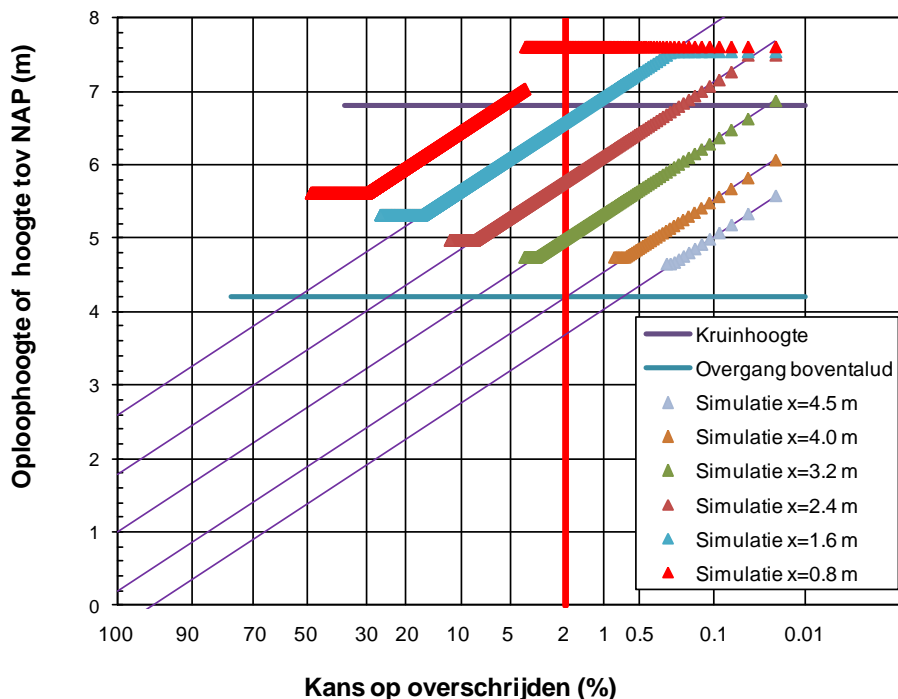
Foto B3.1 Opzet golfoploopproof op het buitentalud

De eerste proef werd uitgevoerd met een waterstand die 4,5 m beneden de berm lag. Het 2%-golfoploopniveau lag dus 0,5 m *beneden* de berm. Alleen de grootste oploophoogten bereikten het boventalud. Figuur B3.2 geeft het principe van de oploopproof. In feite zijn in deze figuur oploopverdelingen uitgezet bij verschillende waterstanden. De verticale as geeft dan ook de oploophoogte van elke golf ten opzichte van NAP. Op de horizontale as is de kans op overschrijden uitgezet volgens een Rayleighverdeling. Daardoor wordt elke oploopverdeling door een rechte lijn weergegeven. Het snijpunt bij 100% geeft in feite de ligging van de waterstand.

In figuur 2.10 zijn ook de berm op een hoogte van 4.2 m +NAP en de kruinhoogte op een hoogte van 6.8 m +NAP weergegeven als horizontale lijnen. De oploopproof speelt zich natuurlijk af

tussen deze twee lijnen. Bij 2% is een verticale lijn getrokken en elk snijpunt met een oploopverdeling geeft de hoogte van dit 2%-golfoploopniveau op het talud. De eerste proef heeft het 2%-golfoploopniveau 0,5 m beneden de berm, de tweede ligt precies op de berm, de derde ligt 0,8 m op het boventalud, en vervolgens 1,6 en 2,4 m op het boventalud. De x in de figuur is de verticale afstand van de waterlijn tot de berm.

Bij een duur van 6 uur en een gemiddelde periode van 4,75 s (berekend met $T_p = 1,2 T_m$) komen er 4547 golven voor. Er komen dan ook 90 oplopen voor die hoger zijn dan het 2% golfoploopniveau. Net als bij een golfoverslagproef wordt de simulator met een bepaald debiet gevuld, alleen is dit nu een willekeurig debiet, afgestemd op de te halen golfoploophoogten en benodigde volumes en niet op een gewenst overslagdebiet. Daarmee is de tijdsduur van een feitelijke simulatie ook niet meer gelijk aan de 6 uur stormsituatie. Bij weinig oplopende golven zal een proef sneller klaar zijn dan bij veel oplopende golven.



Figuur B3.2 Simulatie van golfoploopverdelingen op het boventalud

Daarnaast blijft het zo dat een erg klein volume niet gesimuleerd kan worden, omdat het tijd vergt de simulator te legen. Hoe groter het vuldebiet, hoe groter het minimum volume (= minimum oploophoogte) dat kan worden gesimuleerd. Het is voor deze reden dat de lijnen voor simulatie onderaan een horizontaal gedeelte kennen. Eerst wordt bij elke (kleine) oploophoogte het benodigde volume berekend. Alle volumes kleiner dan het minimum volume worden bij elkaar opgeteld en door het minimum volume gedeeld. Dit geeft dan het aantal minimale oploophoogten dat gesimuleerd moet worden.

Ook is het mogelijk dat een oploophoogte gesimuleerd moet worden, waarbij het gewenste volume groter is dan de capaciteit van de simulator ($5,5 \text{ m}^3/\text{m}$). In zo'n geval wordt de maximale ophoop gegeneerd en het aantal wordt weer zo bepaald dat de benodigde volumes in totaal

weer hetzelfde zijn. Te lage oploophoogten worden daarmee deels gecompenseerd door meer oploophoogten op het maximum niveau dat mogelijk is. De proeven met $x = 0,8$ m en $1,6$ m bereiken duidelijk dit maximum. Voor $x = 2,4$ m is het maar een enkele golf die over de maximum capaciteit van de simulator heen gaat.

Als de oploopverdeling op het boventalud bekend is, rekening houdend met het minimum volume en de maximale capaciteit van de simulator, zijn ook de bijbehorende volumes bekend, waarop gestuurd moet worden. Deze lijst met volumes wordt dan random gemaakt en bepaalt zodoende de stuurlijst voor de simulator.

De sturing op openen en sluiten van de klep van de simulator is eenvoudiger dan bij golfoverslag. Bij golfoverslag telt het volume ook mee dat in de simulator wordt gepompt van het moment dat de klep geopend wordt tot het moment dat de klep weer dicht is. Dit water stroomt namelijk ook het binnentalud af. Bij de oploopproof wordt precies gestuurd op het gewenste volume, want dit volume geeft de juiste oploophoogte. De klep wordt weer gesloten als het water op het talud, dat natuurlijk voor het grootste deel ook weer naar beneden stroomt, onder de simulator in zee is verdwenen. Daartoe is de uitstroomopening ook ongeveer $0,2$ m vanaf de grond gehouden en duurt het voor de grootste volumes ongeveer 15 s voordat alle water weg is en een volgende oploop gesimuleerd kan worden.

Bijlage 4. Hydraulische metingen

Hydraulische metingen overslag

Vanaf de eerste proeven (2007) met de golfoverslagsimulator is geprobeerd om snelheden en laagdikten te meten van overslaande golven. Het bleek dat bestaande meetinstrumenten niet geschikt waren om de hoge snelheden en de laagdikten te meten, met name door de luchtinsluiting en de grote turbulentie. Om deze reden zijn eigen instrumenten ontwikkeld met het idee dat ze simpel en robuust moesten zijn.

Het bleek mogelijk om met een lichte gebogen plank (de "surfplank") de laagdikte te meten (voor het eerst in 2009). Deze plank gaat op het water drijven en de hoekverdraaiing bij het ophangpunt geeft uiteindelijk de laagdikte. Op de Vechtdijk in 2010 werden vijf surfplanken ingezet om op verschillende locaties de laagdikten te meten.

Snelheden van het front van de overslaande golven zijn eerst gemeten met een high speed camera (2009). Op de Vechtdijk werd voor het eerst gebruik gemaakt van enkele "paddle wheels": het systeem waarmee de snelheid van een klein schip wordt gemeten door een klein schoepenrad door de scheepshuid. Elke omwenteling geeft een puls en is een maat voor de snelheid. Deze paddle wheels werden in enkele surfplanken geplaatst en hebben snelheden gemeten bovenin de overstromende golf. Ook is toen een paddle wheel op het talud geplaatst. Deze paddle wheels bleken goed te werken.

Bij de proeven op Tholen was het interessant om ook hydraulische metingen op het binnentalud uit te voeren. Het talud is namelijk erg steil (1:2,4) vergeleken met het talud dat op de Vechtdijk is onderzocht (bovenste deel: 1:3,7; onderste deel: 1:5,2) en mogelijk versnelt de overslaande golf bij een steil talud. Daarnaast is nog nooit de snelheid gemeten op de kruin, dus op het horizontale deel direct na de uitstroom uit de simulator. Dit is wel gedaan voor de "krachtproeven" in België (eind 2010), waar de simulator op een horizontaal vlak was gezet en waarbij golfkrachten op verticale platen zijn gemeten (simulatie van overslag tegen een muur op een boulevard).

Hydraulische metingen waren geen onderdeel van de opdracht en ook SBW kon geen aanvullende financiering leveren. Omdat hydraulische metingen snel kunnen worden uitgevoerd, meestal is het een dag werk, heeft de opdrachtnemer besloten deze metingen in eigen beheer uit te voeren. Om deze reden is de uitwerking van de metingen summier gebleven. Bij de summiere uitwerking in dit hoofdstuk wordt steeds aangegeven waar het zinvol zou zijn bij een vervolganalyse (binnen SBW-kader) meer aandacht te besteden. Ook zijn meer snelheidsmeters aangeschaft, zodat nu op 7 en later op 8 locaties met paddle wheels de snelheid kon worden gemeten.

Op de Vechtdijk werden de volgende relaties voor laagdikte en snelheid afgeleid:

$$h = 0,133V^{0,5} \quad (B4.1)$$

$$u = 5,0V^{0,34} \quad (B4.2)$$

Waarin:

h = de maximale laagdikte van de overstromende golf (m)

u = de maximale snelheid van de overstromende golf (m/s)

V = het volume van de overslaande golf (m^3/m)

De laagdikte werd op de Vechtdijk aan het eind van de kruin gemeten en deze laagdikte bleek iets af te nemen langs het talud. De snelheid bleek vrijwel constant tussen 4 m en 12 m na de kruin, maar het aantal paddle wheels was te beperkt voor een nauwkeuriger conclusie.

Het doel van de uitgevoerde hydraulische metingen is:

- te bepalen wat de laagdikte en snelheid zijn op de kruin, voordat het binnentalud een versnellende werking kan geven; en
- te bepalen hoe het verloop van laagdikte en snelheid is over een steil binnentalud.

Bij het eerste punt zijn ook enkele metingen van de "krachtproeven" in België betrokken omdat deze op een horizontaal talud plaats vonden en dus extra metingen gaven.

Opzet metingen

In België werd één surfplank gebruikt met daarin twee paddle wheels. De opzet is gegeven in Foto B4.1.



Foto B4.1 Proeven in België, 2010, waarbij krachten op verticale platen werden gemeten. De surfplank heeft laagdikte en snelheid gemeten.

Het idee van twee paddle wheels in eenzelfde surfplank is om bij elk gesimuleerd volume de juiste maximale snelheid te meten. Tot nu toe werd er maar een paddle wheel gebruikt. Deze zat aan het eind van de surfplank, net boven de bodem. Voor kleine uitstromende volumes en laagdikten voldoet deze opstelling. Maar bij grote volumes en laagdikten komt de surfplank vrij ver omhoog en dan is het mogelijk dat de paddle wheel uit het water komt en daardoor geen goed maximum van de snelheid kan meten. Dit kan weer worden voorkomen door de surfplank hoger boven het talud te bevestigen, maar dan worden kleine volumes niet goed gemeten.

De eerste paddle wheel zit aan het eind van de surfplank, 2 cm boven de grond. De tweede zit meer in het midden en 8,5 cm boven de grond. Als de eerste surfplank te ver uit het water komt, dan zit de tweede surfplank precies goed. Als de laagdikte klein is, dan is het mogelijk dat de

tweede paddle wheel geen snelheid meet. Het idee is echter dat een van beide paddle wheels goed meet en dat het maximum van beide paddle wheels de juiste maximale snelheid geeft.

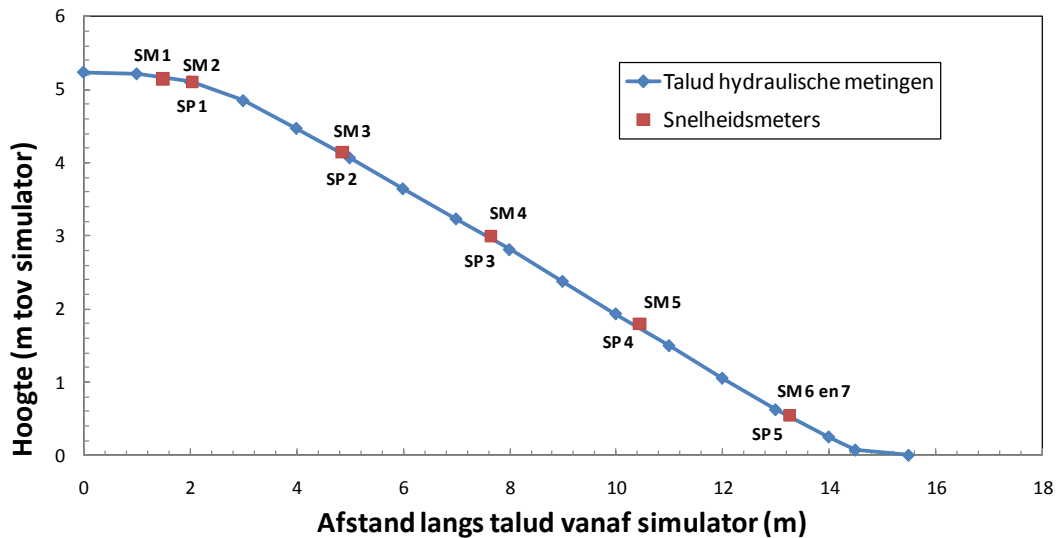
Foto B4.2 en figuur B4.1 geven de opstelling van de hydraulische metingen op het binnentalud bij Tholen. Er is met 5 surfplanken gemeten en in totaal met 7 paddle wheels. Er zaten twee paddle wheels in de bovenste surfplank op het eind van de kruin. Beneden aan het talud was er ook een snelheidsmeter op de grond geplaatst, ter hoogte van de onderste surfplank. De exacte locaties van de surfplanken en paddle wheels is gegeven in tabel B4.1.

Tabel B4.1 Locaties van surfplanken en paddle wheels op binnentalud bij Tholen

<i>Instrument</i>	<i>Afstand achterkant surfplank t.o.v. begin uitstroomopening (m)</i>	<i>Ashoogte t.o.v. bodem (m)</i>
Surfplank 1 + paddle wheel 1 (boven) en 2 (teen)	2,2	1
Surfplank 2 + paddle wheel 3	5,01	0,9
Surfplank 3 + paddle wheel 4	7,81	0,8
Surfplank 4 + paddle wheel 5	10,6	0,8
Surfplank 5 + paddle wheel 6	13,41	0,8
Snelheidsmeter grond (paddle wheel 7)	13,41	0,0



Foto B4.2 Opzet hydraulische metingen binnentalud Tholen met 5 surfplanken 7 paddle wheels



Figuur B4.1 Opzet hydraulische metingen binnentalud Tholen met 5 surfplanken (SP) 7 paddle wheels (SM)

Resultaten metingen

Zoals in de vorige paragraaf is opgemerkt, zijn de hydraulische metingen summier uitgewerkt en dient het aanbeveling een nauwkeuriger analyse in het kader van SBW uit te voeren. Een goede uitwerking zou bestaan uit het visueel beoordelen van de signalen, eventueel een filtering toe te passen en daarna het bepalen van maximale snelheden en laagdikten en de duur van overslaande golven. Hier is alleen uit de signalen voor elk overslaand volume het maximum bepaald, zonder verdere (visuele) beoordeling van het signaal.

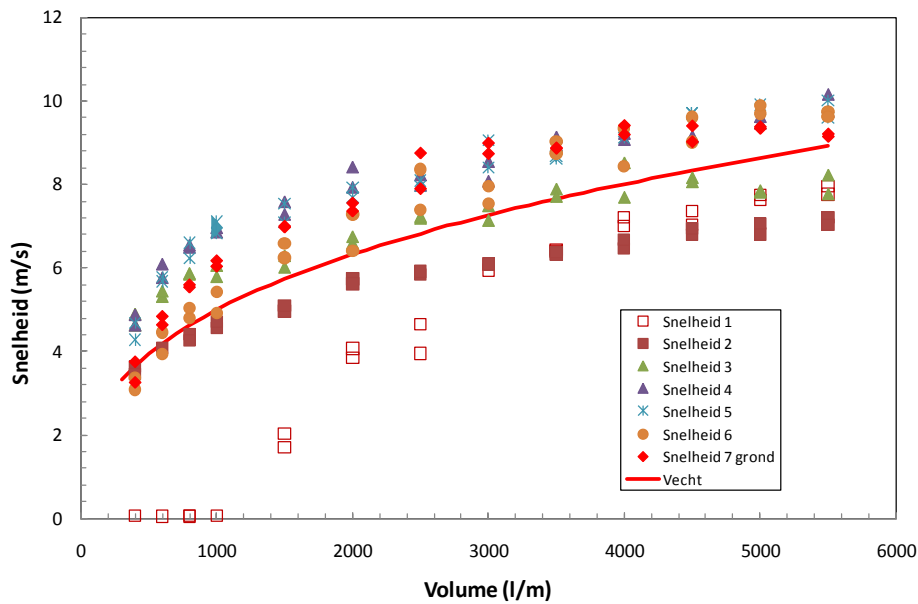
Vaste volumes zijn in oplopende grootte losgelaten op het binnentalud.

Verloop snelheden en laagdikten

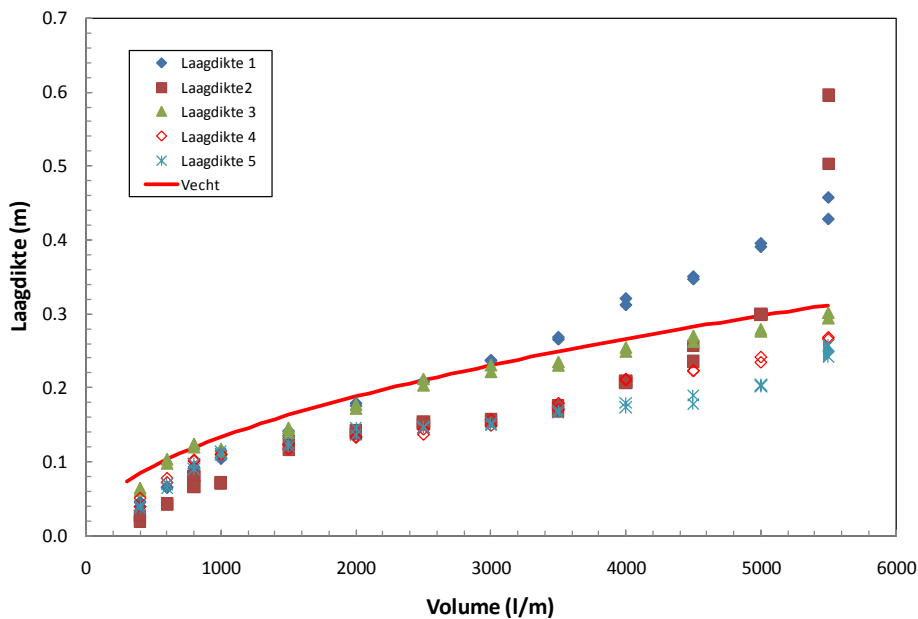
De opzet van de hydraulische metingen bij Tholen is in de vorige paragraaf beschreven. Tabel B4.2 geeft de gemeten maxima van alle 5 surfplanken (laagdikten) en 7 paddle wheels (snelheden). Figuur B4.2 geeft de metingen van de snelheden en figuur B4.3 van de laagdikten. Paddle wheel 1, die wat hoger in de surfplank zit, wordt niet nat bij kleine volumes. Bij de grote volumes geeft deze paddle wheel net iets hogere waarden dan de lager gezeten paddle wheel, die mogelijk bij deze grote volumes net uit het water komt. Duidelijk is dat de snelheid op de kruin lager is dan 2, die gevonden is bij de Vechtdijk. Ook is duidelijk de snelheid significant omhoog gaat langs het binnentalud. Bij de grootste volumes wordt bijna een snelheid gehaald van 10 m/s, terwijl dit op de kruin ongeveer 7 m/s is. Deze versnelling onderaan het talud komt overigens niet voor bij kleine volumes. Daar versnelt de overslaande golf wel bovenaan het talud, maar neemt daarna de snelheid iets af naar beneden. Kennelijk veroorzaakt de wrijving langs het talud bij kleinere volumes/snelheden een afname van de snelheid.

Tabel B4.2 Maximale snelheden u en laagdikte h voor hydraulische metingen Tholen op het binnentalud

Tijd (s)	Volume (l/m)	u_1 (m/s)	u_2 (m/s)	u_3 (m/s)	u_4 (m/s)	u_5 (m/s)	u_6 (m/s)	u_7 (m/s)	h_1 (m)	h_2 (m)	h_3 (m)	h_4 (m)	h_5 (m)
9,30	400	0,06	3,64	4,90	4,88	4,28	3,09	3,25	0,040	0,018	0,061	0,039	0,037
25,22	400	0,06	3,46	4,63	4,63	4,68	3,38	3,74	0,046	0,027	0,065	0,050	0,041
41,42	600	0,05	4,09	5,32	5,77	5,68	3,94	4,63	0,065	0,042	0,104	0,072	0,065
57,01	600	0,05	4,09	5,45	6,09	5,79	4,46	4,84	0,066	0,043	0,098	0,077	0,070
73,26	800	0,06	4,42	5,87	6,50	6,24	4,79	5,59	0,093	0,081	0,120	0,101	0,097
90,08	800	0,05	4,27	5,85	6,55	6,60	5,03	5,54	0,091	0,066	0,124	0,102	0,090
103,06	1000	0,06	4,56	6,06	6,97	6,83	4,92	6,17	0,105	0,071	0,118	0,109	0,113
117,30	1000	0,06	4,72	5,79	6,86	7,11	5,43	6,04	0,115	0,071	0,113	0,110	0,110
130,75	1500	2,02	4,97	6,02	7,29	7,54	6,25	7,00	0,136	0,116	0,146	0,117	0,121
143,77	1500	1,70	5,11	6,29	7,59	7,10	6,58	6,98	0,142	0,128	0,139	0,123	0,125
160,01	2000	4,07	5,74	6,60	8,42	7,69	7,29	7,56	0,180	0,138	0,178	0,134	0,145
175,04	2000	3,84	5,62	6,75	7,93	7,92	6,42	7,36	0,176	0,143	0,172	0,132	0,136
188,70	2500	4,65	5,85	7,19	7,98	8,09	8,36	7,90	0,208	0,154	0,204	0,144	0,146
202,40	2500	3,95	5,92	7,23	8,23	7,97	7,39	8,76	0,209	0,151	0,212	0,137	0,147
216,87	3000	6,10	6,08	7,13	8,55	9,06	7,55	9,00	0,237	0,158	0,231	0,157	0,152
233,03	3000	5,95	6,10	7,49	8,08	8,42	7,97	8,74	0,238	0,155	0,222	0,149	0,150
246,57	3500	6,41	6,32	7,89	9,14	8,62	8,75	8,89	0,266	0,177	0,231	0,171	0,166
266,33	3500	6,45	6,39	7,71	8,94	8,68	9,04	8,87	0,269	0,169	0,235	0,179	0,170
283,57	4000	7,00	6,47	7,69	9,08	9,12	8,44	9,20	0,321	0,209	0,255	0,212	0,180
297,74	4000	7,21	6,69	8,51	9,23	9,27	9,35	9,42	0,313	0,207	0,249	0,210	0,174
313,26	4500	7,05	6,80	8,16	9,14	9,71	9,02	9,03	0,351	0,236	0,271	0,223	0,189
352,56	4500	7,37	6,95	8,06	9,16	9,71	9,62	9,41	0,347	0,257	0,263	0,223	0,177
372,40	5000	7,75	6,82	7,85	9,63	9,81	9,70	9,39	0,391	0,300	0,279	0,241	0,204
392,03	5000	7,63	7,06	7,81	9,47	9,92	9,90	9,35	0,396	0,299	0,277	0,234	0,202
411,10	5500	7,96	7,22	7,77	10,16	10,03	9,75	9,16	0,429	0,503	0,302	0,265	0,241
436,39	5500	7,76	7,03	8,22	9,75	9,60	9,64	9,22	0,458	0,596	0,294	0,268	0,258



Figuur B4.2 Snelheden op het binnentalud bij Tholen

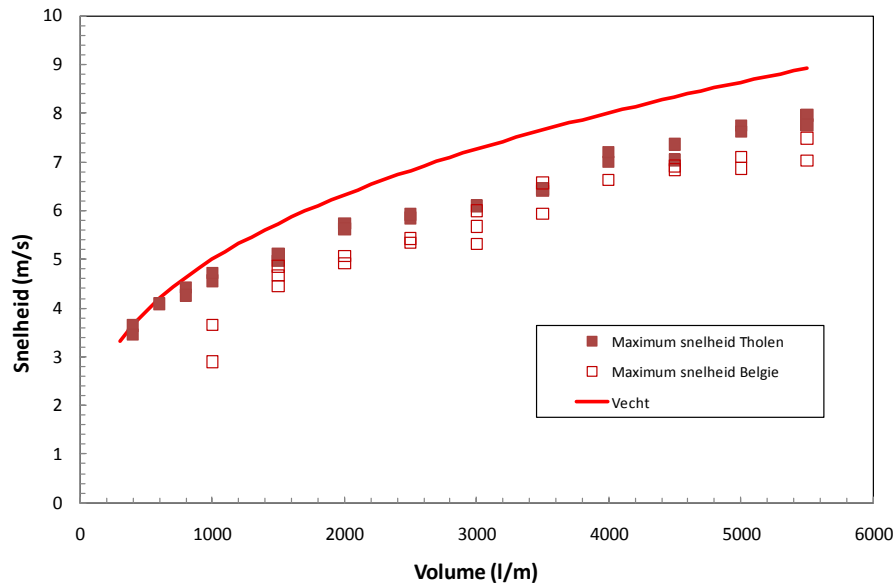


Figuur B4.3 Laagdikten op het binnentalud bij Tholen

In figuur B4.2 komt laagdikte 1 op de kruin redelijk overeen met formule 1 van de Vechtdijk. Ook hier is een sterke toename te zien bij grotere volumes, net als geconstateerd in België. Dit verdient nader onderzoek.

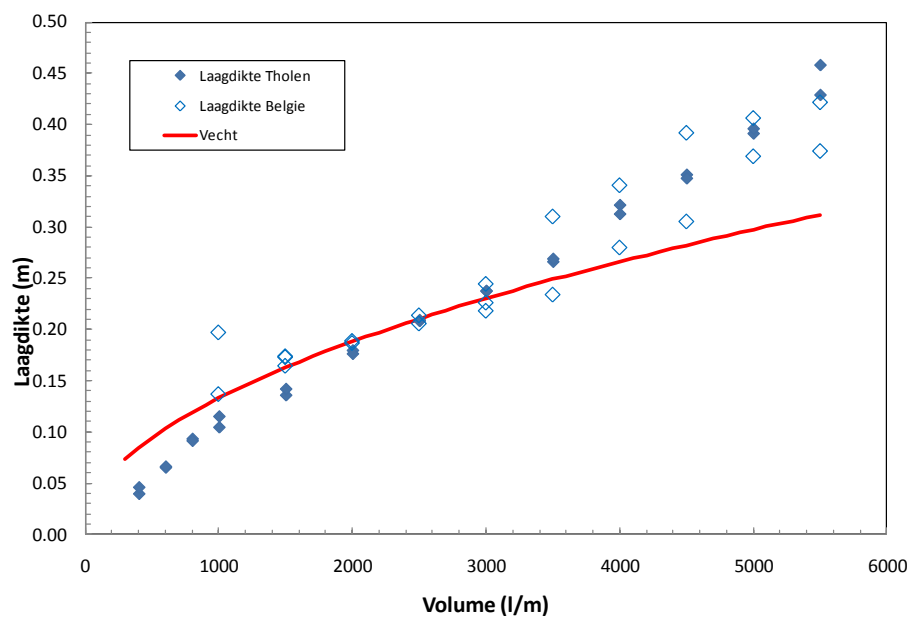
Laagdikte 3, midden op het binnentalud, is groter dan laagdikte 2, wat een beetje vreemd is. Globaal kan worden gezegd dat de laagdikte afneemt langs het talud naar beneden, wat ook verwacht mag worden als de snelheid toeneemt. Voor 5500 l/m geeft laagdikte 2 een afwijkende waarde. Het verdient aanbeveling de signalen beter te bekijken.

Een doelstelling van de hydraulische metingen was om te kijken naar de snelheden op de kruin, of anders gezegd, na de uitstroombuiging van de simulator op een horizontaal vlak. De metingen in surfplank 1 lenen zich hiervoor en kunnen worden vergeleken met de metingen in België. Figuur B4.4 geeft de vergelijking. De metingen komen goed overeen, maar zijn lager dan de relatie van de Vechtdijk. Het is mogelijk een nieuwe relatie vast te stellen.



Figuur B4.4 Maximale snelheden op de kruin bij België en Tholen

Figuur B4.5 geeft de vergelijking voor de laagdikten. Ook hier komen de metingen goed overeen en ook met de formule van de Vechtdijk (formule 1). De formule van de Vechtdijk is ook afgeleid van metingen op de kruin. Nader onderzoek moet plaatsvinden naar de sterke toename bij de grootste volumes.



Figuur B4.5 Maximale laagdikten op de kruin bij België en Tholen

Conclusie

Al met al kan geconcludeerd worden dat de hydraulische metingen tot belangrijke inzichten leiden. De snelheden worden direct groter na het passeren van de kruin. Daarna hangt het van het volume, de snelheid en de helling van het talud af of de snelheid verder toeneemt of mogelijk door wrijving weer afneemt. Het wordt aanbevolen afwijkende metingen beter te bekijken en ook om de theorie van overstromend water op een talud te vergelijken met de metingen.

Hydraulische metingen oploop

Net als bij de hydraulische metingen op het binnentalud zijn in eigen beheer hydraulische metingen op het buitentalud bij golfoploop uitgevoerd. De analyse blijft dan ook beperkt tot de maxima van de gemeten signalen, zonder verder onderzoek naar eigenaardigheden of verklaringen van eigenaardigheden. Later SBW-onderzoek zou de aanvulling moeten geven.

Opzet metingen

Bij de hydraulische metingen op het buitentalud zijn twee surfplanken ingezet en in totaal 8 paddle wheels. Een normale surfplank werd op de kruin gezet en deze kon alleen iets meten als een oplopende golf over de kruin heen ging. Dit was het geval bij volumes van 4000 l/m en groter. Er is een speciale surfplank ontwikkeld die veel ronder is dan de normale surfplank. Deze werd net onder het midden van het boventalud gezet en deze bleef ook drijven als het oplopende water weer naar beneden kwam. Foto B4.3 geeft een overzicht van de opstelling bij de hydraulische metingen.



Foto B4.3 Opzet hydraulische metingen met de nieuwe ronde surfplank

In beide surfplanken was een paddle wheel bevestigd. Daarnaast zijn er 6 paddle wheels op de grond geplaatst in een platte kunststof plaat. Van de metingen op de Vechtdijk is bekend dat een paddle wheel direct tegen de grond nog in de zich ontwikkelende grenslaag bevindt en niet helemaal de maximale snelheid geeft die er in de overstromende laag ontstaat. Deze grenslaag is waarschijnlijk maar enkele centimeters dik en daarom zijn de paddle wheels ongeveer 3 cm boven het talud geplaatst, zie foto B4.4. Op twee plaatsen werd zowel de snelheid in de oploop

als de snelheid in de neerloop gemeten (de paddle wheels kunnen maar één kant op goed meten).



Foto B4.4 Paddle wheels op de grond, 3 cm boven het talud

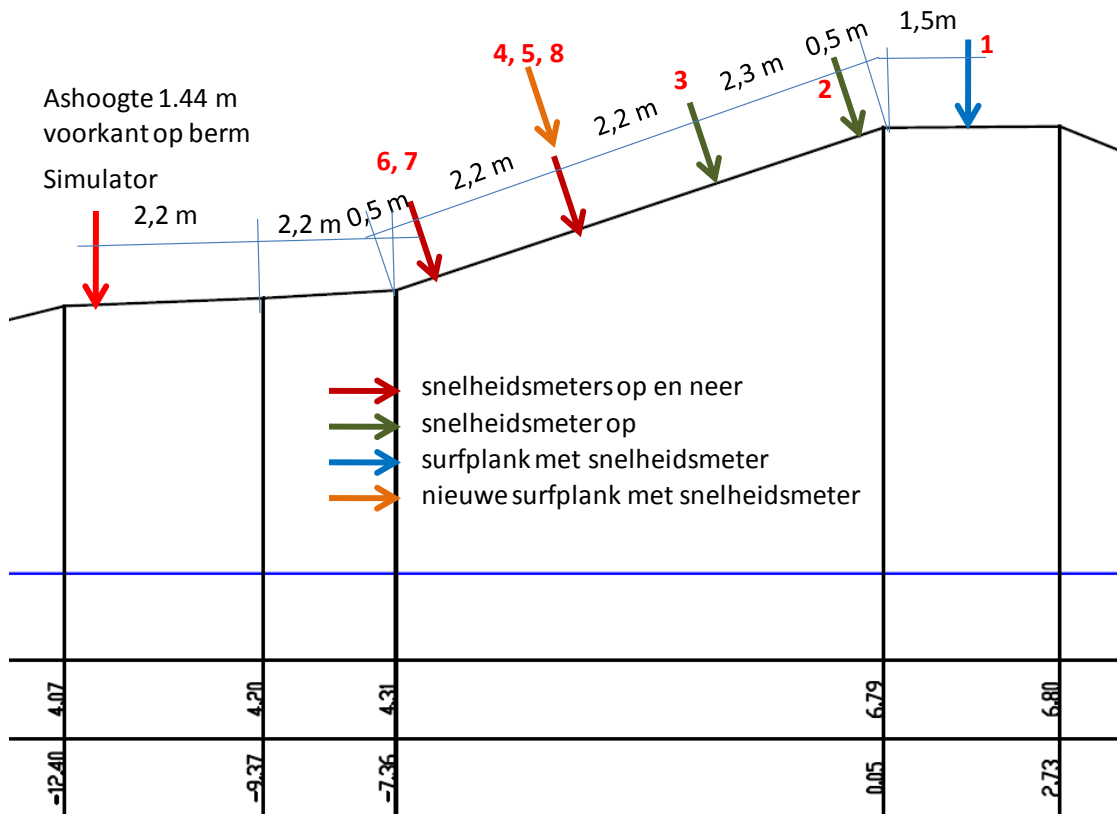
De exacte locaties van de surfplanken en paddle wheels zijn in figuur B4.5 en tabel B4.3 gegeven.

het onderste gedeelte van het boventalud werd zowel de oploop als de neerloop gemeten, waarbij op één locatie ook nog de oplopende snelheid door een paddle wheel in de surfplank.

Daarnaast werd ook de oploophoogte bij elk volume genoteerd. Bij 4000 l/m en meer was de oploophoogte groter dan de kruin en ontstond golfoverslag.

Tabel B4.3 Locaties van surfplanken en paddle wheels op buitentalud Tholen (oploop)

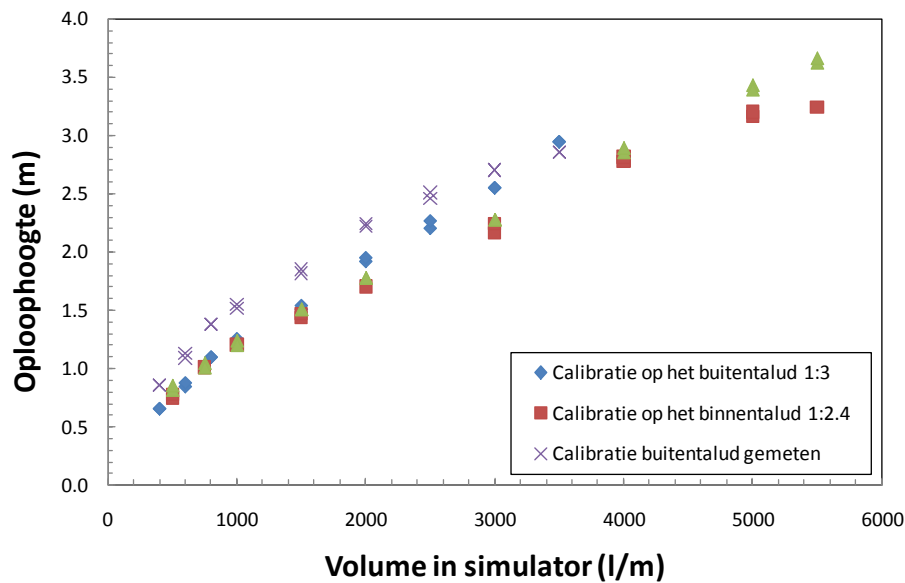
<i>Instrument</i>	<i>Locatie</i>
surfplank + paddle wheel 1	1.5 m op kruin (omhoog)
paddle wheel 2	0.5 m vanaf kruin (omhoog)
paddle wheel 3	2.7 m vanaf kruin (omhoog)
surfplank (rond) + paddle wheel 8	4.9 m vanaf kruin (omhoog)
paddle wheel 4	4.9 m vanaf kruin (omhoog)
paddle wheel 5	4.9 m vanaf kruin (omlaag)
paddle wheel 6	7.1 m vanaf kruin (omhoog)
paddle wheel 7	7.1 m vanaf kruin (omlaag)



Figuur B4.5 Locaties van surfplanken en snelheidsmeters (oploop)

Resultaten metingen

In figuur B4.6 zijn de oploophoogten vergeleken met die voor het buitentalud. Als van een recht 1:3 talud wordt uitgegaan (de blauwe ruiten), dan komen de oploophoogten goed overeen. In werkelijkheid was het boventalud iets gebogen, onderin iets steiler en bovenin iets flauwer. Als daar rekening mee wordt gehouden (de kruisjes), dan komen de oploophoogten net iets hoger te liggen dan bij het steile binnentalud van 1:2,4. Een mogelijke oorzaak kan zijn dat er nu meer horizontale afstand was tussen de uitstroomopening van de simulator en het boventalud, waardoor een betere oploop ontstond.

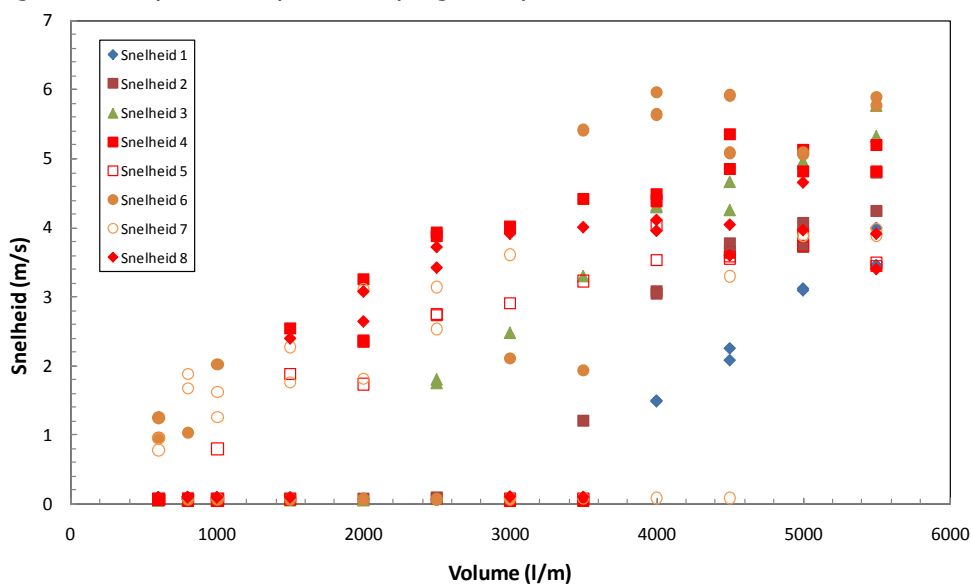


Figuur B4.6 Gemeten oploophoogten op het buitentalud (1:3), vergeleken met het binnentalud

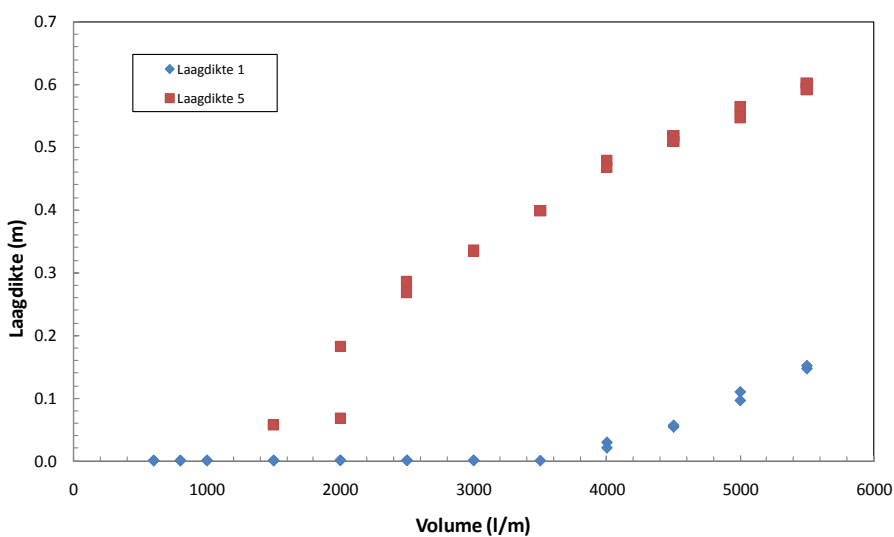
Tabel B4.4 Gemeten maxima van snelheden en laagdikten tijdens oploop

Volume (l/m)	u ₁ (m/s)	u ₂ (m/s)	u ₃ (m/s)	u ₄ (m/s)	u ₅ (m/s)	u ₆ (m/s)	u ₇ (m/s)	u ₈ (m)	h ₁ (m)	h ₅ (m)
600	0,07	0,07	0,05	0,05	0,06	1,24	0,94	0,099	0,00	-0,01
600	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,96	0,78	0,099	0,00	-0,01
800	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	1,88	0,099	0,00	-0,01
800	0,06	0,07	0,06	0,05	0,07	1,03	1,67	0,105	0,00	-0,01
1000	0,06	0,07	0,06	0,05	0,07	2,02	1,62	0,099	0,00	-0,01
1000	0,06	0,07	0,06	0,05	0,79	0,06	1,25	0,099	0,00	-0,01
1500	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,07	2,27	0,099	0,00	-0,01
1500	0,06	0,07	0,06	2,54	1,88	0,06	1,76	2,399	0,00	0,06
2000	0,07	0,06	0,06	2,36	1,73	0,06	1,81	2,645	0,00	0,07
2000	0,07	0,06	0,06	3,25	2,35	0,06	3,10	3,079	0,00	0,18
2500	0,06	0,08	1,80	3,88	2,73	0,06	2,53	3,424	0,00	0,27
2500	0,06	0,07	1,75	3,93	2,74	0,06	3,14	3,722	0,00	0,29
3000	0,07	0,07	2,48	4,01	2,90	0,06	3,61	3,915	0,00	0,34
3000	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	2,10	0,08	0,110	0,00	-0,04
3500	0,06	0,07	0,06	0,05	0,07	1,93	0,08	0,105	0,00	-0,04
3500	0,07	1,20	3,30	4,42	3,23	5,42	0,08	4,009	0,00	0,40
4000	1,48	3,08	4,32	4,49	4,04	5,97	0,08	4,114	0,03	0,48
4000	1,49	3,05	4,30	4,39	3,53	5,65	0,08	3,957	0,02	0,47
4500	2,25	3,77	4,25	4,85	3,58	5,92	0,08	4,046	0,05	0,52
4500	2,08	3,64	4,66	5,36	3,55	5,09	3,30	3,601	0,06	0,51
5000	3,12	4,06	4,94	4,82	3,88	5,07	3,88	4,657	0,11	0,57
5000	3,09	3,72	4,96	5,13	3,74	5,10	3,89	3,967	0,10	0,55
5500	4,00	4,24	5,32	5,20	3,44	5,78	3,99	3,403	0,15	0,60
5500	3,46	4,80	5,77	4,82	3,49	5,90	3,89	3,915	0,15	0,59

De maxima van de snelheden en laagdikten zijn gegeven in tabel B4.4. De gegevens zijn uitgezet in figuren B4.7 (snelheden) en B4.8 (laagdikten).



Figuur B4.7 Gemeten snelheden tijdens golfoploop

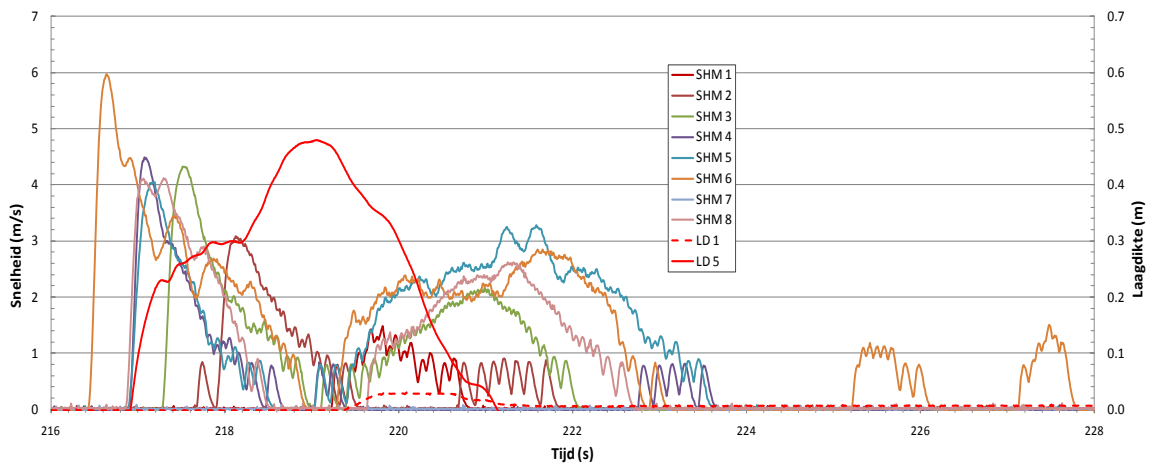


Figuur B4.8 Gemeten laagdikten tijdens golfoploop

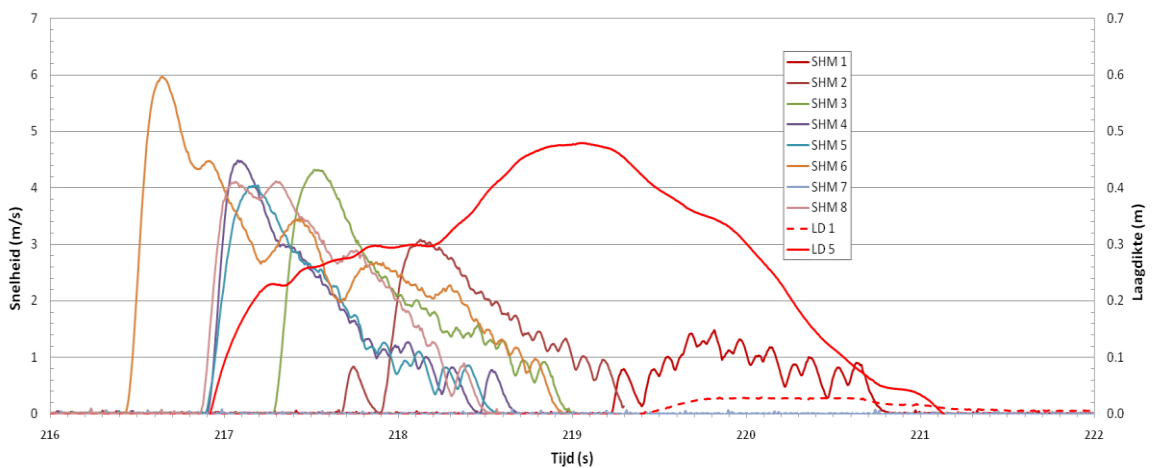
Figuur B4.7 is niet eenvoudig om te begrijpen, deels omdat zowel de golfoploop als de neerloop (snelheidsmeters 5 en 7) in dezelfde figuur staan. Figuur B4.8 is wel duidelijk. Er is een duidelijke trend voor beide surfplanken, waarbij laagdikte 1 pas iets kan meten als de golf over de kruin gaat. Dit is bij 4000 l/m en meer. Laagdikte 5 kan pas een waarde geven als de surfplank op het onderste deel van het boventalud door een golf wordt bereikt. Dit is zo bij een volume van 1500 l/m. Wat opvalt is dat de grootste laagdikte die wordt gemeten wel 0,6 m bedraagt. Een waarde die veel groter is dan bij golfoverslag.

Om zowel figuur B4.7 (op- en neerloop) als de grote laagdikte bij surfplank 5 te begrijpen is één oploop nader beschouwd en wel bij een volume van 4000 l/m. Figuur B4.9 geeft de signalen

tijdens de oploop en de neerloop, tot alle water onder de simulator is verdwenen. Figuur B4.10 geeft alleen de snelheidssignalen waarbij golfoploop is gemeten en geen golfneerloop. Daarbij is de laagdikte ook tijdens golfneerloop gegeven.



Figuur B4.9 Alle signalen bij een volume van 4000 l/m



Figuur B4.10 Signalen van de snelheden tijdens golfoploop

Snelheidsmeters hebben niet bij elke oploop gefunctioneerd, figuur B4.10 geeft dan een nulwaarde.

Bij golfoverslag werd altijd de snelheid naar beneden over het binnentalud gemeten. Aangezien de paddle wheels maar naar één richting correct kunnen meten, waren er op twee locaties twee paddle wheels naast elkaar geplaatst, maar wel omgekeerd. Het vermoeden bestond dat als de "verkeerde" snelheid werd gemeten, dit een negatief signaal zou geven, of geen signaal. Paddle wheel 5 laat echter eenzelfde verloop zien als paddle wheel 4.

Ook lijkt er na de eerste oploop een tweede oploop te ontstaan (van ongeveer 219 s tot 223 s). Figuur B4.9 geeft dan aan dat de onderste snelheidsmeter daarna nogmaals twee oplopen noteert. De laagdiktemeter 5, op het onderste gedeelte van het boventalud (de ronde surfplank) geeft eerste een normaal verloop waarbij de laagdikte snel toeneemt en dan afneemt, maar daarna opnieuw toeneemt tot een nog grotere laagdikte.

Uit de signalen is niet te halen wat er precies gebeurt. Maar met behulp van foto's en vooral videobeelden is het geheel te reconstrueren. Paddle wheels geven een puls af voor elke omwenteling en het aantal pulsen is een maat voor de snelheid. Het blijkt dat als de paddle wheel de "verkeerde" richting opdraait, er eveneens een puls wordt afgegeven. Dus welke richting de paddle wheel ook opdraait er wordt altijd een positieve snelheid gevonden. Figuur B4.9 geeft dus zowel snelheden tijdens oploop als tijdens neerloop en beide worden positief weergegeven!

Uit de videobeelden volgt dat op het moment dat de snelheden ongeveer nul worden (rondom 218,5 tot 219,5 s) het water naar beneden stroomt en dus daarna neerloop wordt gemeten. Op dat moment loopt het water hoger op het talud naar beneden, maar er komt nog steeds water uit de simulator wat het talud op wil. Hierdoor ontstaat er een opeenhoping van water op het onderste deel van het boventalud, rondom de gebogen surfplank 5. Het is juist op het moment dat de neerloop begint dat deze surfplank een toename van de laagdikte laat zien. Zie ook foto B4.5.

Met deze observaties is het mogelijk een figuur te maken waar alleen oploopsnelheden zijn gegeven en dat is figuur B4.10. In deze figuur neemt de oploopsnelheid af hoger op het boventalud. Het water stroomt nog over de kruin (laagdikte 1 en snelheidsmeter 1) als het water op het talud zelf al lang weer naar beneden stroomt.

Snelheidsmeter 5 kan de oploop niet nauwkeurig gemeten hebben (verkeerde richting), maar toch is de afwijking met snelheidsmeter 4, die er naast zit, niet erg groot. Bij het neerloopgedeelte in figuur B4.9 is het eigenlijk alleen snelheidsmeter 5 die de neerloop goed meet. De andere snelheidsmeters geven alleen een indicatie.

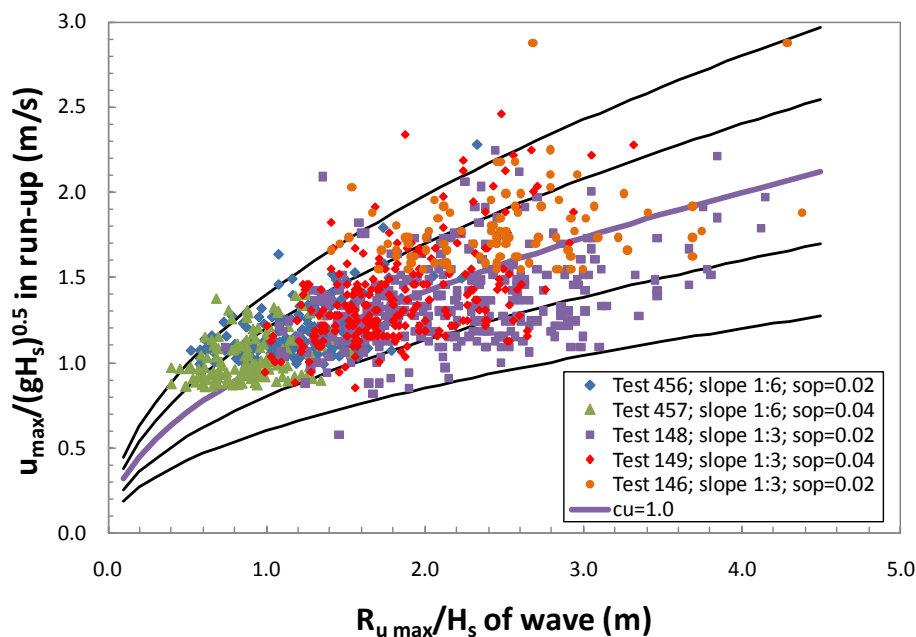
Met bovenstaande is figuur B4.7 beter te begrijpen. De oploopsnelheid onderaan het talud bij snelheidsmeter 6 is het grootst. Dan volgen iets lagere snelheden voor snelheidsmeters 4 (op het talud) en 8 (in de surfplank), maar beide komen goed overeen. De snelheden voor snelheidsmeters 3, 2 en 1 zijn dan steeds iets kleiner en liggen steeds hoger op het talud. Een verdere uitwerking zou in SBW-kader kunnen worden opgepakt.



Foto B4.5 Gesimuleerde golfploop en -neerloop. Volume 5500 l/m.

Conclusie: gerealiseerde snelheden versus theorie

In [1] is aangegeven dat over een redelijk groot traject tijdens de oploop, de snelheid vrijwel maximaal is. Globaal is er vrijwel een maximale snelheid vanaf 15% van begin van de oploop tot 75% van de maximale individuele oploophoogte. De snelheid zelf is niet eenduidig gekoppeld aan de oploophoogte. Bij eenzelfde oploophoogte kunnen verschillende snelheden voorkomen. Figuur B4.11 is overgenomen [1] en geeft het verband en de spreiding tussen oploophoogte en maximum snelheid. Deze kan worden beschreven door een gemiddelde trend en een normale verdeling met een zekere variatiecoëfficiënt.



Figuur B4.11 Maximale oploopsnelheden versus oploophoogte (bron: [1]).

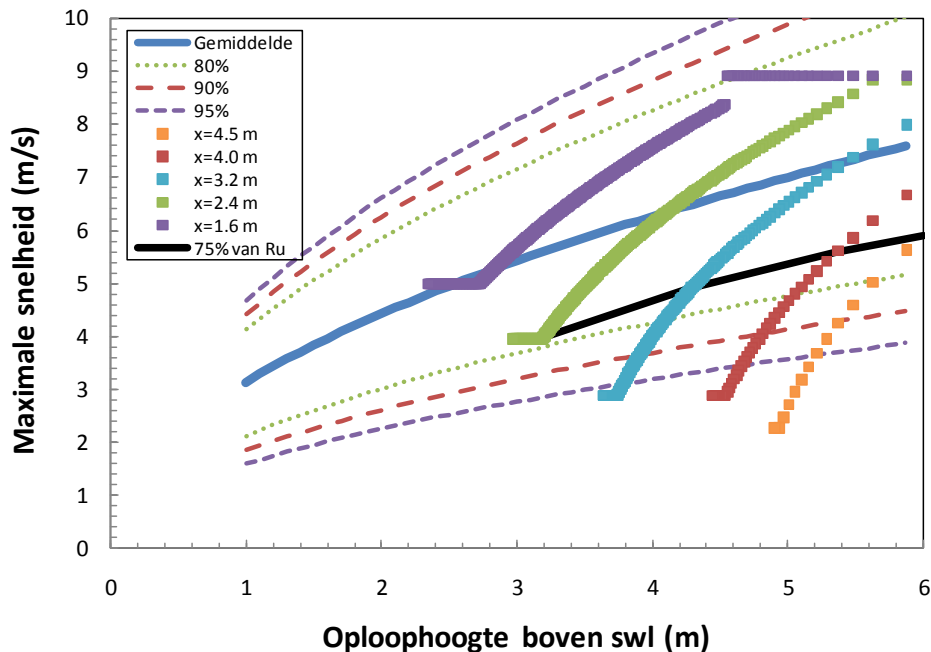
Met de huidige simulator kan de klepopening niet worden gestuurd en daarmee is elke oploophoogte gekoppeld aan één maximale snelheid. Bij onderstaande analyse is uitgegaan van de snelheden volgens formule 2. In een later stadium moet dit worden aangepast aan de snelheden die zijn gemeten op een horizontaal talud, direct na de uitstroomopening van de simulator.

Figuur B4.12 geeft dezelfde gemiddelde trend als in figuur B4.11 en ook zijn 80%, 90% en 95 % betrouwbaarheidsintervallen aangegeven. Met behulp van formule B4.2 zijn de snelheden bij bijbehorende oploophoogten berekend en in de figuur gezet. Als laatste is ook een lijn getekend waarvoor geldt dat beneden dit niveau de snelheid moet afnemen, omdat dit niveau hoger ligt dan 75% van de uiteindelijke oploophoogte.

De proeven met de hoogste waterstand ($x = 1.6$ m; 2.4 m en 3.2 m) liggen mooi rondom de gemiddelde trend. Voor de lagere waterstanden en oplopen liggen de meeste snelheden beneden de 75% grens, dus ook dat is in het juiste gebied.

Over het algemeen genomen kan worden geconcludeerd dat de pilot proef een redelijk goede benadering is geweest van de werkelijke oploop bij geschetste hydraulische omstandigheden.

Opgemerkt wordt dat bij geringe waterhoeveelheden zowel de oploop als terugloop van invloed kan zijn op de knik van bovenbeloop naar berm (of vice versa). Bij grote hoeveelheden ligt er is de watermassa op de berm dusdanig dat terugloop weinig tot geen belasting meer uitoefent op het onderste deel van het talud,



Figuur B4.12 Vergelijking gesimuleerde snelheden met de theorie.

Bij golfoverslag is inmiddels een theorie ontwikkeld om de sterkte van een grasbekleding te kunnen voorspellen. Deze theorie, de cumulatieve overbelasting, gaat ervan uit dat elke overslaande golf die een bepaalde kritische snelheid overschrijdt, een oorzaak is van schade initiatie of vermeerdering. Daarbij is de constatering gemaakt dat een golffront met een grote snelheid een soort impact maakt op het grastalud. Het is vooral het overtrekken van dit golffront dat van belang is en natuurlijk de snelheid van dat golffront.

In principe zou de cumulatieve overbelastingstheorie ook gebruikt kunnen worden bij golfoploop. De snelheden op een bepaald punt zijn bekend. Dit zijn dan wel de oploopsnelheden. Bij oploop speelt ook de neerloop een rol. Nadat water tot het hoogste punt is opgelopen, zal het over het talud naar beneden stromen. In eerste instantie werd gedacht dat bij het buitentalud zowel met oploop als neerloop rekening gehouden zou moeten worden. De oploopproef laat echter zien dat er alleen bij de oploop zelf een overtrekkend golffront is. Na de oploop gaat de hele watermassa op het talud naar beneden stromen, zonder dat er een golffront aanwezig is. Deze constatering leidt tot de aanname dat alleen de oploopsnelheid belangrijk is om de theorie van cumulatieve overbelasting toe te kunnen passen op het buitentalud.

Bijlage 5. Gras- en bodemonderzoek

In het kader van het programma Sterkte en Belastingen Waterkeringen (SBW) is voor het project Golfoverslag en Sterkte Grasbekledingen onderzoek uitgevoerd naar de zodekwaliteit door Alterra. Tevens is door Deltares grondonderzoek uitgevoerd.

Zodekwaliteit

Ten noordwesten en ten zuidwesten van de op het zowel binnen- als buitentalud gelegen trap heeft Alterra de zodekwaliteit op basis van het gevoerde beheer, de vegetatiesamenstelling en de doorworteling vastgesteld. De volgende locaties zijn onderzocht:

- Locatie A: ter hoogte van proefstrook 1 op het binnentalud;
- Locatie B: ter hoogte van proefstrook HM op het buitentalud; en
- Locatie C: ter hoogte van proefstrook 3 op het binnentalud.

In tabel B5.1 is het op basis van de verschillende deeloordelen gebaseerde eindoordeel weergegeven.

Tabel B5.1 Deeloordelen en eindoordeel zodekwaliteit (bron: [3])

Locatie	Deeloordeel zodekwaliteit			Eindoordeel zodekwaliteit
	beheertype	vegetatiesamenstelling	doorworteling	
A	slecht	slecht	matig-slecht	slecht
B	slecht	slecht	matig*	matig
C	matig	slecht	slecht	slecht

* ter hoogte van de inkassing kon de doorworteling niet worden bepaald vanwege het aanwezige puin. Aangenomen mag worden dat door dit puin de doorworteling ter plekke (zeer) slecht is. Wanneer dit oordeel wordt betrokken bij het eindoordeel dan zou ook voor locatie B het eindoordeel 'slecht' kunnen luiden.

Op grond van het uitgevoerde onderzoek kan de zodekwaliteit van het onderzochte dijktraject als 'slecht' worden getypeerd.

Voor meer informatie over het door Alterra uitgevoerde onderzoek wordt verwezen naar [3]. Deze memo is ook op bijgevoegde DVD-ROM te vinden.

Bodemonderzoek

Ten hoogte van proefstrook 1 (buitentalud) en 2 (binnentalud) zijn door Deltares handboringen uitgevoerd en is de kleikwaliteit in de zode bepaald.

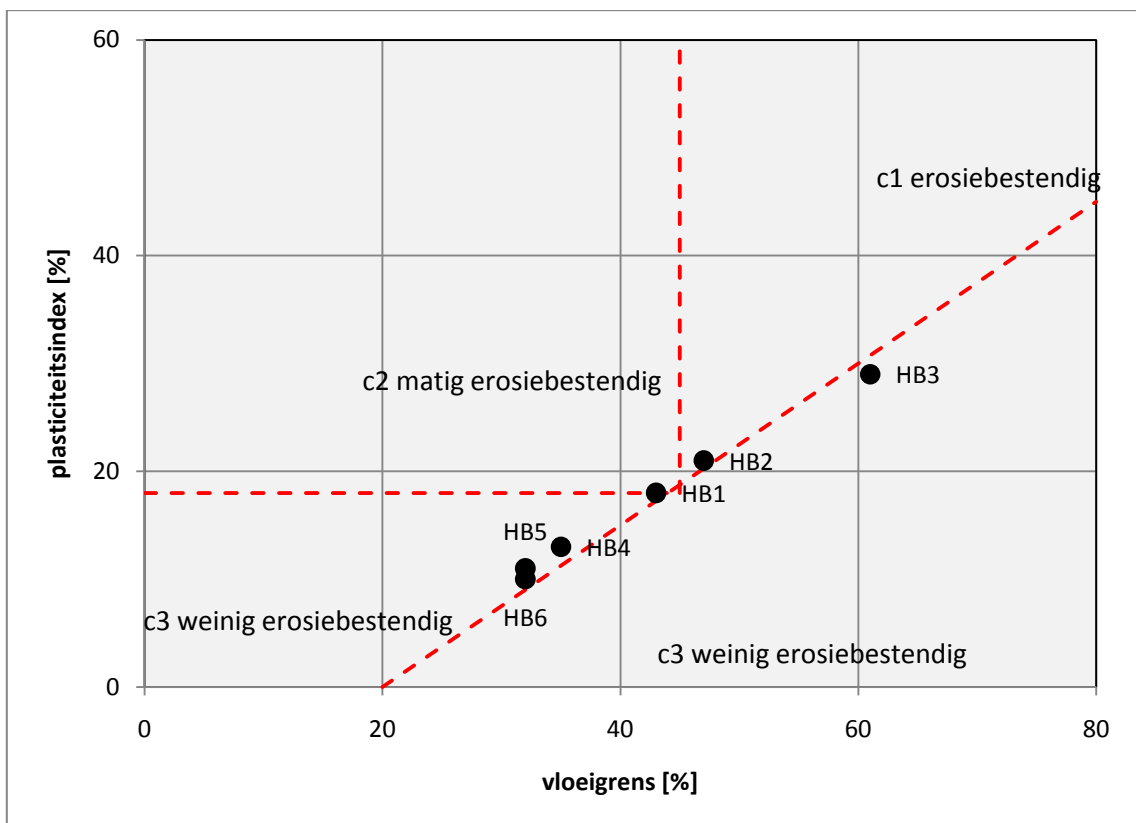
Op het buitentalud zijn 3 handboringen tot 2 m onder maaiveld uitgevoerd. De aanwezige kleilaag (matig siltig) was circa 1,0 m dik.

Ook op het binnentalud zijn 3 handboringen uitgevoerd. Hier werd tot 2 m onder maaiveld klei (matig siltig) aangetroffen.

Voor het bepalen van de kleikwaliteit van de zode zijn bij elke boring monsters van de bovenste 10 cm van de boring genomen. De op het buitentalud aangetroffen klei bleek 'weinig erosiebestendig'. Op het binnentalud is de kleilaag zeer heterogeen: de erosiebestendigheid van de klei varieert van 'weinig erosiebestendig' tot 'erosiebestendig'.

NB: HB2 bevindt zich net boven de lijn die de scheiding vormt tussen c1 en c3. Opgemerkt wordt dat een andere interpretatie van de parameters ervoor kan zorgen dat het punt ook onder de scheidingslijn komt te liggen en dat de erosiebestendigheid van klei dan 'weinig erosiebestendig' en dus de kwaliteit van alle op het binnentalud genomen monsters behoren tot de categorie c3.

In figuur B5.1 is voor de verschillende bij de handboringen genomen monsters de erosiebestendigheid van de klei in de zode weergegeven. Handboring 1 t/m 3 zijn op het binnentalud gemaakt, handboringen 4 t/m 6 op het buitentalud.



Figuur B5.1 Erosiebestendigheid van de klei in de zode

Voor meer informatie over het door Deltares uitgevoerde onderzoek wordt verwezen naar [4]. Deze memo is ook op bijgevoegde DVD-ROM te vinden.

Bijlage 6. Geschematiseerd dwarsprofiel

