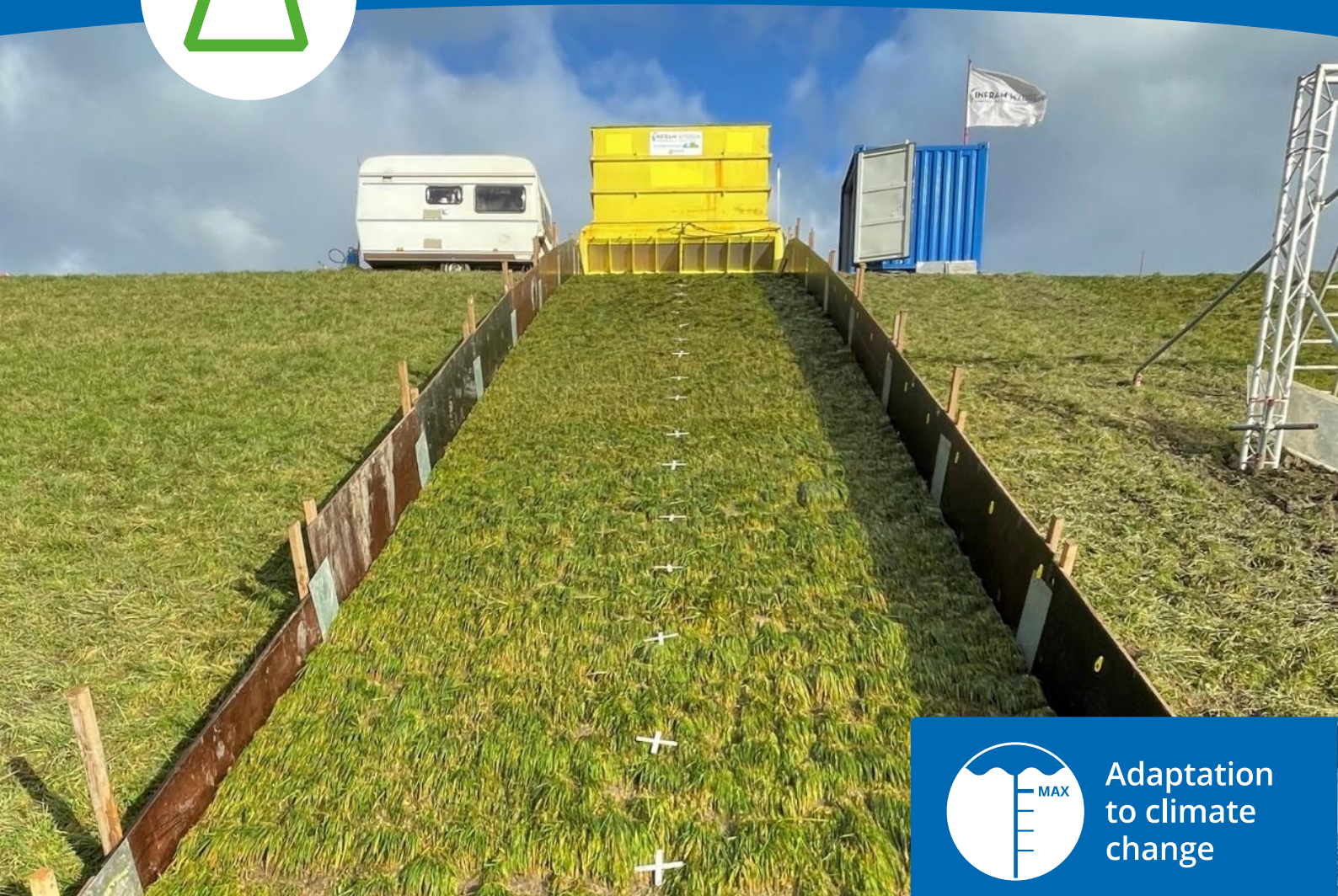


# FACTUAL REPORT GOLFOVERSLAG- EN GRASTREKPROEVEN POLDER2C'S



Adaptation  
to climate  
change

# **FACTUAL REPORT GOLFOVERSLAG- EN GRASTREKPROEVEN POLDER2C'S**

**Version:**  
20230329

**Authors:**  
Ellen Daamen, Lydia Heida, Roy Mom, Cris Wauben

## INTERREG Polder2C's project

The INTERREG Polder2C's is an international research project within the framework of the updated Sigmaplan for the river Scheldt. The Hedwige-Prosperpolder will be transformed into tidal nature. Depoldering of Hedwige-Prosperpolder offers a unique testing ground, the Living Lab Hedwige-Prosperpolder, for flood defence and emergency response experts. In this environment current and innovative techniques, processes, methods, and products can be tested for practical validation. Thirteen project partners, led by the Dutch Foundation of Applied Water Research (STOWA) and the Flemish Department of Mobility and Public Works (DMOW, Flanders Hydraulics Research), are working together. Together, they aim to improve the 2 Seas regions' capacity to adapt to the challenges caused by climate change.

### Flood Defence

The rising sea level is a serious threat to the countries in 2 Seas region. How strong are our current flood defences? What is the impact of environmental elements such as the weather, the presence of vegetation or man-made objects on our flood defences? To answer these questions numerous destructive field tests are carried out in the Living Lab to validate flood defence practices. The project entails in situ testing, guidance on levee maintenance and validation of flood defence infrastructure.

### Emergency Response

We aim to improve emergency response by developing the right tools for inspection of water defences, risk evaluation and solutions for flooding. If our water defences do not operate as designed, we must take the right measures to prevent flooding of valuable areas. The Hedwige-Prosperpolder Living Lab offers unique possibilities to exercise emergency management in the event of calamities under controlled but realistic circumstances. Activities that are part of the programme are levee surveillance and monitoring, emergency response exercises, breach initiation and the large European exercise.

### Knowledge Infrastructure

We aim to develop a knowledge infrastructure through which existing and new to be developed knowledge will become available and accessible. A necessary success factor for any initiative to improve knowledge is to have its outcomes integrated in practices of a wider community. Knowledge Infrastructure focuses therefore on the consolidation of knowledge acquired in the Living Lab with a variety of activities. Accessibility of data in a user-friendly manner, educational activities in the field and incorporation of knowledge in educational curricula are considered key elements.

### Field Station

How can we make sure that both experts in the field and the local public benefit from our project and the learnings about climate change, flood resilience, emergency response and the unique environment of the Hedwige-Prosperpolder? An important and unique way of reaching this goal is realising a Field Station at the project site. It will be used during and after the project for educational purposes, research and as a special meeting place for exclusive occasions.





## **FACTUAL REPORT GOLFOVERSLAG- EN GRASTREKPROEVEN POLDER2C'S**



## **DEFINITIEF**

**Opdrachtgever: Polder2C's**

**Projectnummer: 20i830**

**Versie: 3.0**

**19 juli 2022**

**INFRAM INTERNATIONAL B.V.**

**Postbus 150**

**3950 AD MAARN**

**Tel: +(0)343 – 745 600**

**[www.infram-hydren.nl](http://www.infram-hydren.nl)**



# Projectgegevens

**Titel:** Factual report golfoverslag- en grastrekproeven Polder2C's  
**Versie:** 3.0  
**Status:** DEFINITIEF  
**Datum:** 19 juli 2022  
**Opdrachtgever:** Polder2C's  
**Projectnummer:** 20i830

**Auteurs:** Ellen Daamen, Lydia Heida, Roy Mom  
**Review:** Chris Wauben

---



# Inhoudsopgave

<b>INTERREG Polder2C's project</b>	<b>3</b>
Flood Defence	3
Emergency Response	3
Knowledge Infrastructure	3
Field Station	3
<b>Executive summary</b>	<b>1</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>2</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>3</b>
<b>2 Proefopstelling</b>	<b>4</b>
2.1 Algemeen	4
2.2 Golfoverslagproef	5
<b>3 Simulatie golfoverslag</b>	<b>8</b>
3.1 Onregelmatige golven	8
3.2 Regelmatige golven	9
<b>4 Metingen</b>	<b>11</b>
4.1 Erosie	11
4.2 Hydraulische metingen golfoverslag	11
<b>5 Proefverloop golfoverslag</b>	<b>12</b>
5.1 Dijkvak VI	12
5.2 Dijkvak X	30
<b>6 Grasonderzoek</b>	<b>37</b>
6.1 Inleiding	37
6.2 Resultaten	38
6.3 Schatting kritische stroomsnelheid	40
<b>Verwijzingen</b>	<b>42</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>43</b>
<b>A. Overzicht uitgevoerde proeven dijkvak VI</b>	<b>44</b>
<b>B. Inmeting teststroken golfoverslagproeven</b>	<b>45</b>
<b>C. Overslaande golfvolumes</b>	<b>52</b>
<b>D. Foto's teststroken dijkvak VI</b>	<b>53</b>

---

<b>E.</b>	<b>Metingen RTK GNSS teststroken dijkvak X</b>	<b>54</b>
<b>F.</b>	<b>Ontwikkeling erosie en schade (foto's)</b>	<b>55</b>
<b>G.</b>	<b>Hydraulische metingen</b>	<b>56</b>
<b>H.</b>	<b>Resultaten grastrekproeven</b>	<b>57</b>



## Executive summary

At the beginning of 2022, INFRAM HYDREN conducted wave overtopping tests with the wave overtopping simulator (WOS) for the INTERREG Polder2C's project within dike sections VI and X of the Living Lab Hedwige-Prosperpolder (LLHPP). The WOS can simulate distributions of wave overtopping. The number and size of the overtopping waves in a test depend on the simulated wave overtopping discharge (variable), the significant wave height (variable) and the storm duration (2 hours).

In dike section VI, the strength of the existing sods was researched on four test strips. Various tests were carried out on each of these strips, whereby the wave overtopping discharge (and thus the load) was increased after each test. A large erosion hole eventually formed in two of the four test sections. In test strip 0 this hole was caused by the outflow of the sand present under the cover layer through a mole tunnel that undermined the layer of clay. Because the clay layer collapsed, the size of the hole quickly increased due to the overtopping waves that dived into it. The erosion hole in test strip 3 did not appear until damage was applied manually. To simulate burrowing, holes were made through the clay later down to the sand. In the other two test strips only wear of the grass cover occurred. The top layer did not fail. Note that on test strip 2 burrowing was also simulated. The applied damage however did not lead to further damage.

Wave overtopping tests were conducted on two test strips with bare clay in dike section X. On these strips the grass cover was removed at various locations within the strip and both irregular and regular waves were simulated with the WOS. Two other test strips within this dike section were set up for the 'Levee Challenge 2021-2022'. The effectiveness of emergency measures in case of wave overtopping was tested by simulating irregular waves with the WOS. On a fifth test strip it was examined at which overtopping volumes a person is still stable while standing on the inner slope of the dike.

Grass pulling tests with the grass sod puller were also carried out at two locations within the LLHPP. With these tests an estimation of the strength of the grass cover can be obtained. The results of the grass pulling tests show that the grass cover around test strip 0 within dike section VI is probably stronger than the grass cover within one of the dike sections of the Flemish part of the LLHPP.

## Samenvatting

Voor het INTERREG project Polder2C's zijn begin 2022 door INFRAM HYDREN op teststroken binnen dijkvakken VI en X van het Living Lab Hedwige-Prosperpolder (LLHPP) golfoverslagproeven met de golfoverslagsimulator (WOS) uitgevoerd. Met deze WOS kunnen verdelingen van overslagdebieten worden gesimuleerd. Het aantal en de grootte van de overslaande golven in een proef is afhankelijk van het te simuleren golfoverslagdebiet (variabel), de significante golfhoogte (variabel) en de stormduur (2 uur).

Binnen dijkvak VI is op vier teststroken de sterkte van de aanwezige grasmat onderzocht. Op elk van deze teststroken zijn verschillende proeven uitgevoerd, waarbij het golfoverslagdebiet (en daarmee de belasting) met elke proef toenam. Op twee van de vier teststroken is uiteindelijk een groot erosiegat ontstaan. Bij teststrook 0 kon dit erosiegat ontstaan door uitspoeling van het onder de afdeklaag aanwezige zand via een mollengang die de kleilaag ondermijnde. Omdat de afdeklaag inzakte kon een gat ontstaan dat door de overslaande golven die in het gat doken snel in omvang toenam. Bij teststrook 3 is pas een erosiegat ontstaan nadat schade was aangebracht. Daarbij zijn, om graverij na te bootsen, gaten tot op het zand geboord. Bij de andere twee teststroken was enkel sprake van slijtage van de toplaag en is deze niet bezweken. Merk op dat bij teststrook 2 ook graverijen zijn nagebootst, maar dat deze aangebrachte schade niet tot verdere schade hebben geleid.

Op twee teststroken binnen dijkvak X zijn proeven uitgevoerd op kale klei. Hiertoe is binnen deze teststroken op verschillende locaties de graszode verwijderd en zijn met de WOS proeven met zowel onregelmatige als regelmatige golven uitgevoerd. Twee andere teststroken binnen dit dijkvak zijn ingericht voor de 'Levee Challenge 2021-2022'. Hierbij is effectiviteit van noodmaatregelen bij golfoverslag beproefd door met de WOS onregelmatige golven te simuleren. Op een vijfde teststrook zijn proeven uitgevoerd om te bepalen bij welke overslaande volumes een persoon op het binnentalud nog standzeker is.

Verder zijn op twee locaties binnen het LLHPP grastrekproeven met de graszodetrekker uitgevoerd. Met deze proeven kan een schatting van de sterkte van de grasbekleding worden verkregen. De grastrekproeven laten zien dat de grasbekleding ter plaatse van teststrook 0 in dijkvak VI waarschijnlijk sterker is dan de grasbekleding binnen een van de dijkvakken van het Vlaamse deel van het LLHPP.

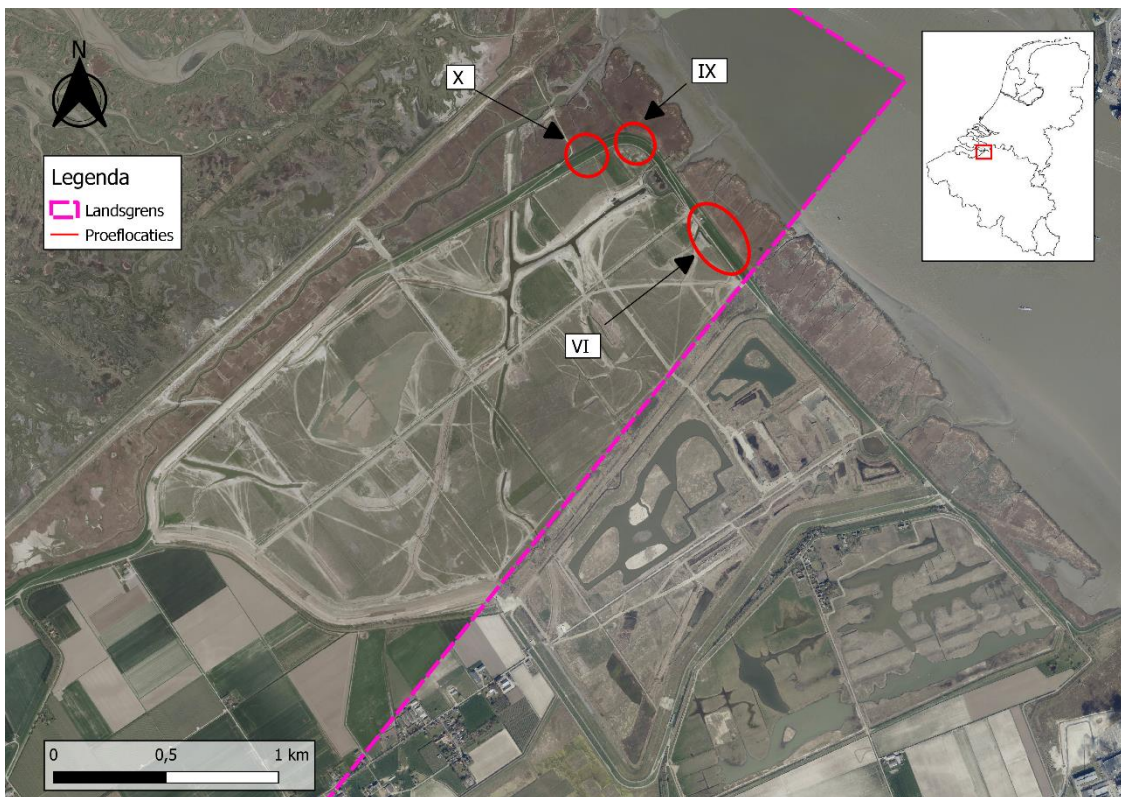


# 1 Inleiding

Voor het INTERREG project Polder2C's<sup>1</sup> zijn door INFRAM HYDREN in week 1 tot met 6 van 2022 praktijkproeven op verschillende proeflocaties binnen het Living Lab Hedwige-Prosperpolder (LLHPP) uitgevoerd, zie Figuur 1.

Op verschillende teststroken binnen dijkvakken VI en X zijn golfoverslagproeven met de golfoverslagsimulator (WOS) uitgevoerd. Met de golfklapgenerator (WIG) zijn op twee testsecties binnen dijkvak IX golfklapproeven uitgevoerd. Daarnaast zijn ook grastrekproeven in LLHPP uitgevoerd.

Binnen dijkvak VI is op vier teststroken onderzocht hoeveel weerstand de grasbekleding kan bieden tegen overslag. Op twee teststroken binnen dijkvak X is de erosie van kale klei bij overslag onderzocht. Daarnaast zijn binnen dit dijkvak twee teststroken ingericht voor de 'Levee Challenge 2021-2022' en is getest bij welke overslaande volumes personen op het binnentalud van een dijk nog standzeker zijn.



Figuur 1: Proeflocaties in het LLHPP

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

Voor het verslag van de golfklapproeven wordt verwezen naar [1].

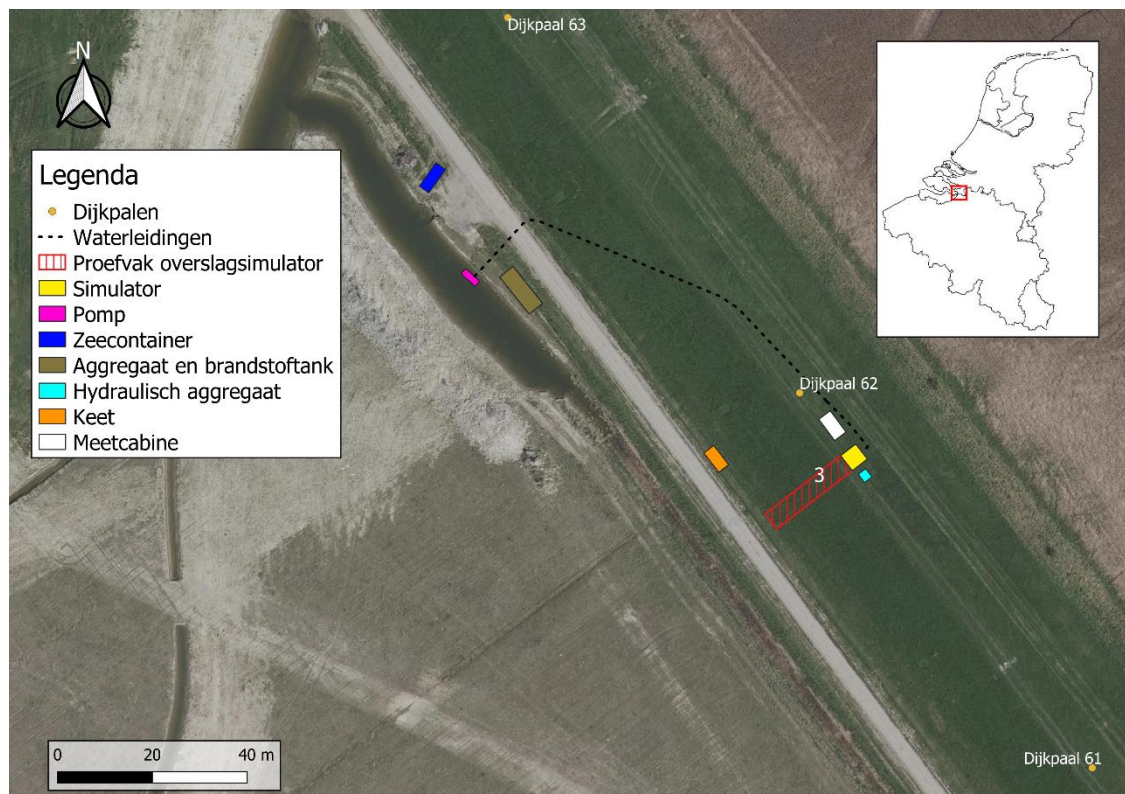
<sup>1</sup> Dit project wordt gefinancierd door het programma INTERREG 2 Seas 2014-2020. Dit programma is mede gefinancierd door de European Regional Development Fund (ERDF) onder het contractnummer [2S07-023]

## 2 Proefopstelling

### 2.1 Algemeen

#### 2.1.1 Onderdelen proefopstelling

Voor het uitvoeren van de golfoverslagproeven is een proefopstelling opgebouwd. In onderstaand figuur en de secties daaronder is een korte beschrijving van de essentiële onderdelen van de proefopstelling gegeven.



Figuur 2: Essentiële onderdelen proefopstelling golfoverslagproeven (situatie teststrook 3 binnen dijkvak VI).

##### 2.1.1.1 Watervoorziening

Voor de uitvoering van de proeven werd gebruik gemaakt van water uit de aan de polderzijde aanwezige sloot. Hierin waren twee frequentie gestuurde elektrische dompelpompen met elk een capaciteit van 800 m<sup>3</sup>/uur geplaatst. Via leidingen werd het water naar de voor de proeven te gebruiken simulator gepompt. Bij de proeven op de teststroken binnen dijkvak VI liepen de leidingen over de tussen de dijk en sloot gelegen weg. Om bij de proeven op de teststroken binnen dijkvak X de weg te allen tijde toegankelijk te houden zijn deze leidingen ingegraven. Het bij de proeven gebruikte water kon vrij terugstromen naar de sloot en werd dus hergebruikt.

De frequentieregelaar was op een platte wagen naast de sloot geplaatst.

##### 2.1.1.2 Hydraulisch aggregaat

Voor het aansturen van de kleppen van de simulator werd gebruik gemaakt van een hydraulisch aggregaat. Dit aggregaat stond in een lekbak in een zeecontainer en was gevuld met biologisch afbreekbare hydrauliekolie. De container werd altijd nabij de simulator geplaatst.



### 2.1.1.3 Accommodatie

Tijdens de proeven werd gebruik gemaakt van een caravan. De caravan werd ingezet als meetcabine en bevatte de apparatuur om tijdens de proeven vanuit een centraal punt de simulator te kunnen bedienen. Voor goed zicht op de teststrook werd de meetcabine direct op de kruin naast de teststrook geplaatst.

### 2.1.1.4 Stroomvoorziening

Ten behoeve van de stroomvoorziening van onder andere de pompen en het hydraulisch aggregaat werd een dieselaggregaat gebruikt. Het aggregaat was aangesloten op een milieutank waarin zich de brandstof bevond. Dit aggregaat draaide alleen tijdens de daadwerkelijke proefuitvoering. Het aggregaat en de milieutank waren op de platte wagen geplaatst.

### 2.1.1.5 Opslag

Het voor de proeven te gebruiken materiaal werd opslagen in een 20 ft zeecontainer. Deze zeecontainer was op een centraal punt in de polder geplaatst.

## 2.2 Golfoverslagproef

Voor het simuleren van de overslaande volumes is gebruik gemaakt van de golfoverslagsimulator (WOS), zie Figuur 3. De WOS heeft een inhoud van circa 14 m<sup>3</sup>, is vier meter breed en heeft een dubbele schuifklep. De kleppen van de WOS worden hydraulisch aangestuurd.



Figuur 3: De WOS op teststrook 0 binnen dijkvak VI

### 2.2.1 Teststrook

De WOS is bij elke teststrook met de uitstroomopening op de kruin van de dijk geplaatst. De kruin is steeds afgedekt met een zeil. Om het overslaande water te geleiden werden aan weerszijden van de simulator geleideschotten geplaatst. De geleideschotten werden bevestigd aan houten palen die in het talud werden geslagen. De schotten werden met de kopse kanten tegen elkaar aangezet en aan de binnenzijde

gekoppeld met RVS platen, zoals ook te zien in Figuur 4. De geleideschotten werden vanaf de uitstroom van de simulator tot aan de teen geplaatst, zodat een vier meter brede teststrook ontstond.



Figuur 4: De schotten worden met de kopse kanten tegen elkaar en verbonden met RVS platen (teststrook 1 binnen dijkvak VI)

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

### 2.2.2 Plaatsbepaling

Binnen de teststroken is ten behoeve van de plaatsbepaling van optredende schades het in Figuur 5 weergegeven meetraster gehanteerd. Het einde van de uitstroomopening van de simulator is de 0-lijn voor het meetraster. Vanaf deze 0-lijn loopt de afstand (in meters) op. De afstand is gemeten langs het talud. Het talud is ingedeeld in vakken van één bij één meter. Vak 1 is de eerste meter vanaf de uitstroomopening van de simulator en loopt op verder weg van de uitstroomopening van de simulator. De letters geven de horizontale positie van een vak aan. A bevindt zich, van de teen naar de kruin gezien, links op de teststrook. De letters lopen op naarmate een vak zich meer naar rechts bevindt.



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

Figuur 5: Nummering meetraster in teststrook. Aan de linkerzijde zijn de vak-nummers weergegeven. Aan de rechterzijde is de afstand (in meters) ten opzichte van de uitstroomopening van de simulator weergegeven.

### 3 Simulatie golfoverslag

#### 3.1 Onregelmatige golven

Op de teststroken binnen dijkvak VI zijn met de golfoverslagsimulator (WOS) proeven met onregelmatige golven uitgevoerd<sup>2</sup>. Op elke teststrook zijn hiertoe proeven uitgevoerd met een toenemend gemiddeld golfoverslagdebiet  $q$  (l/s per m). Voor de uitgevoerde proeven op een teststrook wordt verwezen naar Hoofdstuk 5 en Bijlage A.

In Tabel 1 zijn de verschillende proeven weergegeven. Het aantal overslaande golven  $N_{ow}$  en de kans op overslag  $P_{ov}$  per proef is afhankelijk van de vrije kruinhoogte boven de stilwaterlijn  $R_c$ , de significante golfhoogte  $H_s$ , de golfsteilheid  $s_{op}$ , de helling van het buitentalud  $\cot \alpha$  (3,0) en de stormduur  $t_{storm}$  (2 uur). Merk op dat bij proeven '0,5m60lsm' en '1m190lsm' de maximale belasting voor de betreffende golfhoogte wordt gesimuleerd: golfoverslag met de waterstand op de kruin van de dijk. Bij proef '0,5m60lsmov' wordt een combinatie van overslaande golven met overloop gesimuleerd. Bij een waterstand niet te ver boven de kruin slaan er nog steeds golven over de kruin en stroomt er niet altijd water<sup>3</sup>. Voor deze proef wordt uitgegaan van een golfhoogte van 0,5 m en 20 cm waterstand boven de kruin.

Tabel 1: Proevenprogramma onregelmatige golven

Proef	Type proef	$q$ [l/s per m]	$R_c$ [m]	$H_s$ [m]	$s_{op}$ [-]	$N_{ow}$ [-]	$P_{ov}$ [-]
0,5m60lsm	Overslag	60	0,05	0,5	0,05	3.388	0,992
0,5m60lsmov	Overslag én overloop	211*	0,05			3.415	1,000
1m50lsm	Overslag	50	0,68	1,0		1.750	0,725
1m190lsm	Overslag	190	0,01			2.412	1,000
2m50lsm	Overslag	50	2,45	2,0	0,04	663	0,435
2m100lsm	Overslag	100	1,90			921	0,604

\*een waterstand van 20 cm boven de kruin geeft bij een golfhoogte van 0,5 m een constant overloopdebiet van ongeveer 151 l/s per m. De combinatie golfoverslag en overlopen geeft dus een totaal debiet van 211 l/s per m.

In werkelijkheid gaat bij golfoverslag geen constant debiet over de kruin. Conform [2] zijn per proef de momentane overslagvolumes berekend. De verdelingen van deze volumes zijn in Figuur 6 per proef weergegeven. Opgemerkt wordt dat niet alle volumes met de simulator kunnen worden nagebootst<sup>4</sup>. Het kleinste te simuleren overslagvolume is afhankelijk van het golfoverslagdebiet en de gemiddelde golfperiode. De horizontale lijn geeft het aantal en de grootte van het minimale overslagvolume.

Van de lijsten van overslagvolumes per proef (zie Bijlage C) zijn stuurfiles gemaakt (hierbij wordt rekening gehouden met het vuldebiet). De stuurfiles worden door het stuurprogramma van de simulator ingelezen.

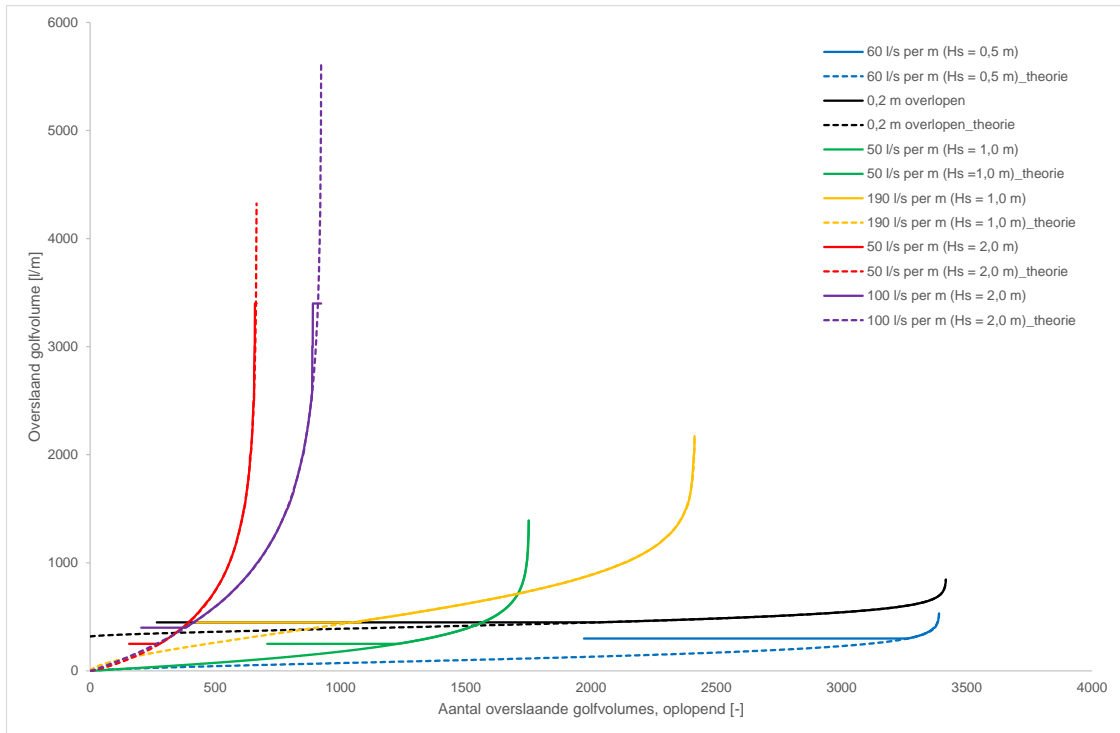
Bij de proeven werden de kleppen automatisch geopend als de gewenste hoeveelheid water in de simulator aanwezig was: de stuurlijst bevat volumes waarop de kleppen moeten worden geopend (het volume in de simulator wordt gemeten met een drukopnemer). Het vuldebiet is in deze in mindere mate van belang, maar het is ongewenst om een grote afwijking tussen het voor het maken van de stuurfiles gebruikte

<sup>2</sup> Binnen dijkvak X zijn bij één van de teststroken met kale klei en de Levee Challenge ook proeven met onregelmatige golven uitgevoerd. Voor de uitgevoerde proeven wordt verwezen naar Hoofdstuk 5.

<sup>3</sup> Bij een waterstand niet te ver boven de kruin zorgt een terugtrekkende golf er nog steeds voor dat het talud tussen de overslaande golven even "droog" is.

<sup>4</sup> Dit heeft te maken met de benodigde tijd om de kleppen van de simulator te openen en te sluiten. De hiervoor benodigde tijd in combinatie met het vuldebiet beperkt het kleinst te simuleren volume. De volumes van de golven die te klein zijn om te simuleren worden bij elkaar opgeteld en gedeeld door het minimale overslagvolume. Het aantal minimale volumes vervangt de kleinste volumes.

fuldebiet en het daadwerkelijke vuldebiet te hebben. Een afwijking van circa 10% is aanvaardbaar. Tijdens de proeven is het vuldebiet daarom regelmatig gecontroleerd.



Figuur 6: Berekende verdelingen van overstaande golfvolumes, aangepast naar het minimum volume dat gesimuleerd kan worden.

### 3.2 Regelmatige golven

Binnen dijkvak X zijn met de WOS op teststrook 'Kale klei 1' proeven met regelmatige golven uitgevoerd. In Tabel 2 zijn per proef het aantal gesimuleerde golven  $N$  en het volume  $V$  van de gesimuleerde golven weergegeven.

Tabel 2: Proevenprogramma regelmatige golven op teststrook Kale klei 1.

Proef	$N$ [-]	$V$ [l/m]
regelmatig1	20	100
	20	150
	20	200
	20	350
	20	500
	20	700
	20	1.000
	10	1.500
	10	2.000
regelmatig2*	10	1.500
	10	2.000
	10	1.500
	20	1.000
	20	700
	20	500
	20	350
	20	200
	20	100
	10	1.500
regelmatig3*	10	1.500
	10	2.000
	10	2.500
	10	2.000

Proef	N [-]	V [l/m]
	10	1.500
	20	1.000
	20	700
	20	500
	20	350
	24	200
	20	100
	5	2.500
	5	3.000

\*de te simuleren golven waren afhankelijk van de resultaten met proef 'regelmatig1'



## 4 Metingen

### 4.1 Erosie

De proeven op de teststroken binnen dijkvak VI en de twee teststroken met kale klei binnen dijkvak X zijn wat betreft schadeontwikkeling primair observatieproeven: wat gebeurt er met de grasbekleding en kale klei bij golfoverslag? Bij elke teststrook zijn daarom voorafgaand, tijdens en na afloop van de proeven metingen uitgevoerd.

#### 4.1.1 Teststroken dijkvak VI

Op de teststroken binnen dit dijkvak zijn handmetingen en foto's gemaakt om de erosieontwikkeling te beschrijven en vast te leggen.

Voor een goede beschrijving van de schadeontwikkeling zijn afmetingen (lengte, breedte en diepte) van eventuele schades met een duimstok gemeten en vastgelegd.

Met behulp van het meetraster (beschreven in Figuur 5) zijn voorafgaand, tussentijds (indien noodzakelijk) en na afloop van een proef foto's gemaakt van de grasmat. Daarnaast zijn van alle teststroken overzichtsfoto's gemaakt. Om de schade gedetailleerd vast te leggen zijn indien nodig ook aanvullende detailfoto's van schade(s) gemaakt. Voor de foto's wordt verwezen naar Bijlage D.

#### 4.1.2 Teststroken dijkvak IX

Bij de proeven op de twee teststroken met kale klei is voor het meten van de erosie van de klei gebruik gemaakt van fotogrammetrie. Voor het maken van foto's zijn action cams gebruikt. Deze action cams werden bevestigd aan een portaal dat boven de te beproeven sectie was geplaatst. Deze metingen zijn uitgevoerd door de Universiteit Louvain-la-Neuve (UCL) en worden ook door UCL uitgewerkt. Op de met de action cams gemaakte foto's dienden ook ground control points (gcl's) zichtbaar te zijn. De coördinaten (X, Y, Z) van deze gcl's zijn door INFRAM HYDREN met een RTK GNSS systeem (GNSS ontvanger op GPS-stok en veldboek) gemeten. Voor de coördinaten van de GCL's wordt verwezen naar Bijlage E.

Met het RTK GNSS systeem zijn, als back-up voor de fotogrammetrie, ook metingen uitgevoerd. Deze metingen zijn veelal tegelijkertijd met de metingen door/ voor UCL uitgevoerd. Voor deze met het RTK GNSS systeem gemeten coördinaten wordt ook verwezen naar Bijlage E.

Daarnaast zijn voorafgaand, tijdens en na elke proef door de projectbegeleider van Polder2C's foto's gemaakt.

### 4.2 Hydraulische metingen golfoverslag

Voor het bepalen van de frontsnelheid van de overslaande volumes zijn tijdens de proeven op een aantal teststroken een aantal vooraf gedefinieerde volumes gefilmd. Hiervoor zijn action cams geplaatst op masten direct naast de teststrook. Op de videobeelden zijn de gehele teststrook en de aan de geleideschotten gemonteerde hoekprofielen zichtbaar. Achteraf kan met een frame-by-frame analyse<sup>5</sup> de frontsnelheid van de overslaande volumes bepaald worden. De wijze van uitvoering en resultaten van de hydraulische metingen zijn in bijlage G opgenomen.

---

<sup>5</sup> Met deze analyse kan worden bepaald binnen hoeveel frames het golffront één meter verplaatst. Dit is daarna om te rekenen naar een frontsnelheid.

## 5 Proefverloop golfoverslag

Dit hoofdstuk geeft per dijkvak:

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

De resultaten van de proeven zijn het resultaat van waarnemingen en metingen tijdens de proeven.

Bij het beschrijven van de veranderingen in de teststroken worden de volgende termen gebruikt:

- Schoonspoelen: door de overslaande golven spoelt los zand, aarde, bladeren en andere organische stoffen weg waardoor de 'hals' van het gras (begin van het grasblad) zichtbaar wordt.
- Begin van schade: door de overslaande golven is de zode dusdanig geërodeerd dat het sterk doorwortelde deel van de toplaag<sup>6</sup> zichtbaar is geworden (mollengaten uitgezonderd), de golven een 'aangrijpingspunt' (opstaande rand o.i.d.) hebben en versnelling van het erosieproces kan plaatsvinden.
- Bezwijken toplaag: er is een gat in het sterk doorwortelde deel van de toplaag ontstaan, waardoor de onderlaag<sup>7</sup> (snel) kan eroderen.

### 5.1 Dijkvak VI

Dijkvak VI bevindt zich ter hoogte van de Zoetenberm ongeveer 150 meter noordelijk van de Belgisch-Nederlandse grens, zie Figuur 7. Binnen dit dijkvak zijn op in totaal vier teststroken golfoverslagproeven uitgevoerd met de golfoverslagsimulator (WOS). Deze teststroken liggen allemaal op het binnentalud (talud polderzijde) van de Scheldedijk tussen dijkpaal 62 en 61, zie Tabel 3 en Figuur 7. De locaties van deze teststroken zijn door de projectbegeleider van Polder2C's aangewezen.

Tabel 3: Locaties teststroken golfoverslagproeven dijkvak VI

Teststrook	RDX*	RDY*
0	74.445,776	373.717,083
1	74.456,462	373.703,305
2	74.432,092	373.735,256
3	74.426,912	373.741,989

\*midden teststrook ter plaatse van de binnenkruinlijn

<sup>6</sup> De toplaag is het doorwortelde deel van de afdeklaag. De afdeklaag is aangebracht op de kern van de dijk.

<sup>7</sup> De onderlaag is het nauwelijks doorwortelde deel van de afdeklaag.



Figuur 7: Locaties teststroken golfoverslagproeven dijkvak VI

### 5.1.1 Teststrook 0

#### 5.1.1.1 Beschrijving teststrook 0

##### Algemeen

Bij teststrook 0 is het effect van golfoverslag op de erosiebestendigheid van de grasbekleding op het binnentalud onderzocht. Deze strook diende feitelijk als referentie voor de overige teststroken binnen dit dijkvak. Voorafgaand aan de proef is het oppervlak van de teststrook beschreven en zijn uitgebreid foto's gemaakt (nulopname).

De rand van de uitstroomopening van de simulator (= nulpunt meetraster) bevond zich op ongeveer 3 meter voor de overgang van de horizontale kruin naar de taludhelling. Dit betekent dat de invloed van de overgang van de kruin naar het talud is meegenomen bij deze proef. Omdat de kruin beschadigd was is deze afgedekt met een zeil (dit om te voorkomen dat de aanwezige schade zich kon uitbreiden en de proef zou beïnvloeden).

De binnenteen lag ongeveer op 22 m vanaf de uitstroomopening gemeten over het talud. De gemiddelde helling van het talud (4 m tot 22 m) was 1:2,5. In vak 15 en 22 was het buitentalud met 1:2,2 het steilst. In Bijlage B is een dwarsprofiel van deze teststrook opgenomen.

##### Nulopname

Voor het starten van de proefuitvoering is een nulopname gemaakt. De grasmat in teststrook 0 had een redelijk egale bedekking. Het gras was circa 10 cm lang. De teststrook bevatte meerdere kal(ig)e plekken in vakken 4, 5, 7, 9, 11, 12, 15, 16, 17 en 18. Daarnaast waren in vakken 14, 20, 21, 22, 23 molshopen aanwezig.

#### 5.1.1.2 Resultaten teststrook 0

Op deze teststrook zijn achtereenvolgens de volgende proeven uitgevoerd (zie ook Bijlage A): 0,5m60lsm, 0,5m60lsmov, 1m190lsm, 2m50lsm en 2m100lsm (circa 3 stormuren). Hieronder is een beschrijving opgenomen van de op deze teststrook uitgevoerde proeven en bevindingen.



Donderdag 06/01/2022

Aan het einde van proef 0,5m60lsm was het gehele talud schoongespoeld. Ter plaatse van de molshopen waren kale plekken zichtbaar geworden.

Na één stormuur van proef 0,5m60lsmov waren de aanwezige kale plekken in vakken 20, 22 en 23 niet noemenswaardig veranderd. In vak 14-17C/D waren de kale plekken beter zichtbaar geworden. De mollengaten in vak 21CD en 22 waren verder uitgesleten.



Figuur 8: Kale plekken in vakken 14-17CD na 1 stormuur van proef 0,5m60lsmov



Figuur 9: Slijtage van mollengaten in vak 21-22CD na 1 stormuur van proef 0,5m60lsmov

Vrijdag 07/01/2022

Aan het einde van proef 0,5m60lsmov waren de mollengaten in vak 22/23 verder uitgesleten. Het mollengat in vak 14D ter hoogte van het geleideschot was dieper (circa 20 cm) geworden en had zich tot onder het geleideschot uitgebreid. Ook de mollengaten in vak 21 en 22 waren verder uitgesleten. Onderaan vak 23D was de grindkoffer in de teen licht zichtbaar geworden.





Figuur 10: Het mollen gat in 14D na proef 0,5m60lsmov.

Tijdens het eerste stormuur van proef 1m190lsm sletten de mollen gaten in vakken 21 en 22 verder uit. De grindkoffer was nu over de volledige breedte van vak 23 zichtbaar geworden. Het mollen gat in vak 14D was niet groter geworden.



Figuur 11: Na één stormuur 1m190lsm waren de mollen gaten in vakken 21 en 22 verder uitgesleten en was de grindkoffer in vak 23 zichtbaar

Maandag 10/01/2022

Gedurende het laatste stormuur van proef 1m190lsm was de erosie in vakken 22 en 23 verder toegenomen. Merk op dat via een mollen gang buiten de teststrook ter hoogte van vak 19 zand werd geloosd (mogelijk stond deze gang in verbinding met de mollen gang in vak 14D).





Figuur 12: Via een mologang buiten de teststrook ter hoogte van vak 19 werd tijdens het laatste stormuur van proef 1m190lsm het nodige zand geloosd

Aansluitend is proef 2m50lsm uitgevoerd. Tijdens deze proef werd via de mologang buiten de teststrook het nodige zand geloosd. Mogelijk spoelde dit zand weg onder de toplaag in vak 15CD, want het talud leek aan het einde van deze proef iets ingezakt. Verder waren de kale plekken in vak 20 groter geworden en waren de molsgaten in vak 22/23 verder uitgesleten. De grindkoffer aan de teen van de dijk was nu duidelijk zichtbaar.



Figuur 13: Talud in vak 15CD lijkt aan het einde van proef 2m50lsm iets in te zakken.

Na proef 2m100lsm was overal op het talud de slijtage en erosie toegenomen. De zode ter plaatse van de teen was vrijwel geheel weggeslagen. Ook via de mologang buiten de teststrook werd nog zand geloosd. Nergens was echter de toplaag bezwaken.

Dinsdag 11/01/2022

Omdat gewacht moest worden op de rupskraan voor het verplaatsen van de WOS naar de volgende teststrook is een deel van proef 2m100lsm is herhaald.



Na circa 3 uur storm zakte het talud ter plaatse van de mollengang bij het geleideschot in vak 14D ineens in (waarschijnlijk als gevolg van ondermijning door uitspoeling van zand) en ontstond er een groot gat in de toplaag, zie Figuur 14.



Figuur 14: Na circa 3 uur storm ontstond er in vak 14 een groot gat in de toplaag.

Elke overslaande golf dook vervolgens in het gat waardoor dit snel groter werd. Uiteindelijk is 45 minuten na het ontstaan van het gat de proef gestopt. Het erosiegat was toen op maximaal 100 cm diep, 300 cm breed en 400 cm lang, zie Figuur 15. De top- en onderlaag van klei waren samen circa 70 cm dik.



Figuur 15: Groot erosiegat na 3 uur en 45 minuten storm met proef 2m100lsm

Op teststrook 0 is de top- en onderlaag uiteindelijk bezweken. Merk op dat het bezwijken van de toplaag niet het gevolg is van de erosie van de grasbekleding. Feitelijk is hier door uitspoeling van het onder de laag klei aanwezige zand via een mollengang de kleilaag ondermijnd. Uiteindelijk is door zijn eigen gewicht de top- en onderlaag ingezakt en kon een gat ontstaan dat door de overslaande golven die in het gaat doken snel in omvang toenam.

#### Ontwikkeling erosie

Bijlage F geeft door middel van een fotooverslag een indruk van de ontwikkeling van de erosie in de tijd.

## 5.1.2 Teststrook 1

### 5.1.2.1 Beschrijving teststrook 1

Bij teststrook 1 is het effect van golfoverslag op de erosiebestendigheid van de grasbekleding op het binnentalud onderzocht. In tegenstelling tot teststrook 0 was bij deze teststrook een natte plek aanwezig. In Bijlage B is een schematische weergave van deze teststrook opgenomen. Voorafgaand aan de proef is het oppervlak van de teststrook beschreven en zijn uitgebreid foto's gemaakt (nulopname).

De rand van de uitstroomopening van de simulator (= nulpunt meetraster) bevond zich op ongeveer 3 meter voor de overgang van de horizontale kruin naar de taludhelling. Dit betekent dat de invloed van de overgang van de kruin naar het talud is meegenomen bij deze proef. Omdat de kruin beschadigd was is deze afgedekt met een zeil (dit om te voorkomen dat de aanwezige schade zich kon uitbreiden en de proef zou beïnvloeden).

De binnenteen lag ongeveer op 22 m vanaf de uitstroomopening gemeten over het talud. De gemiddelde helling van het talud was 1:2,5. Het onderste deel van het talud (vakken 10-22) is steiler dan het bovenste deel (vakken 4-9). In vak 18 was het buitentalud met 1:2,1 het steilst. In Bijlage B is een dwarsprofiel van deze teststrook opgenomen.

#### *Nulopname*

Voor het starten van de proefuitvoering is een nulopname gemaakt. De grasmat in teststrook 1 had een redelijk egale bedekking. Het gras was circa 10 cm lang. In vak 4-6CD waren rupssporen zichtbaar. Bovenin vak 8CD was de zode beschadigd (waarschijnlijk door de bak van een rupskraan). Vakken 13-22 bevatte heel veel kal(ig)e plekken mogelijk als gevolg van een aanwezige natte plek. Lokaal waren enkele (mollen en/of muizen)gaten en molshopen zichtbaar. In vak 19CD leek het talud enigszins verzakt.

### 5.1.2.2 Resultaten teststrook 1

Op deze teststrook zijn achtereenvolgens de volgende proeven uitgevoerd (zie ook Bijlage A): 0,5m60lsm, 0,5m60lsmov, 1m190lsm, 2m50lsm en 2m100lsm (circa 1 stormuur). Hieronder is een beschrijving opgenomen van de op deze teststrook uitgevoerde proeven en bevindingen.

#### Dinsdag 11/01/2022

Na 1,5 stormuur met proef 0,5m60lsm waren vooral sprake van slijtage van de kale plekken in vakken 13-22. Het rupsspoor en de beschadiging in vak 8CD was ook duidelijker geworden. Onderin vak 8C was een kale plek ontstaan.

#### Woensdag 12/01/2022

Aan het einde van proef 0,5m60lsm waren de kale plekken langzaam groter geworden. Tijdens proef 0,5m60lsmov was voornamelijk sprake van erosie in vakken 16-18CD: na 1,75 stormuur was in deze vakken een groot deel van zode geërodeerd (zie ook Figuur 16) en waren veel mollen- en muizengaten zichtbaar geworden. Merk op dat de erosie oppervlakkig is (circa 10-15 cm diep).

#### Donderdag 13/01/2022

Tijdens de laatste golven van proef 0,5m60lsmov veranderde er weinig op het talud. Onderstaand figuur laat het schadebeeld in vakken 16-19CD zien.





Figuur 16: Schadebeeld vakken 16-18CD aan het einde van proef 0,5m60lsmov

Tijdens de twee stormuren van proef 1m190lsm heeft de erosie in vakken 16-18CD zich langzaam kunnen uitbreiden naar vak 19CD, zie Figuur 17. De doorwortelde klei erodeerde langzaam en was onderin vak 19CD circa 25 cm diep.



Figuur 17: Schadebeeld vakken 16-19CD aan het einde van proef 1m190lsm

Vrijdag 14/01/2022

Tijdens twee stormuren met proef 2m50lsm en circa één stormuur met proef 2m100lsm heeft de erosie in vakken 16-19D zich kunnen uitbreiden tot onderin vak 20CD, zie Figuur 18. De doorwortelde kleilaag erodeerde langzaam en was uiteindelijk ongeveer maximaal 35 cm diep. De ontstane schade heeft op deze teststrook niet tot bezwijken van de toplaag geleid.





Figuur 18: Schadebeeld vakken 16-20CD na circa één stormuur met proef 2m100lsm

Merk op dat de overige kale plekken op het talud tijdens de proeven langzaam groter zijn geworden en dat in tegenstelling tot teststrook 0 hier weinig schade ter plaatse van de teen is ontstaan.

#### Ontwikkeling erosie

Bijlage F geeft door middel van een fotooverslag een indruk van de ontwikkeling van de erosie in de tijd.

### 5.1.3 Teststrook 2

#### 5.1.3.1 *Beschrijving teststrook 2*

Bij teststrook 2 is het effect van golfoverslag op de erosiebestendigheid van de grasbekleding op het binnentalud onderzocht. Deze teststrook bevatte in tegenstelling tot teststrook 0 veel molshopen. Voorafgaand aan de proef is het oppervlak van de teststrook beschreven en zijn uitgebreid foto's gemaakt (nulopname).

De rand van de uitstroombening van de simulator (= nulpunt meetraster) bevond zich op ongeveer 3 meter voor de overgang van de horizontale kruin naar de taludhelling. Dit betekent dat de invloed van de overgang van de kruin naar het talud is meegenomen bij deze proef. Omdat de kruin beschadigd was is deze afgedekt met een zeil (dit om te voorkomen dat de aanwezige schade zich kon uitbreiden en de proef zou beïnvloeden).

De binnenteen lag ongeveer op 22 m vanaf de uitstroomopening gemeten over het talud. De gemiddelde helling van het talud (4 m tot 22 m) was 1:2,5. In vak 18 was het buitentalud met 1:2,2 het steilst. In Bijlage B is een dwarsprofiel van deze teststrook opgenomen.

#### *Nulopname*

Voor het starten van de proefuitvoering is een nulopname gemaakt. De grasmat in teststrook 2 had een redelijk egale bedekking. Het gras was circa 10 cm lang. In vak 15BC was een grote plek waar het gras zichtbaar korter was dan in de rest van de teststrook. De strook bevatte veel molshopen en gaten. Deze zaten voornamelijk in strook D van vak 7 t/m 20 (waarvan er in vak 15 veel vlak bij elkaar zaten).

#### 5.1.3.2 Resultaten teststrook 2

Op deze teststrook zijn achtereenvolgens de volgende proeven uitgevoerd (zie ook Bijlage A): 0,5m60lsm, 0,5m60lsmov en twee maal 1m190lsm. Hieronder is een beschrijving opgenomen van de op deze teststrook uitgevoerde proeven en bevindingen.

##### Vrijdag 14/01/2022

Na de eerste 100 golven van proef 0,5m60lsm was het talud schoongespoeld.

##### Maandag 17/01/2022

Aan het einde van proef 0,5m60lsm waren de molsgaten in vakken 6CD, 7CD, 13CD, 15BCD, 17CD en 18CD verder uitgesleten. Daarnaast waren in vak 13/14 en vak 17 t/m 21 een paar kleine kale plekken zichtbaar. In vak 22 en 23 was meer slijtage en waren wat grotere kale plekken zichtbaar, zie Figuur 19.



Figuur 19: Kale plekken in vak 22CD aan het einde van proef 0,5m60lsm

Na 1,5 stormuur met proef 0,5m60lsmov waren de molsgaten in vak 15/16 iets verder uitgesleten. In vak 22/23 waren de kale plekken iets groter geworden.

##### Dinsdag 18/01/2022

Aan het einde van proef 0,5m60lsmov waren in vak 5 t/m 7CD een aantal kale plekken zichtbaar. De kale plek in vak 6C was circa 20 cm diep, 50 cm lang en 30 cm breed, zie Figuur 20. De kale plekken in vak 17 t/m 21 en in vak 22/23 waren wat verder uitgesleten.





Figuur 20: Kale plek in vak 6C aan het eind van proef 0,5m60lsmov

Na twee stormuren met proef 1m190lsm was geen noemenswaardige nieuwe schade ontstaan op het talud. De erosieplek in vak 6C was gegroeid in de richting van vak 7. Bovenin vak 6D was ook een kale plek zichtbaar. De gaten in de onderste vakken waren iets verder uitgesleten in zowel de lengte als breedte. Ter hoogte van de teen van de dijk werd de grindkoffer langzaam zichtbaar.



Figuur 21: Schadebeeld vak 6CD na 2 uur storm met proef 1m190lsm

In overleg met de projectbegeleider van de opdrachtgever is proef 1m190lsm herhaald. Na 2,5 stormuur met proef 1m190lsm was vooral de kale plek bovenin vak 6D groter geworden, zie Figuur 22. Verder was op het talud geen nieuwe noemenswaardige schade opgetreden.





Figuur 22: Schadebeeld vakken 5-7CD na 2,5 uur storm met proef 1m190lsm

Woensdag 19/01/2022

Na drie stormuren met proef 1m190lsm waren de kale plekken in vak 6CD groter geworden, zie Figuur 23. Verder was op het talud geen nieuwe noemenswaardige schade opgetreden.



Figuur 23: Schadebeeld vakken 6CD na 3 uur storm met proef 1m190lsm

In overleg met de projectbegeleider van de opdrachtgever is ter plaatse van de hartlijn van de teststrook in vakken 8, 9, 17 en 18 initiële schade (graverij konijn) aangebracht door met een grondboor (diameter 10 cm) gaten tot op het zand te maken. Het gat in vak 8 was verbonden met het gat in vak 9 en het gat in vak 17 was verbonden met het gat in vak 18. De bovenste gaten van elke set werden loodrecht naar beneden geboord. De onderste gaten werden onder een hoek van circa 10 graden in de richting van het bovenste gat geboord. In Figuur 24 is de aangebrachte schade in vak 8 en 9 te zien.





Figuur 24: Aangebrachte schade met grondboor in vakken 8 en 9.

Na vier stormuren met proef 1m190lsm was het schadebeeld in vak 6CD vrijwel hetzelfde. De aangebrachte schade heeft tijdens het laatste stormuur ook niet tot bezwijken van de toplaag geleid. Gedurende het herhalen van proef 1m190lsm is de grindkoffer steeds zichtbaarder geworden, zie Figuur 25.



Figuur 25: Grindkoffer zichtbaar in vak 23AB (links) en 23CD (rechts) na 4 uur storm met proef 1m190lsm

Op deze teststrook is de toplaag niet bezweken (ook niet na aanbrengen van een viertal gaten). Zoals bij teststrook 0 is hier ter plaatse van de teen schade ontstaan en is de grindkoffer zichtbaar geworden.

#### Ontwikkeling erosie

Bijlage F geeft door middel van een fotoverslag een indruk van de ontwikkeling van de erosie in de tijd.

#### 5.1.4 Teststrook 3

##### 5.1.4.1 Beschrijving teststrook 3

Bij teststrook 3 is het effect van golfoverslag op de erosiebestendigheid van de grasbekleding op het binnentalud onderzocht. Voorafgaand aan de proef is het oppervlak van de teststrook beschreven en zijn uitgebreid foto's gemaakt (nulopname).

De rand van de uitstroombopening van de simulator (= nulpunt meetraster) bevond zich op ongeveer 3 meter voor de overgang van de horizontale kruin naar de taludhelling. Dit betekent dat de invloed van de overgang van de kruin naar het talud is meegenomen bij deze proef. Omdat de kruin beschadigd was is

deze afgedekt met een zeil (dit om te voorkomen dat de aanwezige schade zich kon uitbreiden en de proef zou beïnvloeden).

De binnenteen lag ongeveer op 22 m vanaf de uitstroomopening gemeten over het talud. De gemiddelde helling van het talud (4 m tot 22 m) was 1:2,5. In vak 19 was het buitentalud met 1:2,1 het steilst. In Bijlage B is een dwarsprofiel van deze teststrook opgenomen.

#### *Nulopname*

Voor het starten van de proefuitvoering is een nulopname gemaakt. De grasmat in teststrook 3 had een redelijk egale bedekking. Het gras was circa 10 cm lang. De strook had een aantal kalige plekken, waarvan de grootste in vak 13CD en 20CD waren. De strook bevatte op het oog weinig opvallende oneffenheden zoals molshopen of andere beschadigingen.

#### 5.1.4.2 Resultaten teststrook 3

Op deze teststrook zijn achtereenvolgens de volgende proeven uitgevoerd (zie ook Bijlage A): 0,5m60lsm en twee maal 1m190lsm. Hieronder is een beschrijving opgenomen van de op deze teststrook uitgevoerde proeven en bevindingen.

#### Donderdag 20/01/2022

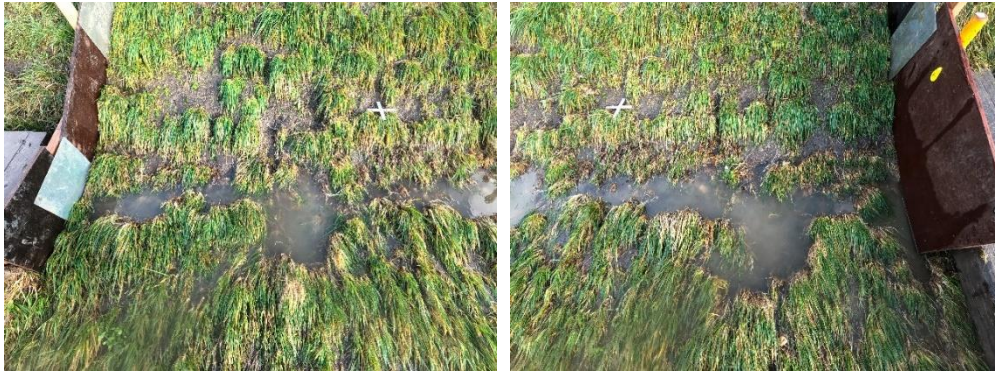
Aan het einde van proef 0,5m60lsm waren in vak 20C en 21A, 22AB een paar molsgaten zichtbaar geworden. In vak 17CD waren een paar kale plekken ontstaan, zie Figuur 26. Ter plaatse van de teen van de dijk (vak 23) werd over de volledige breedte van de teststrook de grindkoffer zichtbaar.



Figuur 26: Erosie in vak 17CD eind proef 0,5m60lsm

Na één stormuur met proef 1m190lsm was de erosie bij de grindkoffer in vak 23 verder geërodeerd (zowel in de breedte als de diepte), zie Figuur 27.



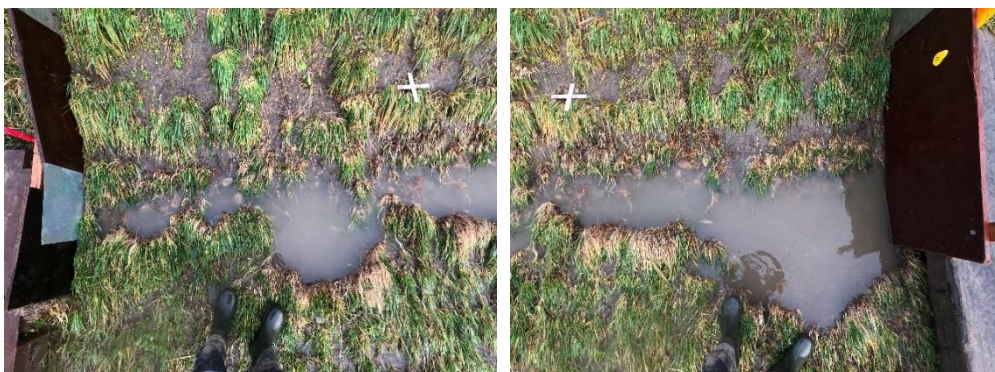


Figuur 27: Erosiegaten in vak 23 en op het horizontale deel (dijkteen) na 1 stormuur met proef 1m90lsm

Na twee stormuren met proef 1m190lsm waren ook kale plekken zichtbaar in vakken 5-6, 13-14 en 18. In vak 12CD was het gras zichtbaar geërodeerd, zie Figuur 28. In vak 23 had de erosie zich verder uitgebreid, zie Figuur 29.



Figuur 28: Erosie van het gras in vak 12CD na 2 stormuren met proef 1m190lsm



Figuur 29: Erosie in vak 23AB (links) en 23CD (rechts) na 2 stormuren met proef 1m190lsm

In overleg met de projectbegeleider van de opdrachtgever is proef 1m190lsm herhaald. Na 2,5 stormuur met proef 1m190lsm was geen nieuwe noemenswaardige schade op het talud opgetreden. De erosie in vak 23 breidde zich langzaam uit.



Vrijdag 21/01/2022

Aan het einde van de herhaling van proef 1m190lsm waren de kale plekken in vakken 5-6 en vak 18 iets uitgesleten. De kale plekken in vak 13-14 waren ook iets groter geworden, zie Figuur 30. In vak 23 waren de erosiegaten geleidelijk steeds groter en dieper geworden, zie Figuur 31. Het diepste punt (circa 50 cm) bevond zich in vak 23D.



Figuur 30: Kale plekken in vakken 12-13CD na 4 stormuren met proef 1m190lsm



Figuur 31: Erosie in vak 23 na 4 stormuren met proef 1m190lsm

Aangezien de toplaag nog niet was bezweken is in overleg met de projectbegeleider van de opdrachtgever initiële schade (graverij konijn) aangebracht door op circa 120 cm afstand van de geleideschotten gaten met een grondboor met een diameter van 10 cm te maken in vakken 7 en 13. In vak 13 werden beide gaten onder een hoek van circa 12,5 graad in het talud geboord. De gaten in vak 7 werden onder een hoek van circa 45 graden tot op het zand geboord. De gaten werden met elkaar verbonden, zie Figuur 32.





Figuur 32: Aanbrengen van schades met grondboor. Links in vakken 7CD en 13CD en rechts in vakken 7AB en 13AB.

Nadat de gaten waren aangebracht is gestart met proef 2m50lsm. Tijdens deze proef was sprake van uitspoeling van zand bij de onderste twee gaten. Na 30 minuten storm met proef 2m50lsm werd, in overleg met de projectbegeleider van Polder2C's, besloten om deze proef te stoppen en verder te gaan met proef 1m190lsm. Ook bij deze proef was sprake van uitspoeling van zand. Na 270 golven (circa 15 minuten storm) zakte ineens het talud ter plaatse van het gat in vak 7C in, zie Figuur 33.



Figuur 33: Het talud ter plaatse van de aangebrachte schade in vak 7C zakte ineens in.

Bij iedere golf werd het erosiegat in vak 7C groter. In Figuur 34 is de ontwikkeling van de erosie te zien die in een tijdsbestek van circa 10 minuten storm met proef 1m190lsm is ontstaan. Na 449 golven (circa 30 minuten storm) is proef 1m190lsm gestopt.





Figuur 34: Ontwikkeling erosie na ontstaan erosiegat in vak 7C. Rechts is de schade na circa 30 minuten storm met proef 1m190lsm te zien

Om te zien hoe snel de erosie zich kon uitbreiden zijn nog een aantal golven van proef 2m50lsm gesimuleerd. Omdat het erosiegat zeer snel groter werd is deze proef na de eerste 13 golven gestopt. Het erosiegat was uiteindelijk circa 100 cm diep, 350 cm breed en 400 cm lang, zie Figuur 35.



Figuur 35: Erosiegat einde proeven teststrook 3

Op deze teststrook is de toplaag pas bezweken nadat een viertal gaten waren aangebracht. Zoals bij teststrook 0 en 2 is hier ter plaatse van de teen schade ontstaan en is de grindkoffer zichtbaar geworden.

#### Ontwikkeling erosie

Bijlage F geeft door middel van een fotooverslag een indruk van de ontwikkeling van de erosie in de tijd.

## 5.2 Dijkvak X

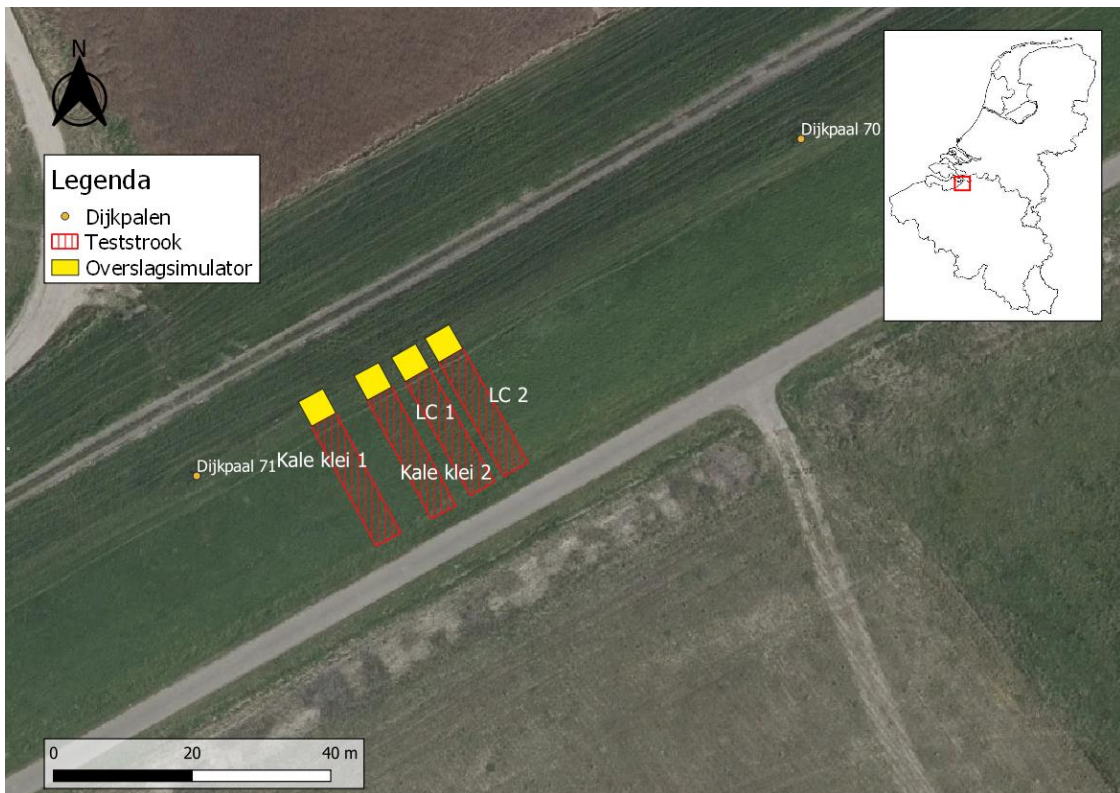
Dit dijkvak bevindt zich ter plaatse van de Lignestraat, zie Figuur 36. Hier zijn op in totaal vier teststroken proeven uitgevoerd met de WOS. De beproefde teststroken liggen allemaal op het binnentalud van de Scheldedijk tussen dijkpaal 70 en 71.

De locaties van deze teststroken (zie onderstaande tabel en Figuur 36) zijn in overleg met de projectbegeleider van Polder2C's geselecteerd.

Tabel 4: Locaties hart teststroken golfoverslagproeven proeflocatie X

Teststrook	RDX*	RDY*
Kale klei 1	73781,30	374142,18
Kale klei 2	73789,51	374145,94
LC 1	73795,01	374148,58
LC 2	73799,78	374151,45

\*midden teststrook ter plaatse van de binnenkruinlijn

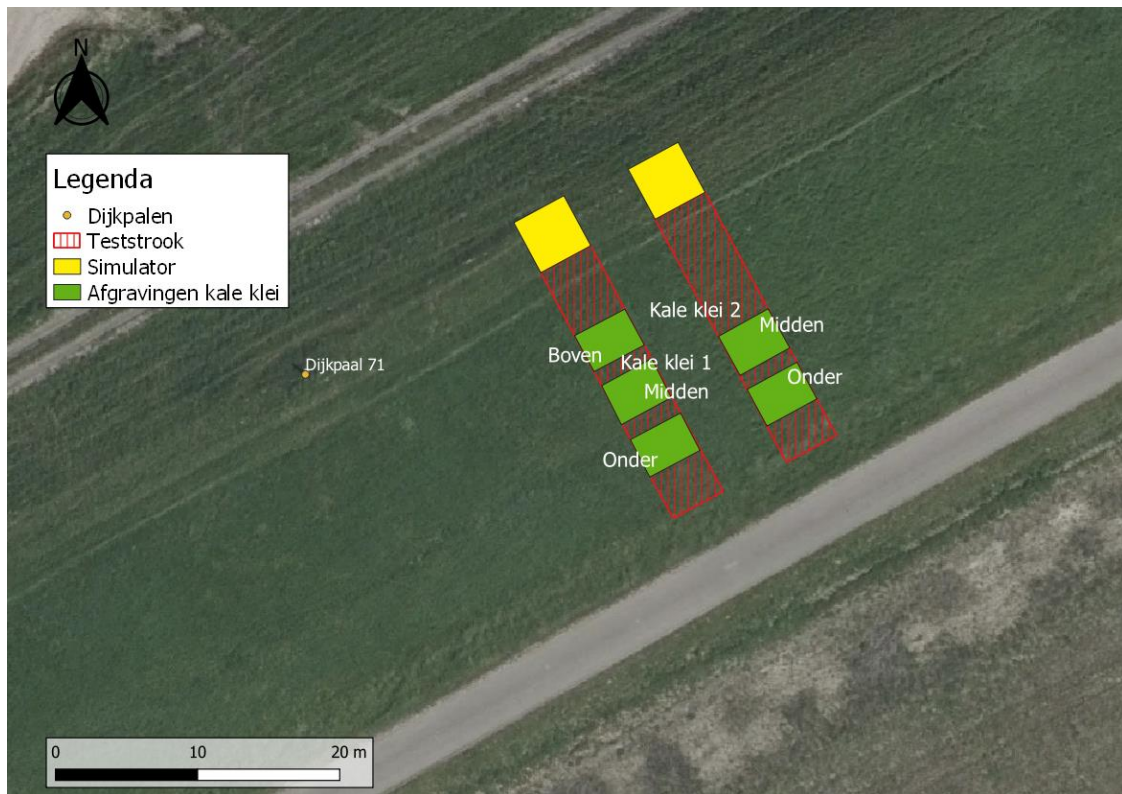


Figuur 36: Locaties teststroken golfoverslagproeven dijkvak X

### 5.2.1 Proeven kale klei

Op teststroken Kale klei 1 en 2 zijn van 2 tot en met 7 februari 2022 golfoverslagproeven op kale klei uitgevoerd. Figuur 37 toont per teststrook de locaties waar de toplaag van de zode is verwijderd en de kale klei is beproefd.





Figuur 37: Locaties afgravingen kale klei op de teststroken

Kale klei 1

Op deze teststrook zijn proeven met regelmatige golven op drie secties binnen de teststrook (onder, midden en boven) uitgevoerd. Alvorens de proef op de onderste sectie (tussen 15 en 18,5 m vanaf de uitstroomopening van de WOS) uit te kunnen voeren is voorafgaand aan de proef circa 20 cm van de toplaag van deze sectie over vrijwel de volledige breedte van de teststrook in lagen verwijderd met de bak van een long reach kraan. Onderstaand figuur geeft een impressie van deze sectie tijdens het afgraven van de toplaag.



Figuur 38: Impressie onderste sectie teststrook Kale klei 1 na gedeeltelijk afgraven toplaag.

Met de WOS zijn vervolgens de volumes in Tabel 2 op de onderste sectie gesimuleerd. Na 150 golven is de proef gestopt. Figuur 39 en Figuur 40 geeft een impressie van de sectie aan het einde van de proef.



Figuur 39: Impressie onderste sectie teststrook Kale klei 1 aan het einde van proef regelmatig 1.



Figuur 40: Impressie erosiegat onderste sectie teststrook Kale klei 1 aan het einde van proef regelmatig 1.

Na de proef op de onderste sectie is de toplaag van de middelste sectie (tussen 10,5 en 14 m vanaf de uitstroomopening van de WOS) verwijderd en is, om te voorkomen dat doorgaande erosie van de klei in de onderste sectie de proef op de middelste sectie zou beïnvloeden, de onderste sectie afgedekt met zeil (het zeil is met pennen vastgezet op het deel dat niet is afgegraven). Vervolgens zijn met de WOS de volumes in Tabel 2 gesimuleerd. Een impressie van de sectie aan het einde van de proef is weergegeven in Figuur 41.





Figuur 41: Impressie middelste sectie teststrook Kale klei 1 aan het einde van proef regelmatig 2.

Na de proef op de middelste sectie is ook de toplaag van de bovenste sectie (tussen 6 en 9,5 m vanaf de uitstroomopening van de WOS) verwijderd en is deze sectie beproefd met de volumes in Tabel 2. Ook hier is voorafgaand aan de proef de middelste sectie afgedekt. Figuur 42 geeft een impressie van de sectie aan het einde van de proef.



Figuur 42: Impressie bovenste sectie teststrook Kale klei 1 aan het einde van proef regelmatig 3.

### Kale klei 2

Op deze teststrook zijn met de WOS onregelmatige golven op twee secties binnen de teststrook (onder en midden) uitgevoerd. Zoals bij teststrook Kale klei 1 is voorafgaand aan de proef op de onderste sectie (tussen 15 en 18,5 m vanaf de uitstroomopening van de WOS) de toplaag verwijderd. Na uitvoering van proef 0,5m60lsm op de onderste sectie is de toplaag van de middelste sectie (tussen 10,5 en 14 m vanaf de uitstroomopening van de WOS) verwijderd en is de onderste sectie afgedekt. Vervolgens zijn proef 1m50lsm en hydraulische metingen uitgevoerd. Een impressie van beide secties aan het einde van de proeven is weergegeven in Figuur 43.





Figuur 43: Impressie van teststrook Kale klei 2 na proef 0,5m60lsm op de onderste sectie en zowel proef 1m50lsm als de hydraulische metingen op de middelste sectie.

### 5.2.2 Standzekerheid persoon bij golfoverslag

Omdat de bovenste sectie van teststrook Kale klei 2 niet is gebruikt werd dit deel gebruikt om te testen bij welke overslaande volumes een persoon op het binnentalud van een dijk nog standzeker is. Bij deze testen zijn in totaal zes personen met verschillende lengtes en gewicht op het bovenste deel van het talud geplaatst en is voor oplopende volumes (200 l/m tot 1.400 l/m) de standzekerheid getest waarbij de personen richting de kruin van de dijk, zijwaarts en de teen van de dijk keken.

Tijdens de proeven met de personen erodeerde klei op de onderste en middelste sectie van deze testsectie dusdanig dat er een gat in de klei ontstond, zand uitspoelde en het erosiegat snel in omvang toenam. Hoewel meer testen gepland waren konden deze, ook na diverse ingrepen (onder andere het afbuigen van het overslaande water door voor het erosiegat geleideschotten te plaatsen) niet meer plaatsvinden omdat het erosiegat dusdanig in omvang was gegroeid dat de proef niet meer veilig uitgevoerd kon worden.

### 5.2.3 Levee Challenge

Van 9 tot en met 11 februari 2022 was de Levee Challenge. Voorafgaand aan dit evenement is aan vier teams gevraagd een tijdelijke noodmaatregel voor 'stormschade' te bedenken. De effectiviteit van deze noodmaatregel bij golfoverslag werd vervolgens beproefd door met de WOS onregelmatige golven te simuleren.

Voor de stormschade is binnen twee teststroken (LC 1 en LC 2) op twee verschillende locaties binnen de teststrook (boven en onder) de afdeklaag afgegraven met de bak van een long reach kraan, zie Figuur 44 en Figuur 45.



Figuur 44: Locaties afgravingen Levee Challenge op de teststroken



Figuur 45: De vier met de long reach kraan aangebrachte schades voor de Levee Challenge. De schades zijn circa  $2 \times 2 \text{ m}^2$ . Bij de onderste gaten is de hoogte van de verticale wand circa 70 cm. De verticale wand van de bovenste gaten is circa 80 cm hoog.

Op 9 februari 2022 hebben de verschillende teams gedurende een tijdsbestek van vier uur de aangebrachte schades gerepareerd met hun noodmaatregel (zie Figuur 46 voor een impressie van het aanbrengen van de verschillende noodmaatregelen).



Figuur 46: Impressie reparatie schades voor Levee Challenge

Vervolgens is door de projectbegeleider van Polder2C's de challenge gestart om na te gaan welke noodmaatregel het beste de met de WOS gesimuleerde golfoverslag kon weerstaan. Met de WOS zijn de volgende proeven met onregelmatige golven (zie ook paragraaf 3.1) uitgevoerd:

- 1 stormuur proef '0,5m60lsm';
- 1 stormuur proef '1m50lsm';
- 1 stormuur proef '1m190lsm';
- 1 stormuur proef '2m50lsm';
- 1 stormuur proef '2m100lsm'; en
- 20 'volle bakken' (overslaande volumes van 3.400 l/m)

De proeven op teststrook LC 1 is op 9 en 10 februari 2022 uitgevoerd. Na de proeven op teststrook LC 2 is de WOS verplaatst naar teststrook LC 2. Op deze teststrook zijn op 10 en 11 februari 2022 proeven uitgevoerd.



## 6 Grasonderzoek

### 6.1 Inleiding

Bij eerder uitgevoerde golfoverslagproeven is gebleken dat overslaand water aan de grasbekleding 'trekt'. Deze trekkrachten kunnen met de graszodetrekker, zie Figuur 47, in het veld worden bepaald. Daarmee kan een schatting worden gemaakt van de kritische stroomsnelheid  $U_c$  [m/s]. Deze snelheid is in het erosiemodel voor grasbekleding op de kruin en het binnentalud, de cumulatieve overbelastingmethode, een karakterisering van de sterkte van de grasbekleding.

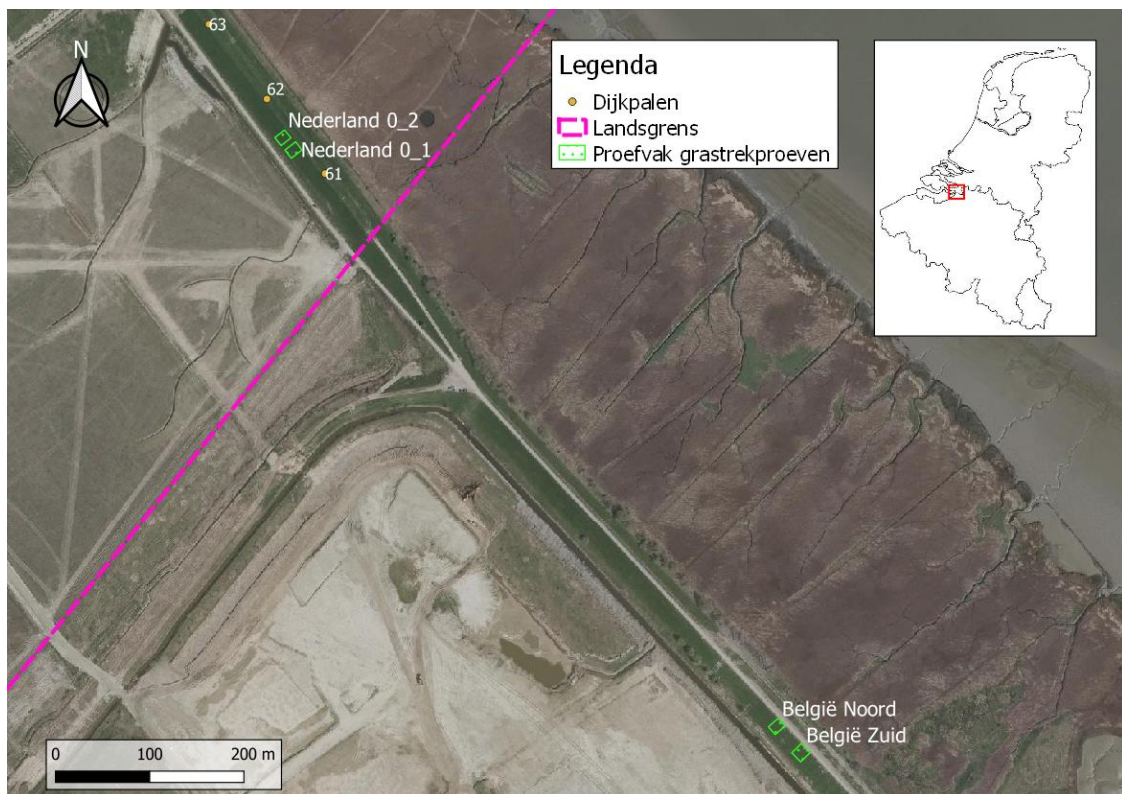


Figuur 47: Graszodetrekker

Bij het uitvoeren van een grastrekproef worden pennen gebruikt om de graszode als het ware op te pakken. Deze pennen worden op ongeveer 4 cm onder het oppervlak door de graszode gedrukt. Hiervoor moet eerst een speciaal ontwikkeld (snij)mal geplaatst worden. Deze mal van 20 x 20 m wordt in de graszode gedrukt/geslagen en snijdt twee zijden van de zode over een diepte van 8 cm los<sup>8</sup>. Merk op dat daar waar de graszode wordt doorgesneden de zode geen bijdrage levert aan de kracht die nodig is om de zode los te trekken<sup>9</sup>. Vervolgens wordt aan weerszijden van de mal de graszode vrijgegraven en wordt het trekframe geplaatst. Door de in het frame aanwezige uitsparingen worden de pennen aangebracht. Met behulp van de graszodetrekker kan het frame en daarmee de zode uit het talud worden getrokken. Tijdens het trekken wordt de maximale kracht gemeten die nodig is om de zode los te trekken. Op twee locaties in het LL HPP, 'Nederland' en 'België', zijn grastrekproeven uitgevoerd met de graszodetrekker. In Figuur 48 zijn beide proeflocaties voor de diverse grastrekproeven weergegeven.

<sup>8</sup> Het is ook mogelijk om proeven met vier zijden los uit te voeren. Om vier zijden van de grasmat los te snijden wordt de (snij)mal 90° gedraaid, opnieuw aangebracht en in de grond geslagen.

<sup>9</sup> Om de totale trekkracht voor het uittrekken van een intacte zode te bepalen wordt de trekkracht die wordt gevonden bij proeven waarbij twee zijden van de zode zijn losgesneden vermenigvuldigd met een amplificatie factor  $AF$ . De waarde van deze factor is mede afhankelijk van de resultaten van proeven waarbij vier zijden van de zoden los zijn gesneden. Het is ook mogelijk om een standaardwaarde (1,56) te gebruiken.



Figuur 48: Locaties grastrekproeven in het LL HPP.

Bij de proeven zijn ook foto's van de uitgetrokken zoden gemaakt. Voor deze foto's wordt verwezen naar Bijlage D.

## 6.2 Resultaten

### 6.2.1 Locatie Nederland

Bij locatie Nederland zijn in twee vakken aan weerszijden van teststrook 0 binnen dijkvak VI grastrekproeven uitgevoerd. In elk vak (0\_1 en 0\_2) zijn verdeeld over de hoogte en breedte van het talud de volgende proeven uitgevoerd:

- 15 proeven met twee zijden losgesneden; en
- 5 proeven met vier zijden los.

In Bijlage H zijn de resultaten van de uitgevoerde grastrekproeven opgenomen. In Tabel 5 is een samenvatting van de gemeten trekkrachten voor beide vakken (afzonderlijk) weergegeven. Uit de resultaten blijkt dat de gemiddelde maximale trekkracht voor vak 0\_2 lager is dan voor vak 0\_1. Dit geldt voor de proeven met zowel twee als vier zijden los. Ook is de maximumwaarde van de trekkracht in vak 0\_2 lager. Alleen de minimumwaarde van de proef met twee zijden los is in vak 0\_2 hoger dan in vak 0\_1. Wat opvalt is dat de standaardafwijking van de trekkracht voor vak 0\_2 kleiner is: hier is dus een kleinere spreiding in de kwaliteit van de grasbekleding aanwezig.

Tabel 5: Resultaten grastrekproeven locatie Nederland

Vak	Aantal	Conditie*	Gemiddelde maximale trekkracht** [N]	Standaardafwijking Trekkracht** [N]	Minimum Trekkracht** [N]	Maximum Trekkracht** [N]
0_1	15	2	787	137	437	1.103
	5	4	469	97	362	602
0_2	15	2	653	105	510	922
	5	4	428	79	322	521
0_1+0_2	30	2	720	138	437	1.103
	10	4	449	86	322	602

\*aantal zijden los

\*\*gecorrigeerd voor gewicht zode

### 6.2.2 Locatie België

Bij locatie België zijn verdeeld over twee vakken (Noord en Zuid) 40 grastrekproeven uitgevoerd. In beide vakken zijn verdeeld over de hoogte en breedte van het talud de volgende proeven uitgevoerd:

- 16 proeven met twee zijden los; en
- 4 proeven met vier zijden los.

In Bijlage H zijn de resultaten van de uitgevoerde grastrekproeven opgenomen. In Tabel 6 is een samenvatting van de gemeten trekkrachten voor beide vakken (afzonderlijk) weergegeven.

Tabel 6: Resultaten grastrekproeven locatie België

Vak	Aantal	Conditie	Gemiddelde maximale trekkracht* [N]	Standaardafwijking Trekkracht** [N]	Minimum Trekkracht** [N]	Maximum Trekkracht** [N]
Noord	16	2	719	280	439	1.479
	4	4	503	111	400	648
Zuid	16	2	765	244	453	1.262
	4	4	330	130	206	458
Noord+Zuid	32	2	742	260	439	1.479
	8	4	417	145	206	648

\*gecorrigeerd voor gewicht zode

Uit de resultaten blijkt dat bij de proeven met twee zijden los de gemiddelde maximale trekkracht voor vak Zuid hoger is dan voor vak Noord. De gemiddelde maximale trekkracht voor vak Zuid is echter kleiner bij de proeven met vier zijden los. Dit geldt ook voor de minimum waarden van de trekkracht in vak Zuid. Deze waarden zijn bij de proeven met twee zijden los in vak Zuid wel hoger, maar lager dan de waarden bij de proeven met vier zijden los in vak Noord. De maximum waarden van trekkracht zijn daarentegen in vak Noord juist weer groter dan in vak Zuid. Dit geldt voor de proeven met zowel twee als vier zijden los.

Wat verder opvalt is dat de standaardafwijking van de trekkracht bij de proeven met twee zijden los voor vak Noord kleiner is dan die voor vak Zuid: hier is voor deze condities dus een kleinere spreiding in de kwaliteit van de grasbekleding aanwezig. Bij de proeven met vier zijden los is de spreiding voor dit vak echter kleiner.

### 6.2.3 Vergelijking locaties

In Tabel 7 is een samenvatting van de gemeten trekkrachten voor beide locaties (afzonderlijk) weergegeven.



Tabel 7: Resultaten grastrekproeven locaties Nederland en België

Locatie	Aantal	Conditie	Gemiddelde maximale trekkkracht** [N]	Standaardafwijking Trekkkracht** [N]	Minimum Trekkkracht** [N]	Maximum Trekkkracht** [N]
Nederland (0_1+0_2)	30	2	720	138	437	1103
	10	4	449	86	322	602
België (Noord+Zuid)	32	2	742	260	439	1479
	8	4	417	145	206	648

\*exclusief gewicht zode

Uit de resultaten blijkt dat de gemiddelde maximale trekkkrachten vergelijkbaar zijn. Voor locatie België is de gemiddelde maximale trekkkracht voor proeven met twee zijden los het grootst. Wat opvalt is dat de standaardafwijking van de trekkkracht voor locatie Nederland voor de proeven met zowel twee als vier zijden los veel kleiner is: hier is dus een kleinere spreiding in de kwaliteit van de grasbekleding aanwezig.

### 6.3 Schatting kritische stroomsnelheid

Voor het schatten van de kritische stroomsnelheid per locatie moeten de gevonden trekkkrachten worden omgezet naar een representatieve grootheid, de kritische normaalspanning  $\sigma_{grass,c}$ . Deze spanning kan per individuele proef met de volgende formule uit [3] bepaald:

$$\sigma_{grass,c} = \frac{F_2 * AF}{A_b + 4 * A_s}$$

Waarin:

$\sigma_{grass,c}$  kritische normaalspanning [N/cm<sup>2</sup>]

$F_2$  maximale trekkkracht twee zijden losgesneden graszode gecorrigeerd voor eigen gewicht [N]

$AF$  amplificatie factor [-]. Gelet op de resultaten van de met 4 zijden los uitgevoerde proeven is de waarde voor deze factor voor de locatie Nederland en België respectievelijk 1,51 en 1,58. Merk op dat deze waarden nagenoeg hetzelfde zijn als de standaardwaarde (1,56).

$A_b$  bodem oppervlakte van uitgetrokken zode [cm<sup>2</sup>]

$A_s$  oppervlakte van de zijden van de uitgetrokken zode [cm<sup>2</sup>]

Bij de bepaling van de normaalspanning per proef is voor het oppervlak van de onderzijde van de zode  $A_b$  en het oppervlak van de zijkant van de zode  $A_s$  uitgegaan van de in het veld gemeten waarden. Tijdens golfoverslag wordt aangenomen dat de grasbekleding faalt op het zwakste punt. Op basis van de voor de verschillende proeven bepaalde normaalspanningen is per locatie het gemiddelde en de standaardafwijking bepaald om vervolgens de 2,5% onderschrijdingswaarde van  $\sigma_{grass,c}$  te bepalen (hierbij is gebruik gemaakt van de kritieke t-waarde voor een oneindig aantal vrijheidsgraden (1,96)). Met de volgende formule uit [3] is vervolgens de kritische stroomsnelheid voor een volledig verzadigde graszode geschat:

$$U_c = 2,83 \sqrt{\frac{(\sigma_{grass,c})}{1.000}}$$

Waarin:

$\sigma_{grass,c}$  kritische normaalspanning [N/cm<sup>2</sup>]

In Tabel 8 is op basis van de uitgevoerde grastrekproeven een schatting van de kritische stroomsnelheid per locatie gegeven. De op basis van de grastrekproeven geschatte kritische stroomsnelheid is voor locatie Nederland groter dan die voor locatie België. Dit verschil kan onder andere worden verklaard door de voor locatie België gevonden grotere spreiding in de gemeten trekkkrachten en het gebruik van de 2,5% onderschrijdingswaarde voor het bepalen van de kritische normaalspanning.

Tabel 8: Schatting kritische stroomsnelheid locaties Nederland en België

<b>Locatie</b>	<b><math>U_c</math> [m/s]</b>
Nederland (0_1+0_2)	6,52
België (Noord+Zuid)	5,03

Merk op dat bij de bepaling van de kritische stroomsnelheid is verondersteld dat de graszode volledig verzadigd is. Voorafgaand en tijdens het uitvoeren van de grastrekproeven was het over het algemeen relatief droog. Mogelijk was de zode dus niet volledig verzadigd en is dus mogelijk sprake van enige overschatting van de kritische stroomsnelheid.

## Verwijzingen

- [1] Infram Hydren, „Factual report golfklapproeven Polder2C's,” 2022.
- [2] EurOtop, „Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application,” 2018.
- [3] R.W. Bijlard, „Strength of the grass sod on dikes during wave overtopping.,” 2015.



## Bijlagen

## A. Overzicht uitgevoerde proeven dijkvak VI

Voor elk van de proeven is een testpaspoort opgesteld. In dit testpaspoort is per proef een overzicht van de uitgevoerde testen binnen dijkvak VI weergegeven. Voor de testpaspoorten wordt verwezen naar:

Bijlage A - Testpaspoort proeven teststroken dijkvak VI.xlsx

## B. Inmeting teststroken golfoverslagproeven

Voor de teststroken binnen dijkvak VI en de teststroken voor de proeven met kale klei binnen dijkvak X is per vak de helling van het talud met een digitale waterpas gemeten: in het midden van de teststrook is de helling per vak over één meter gemeten. De taludhelling en het op basis hiervan verkregen profiel zijn hieronder weergegeven. In de figuren is ook het op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland<sup>10</sup> (AHN) geconstrueerde profiel weergegeven. Merk op dat in de figuren van de teststroken voor de proeven met kale klei de afgegraven secties niet zijn weergegeven.

---

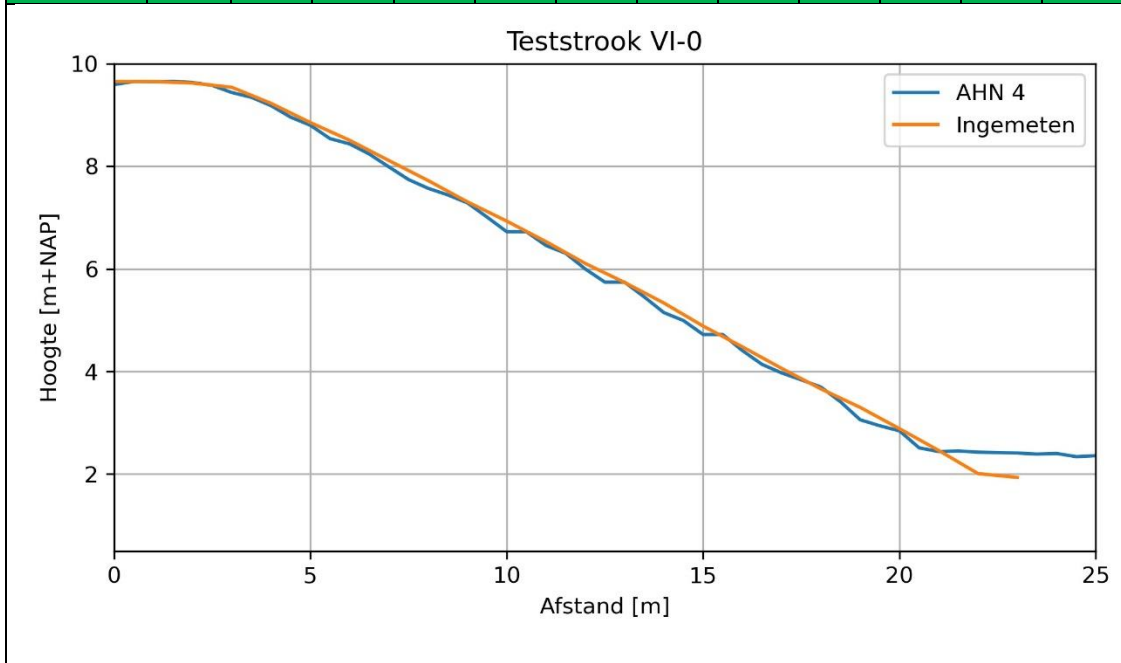
<sup>10</sup> Digitale hoogtekaart waarbij de data wordt ingewonnen via laseraltimetrie vanuit vliegtuigen.



Dijkvak VI

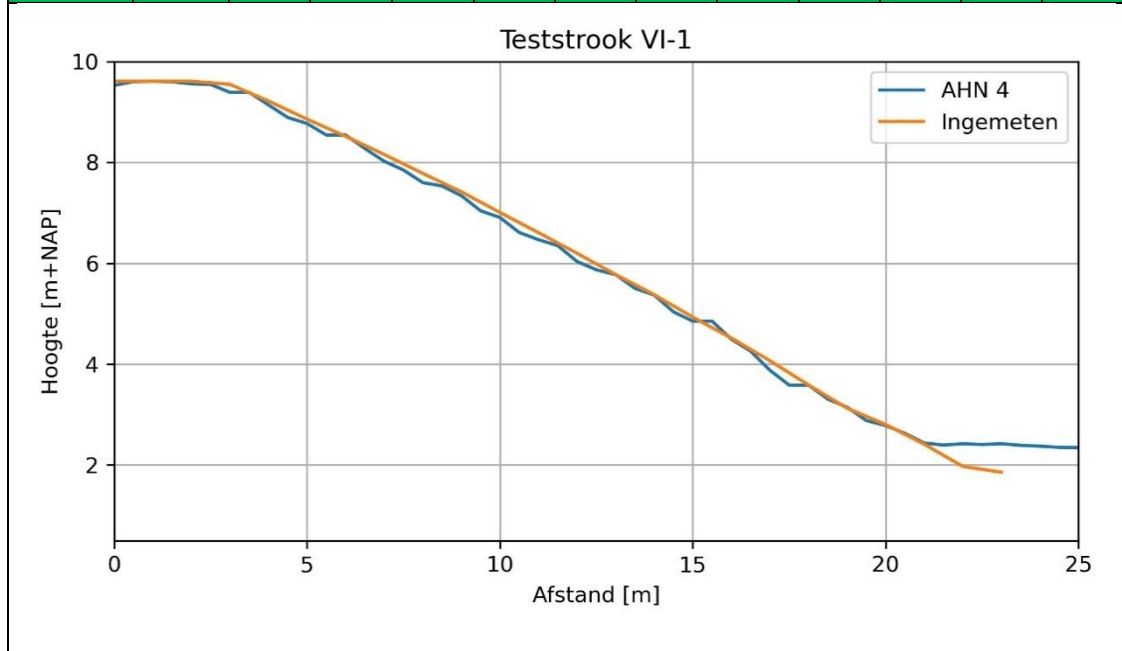
Teststrook 0

Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\tan\alpha$ [-]	0,00	0,03	0,08	0,31	0,38	0,35	0,40	0,39	0,42	0,38	0,40	0,43
Vak	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
$\tan\alpha$ [-]	0,37	0,40	0,45	0,41	0,42	0,40	0,36	0,42	0,43	0,45	0,08	



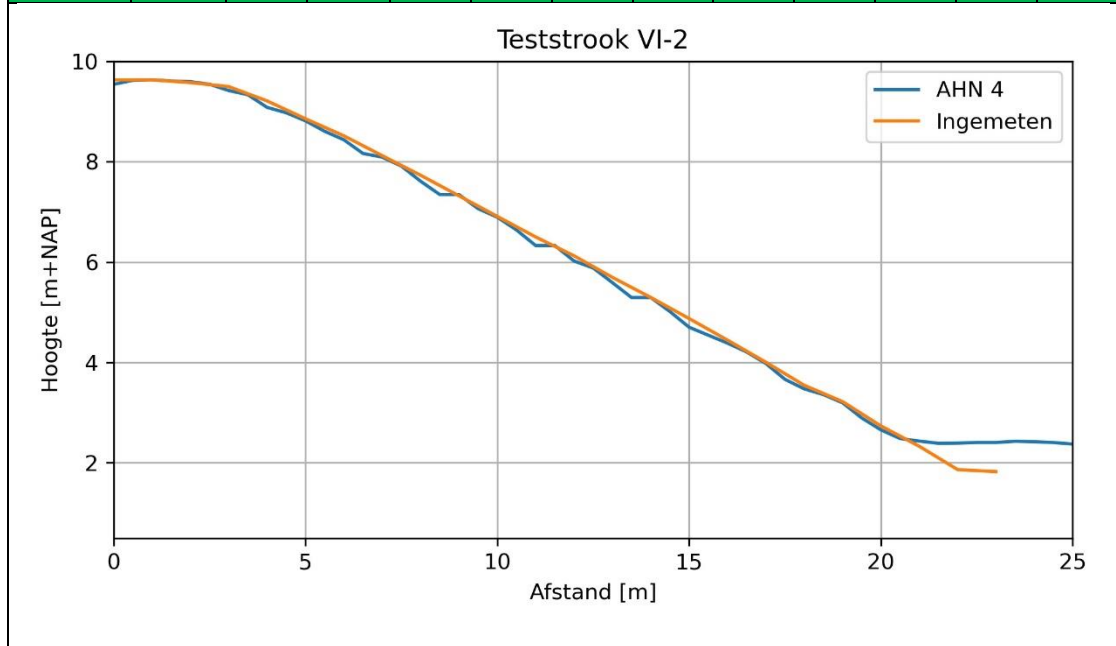
Teststrook 1

Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\tan\alpha$ [-]	0,00	0,00	0,06	0,33	0,36	0,34	0,36	0,38	0,37	0,41	0,40	0,41
Vak	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
$\tan\alpha$ [-]	0,42	0,40	0,45	0,42	0,45	0,48	0,46	0,33	0,39	0,44	0,12	



Teststrook 2

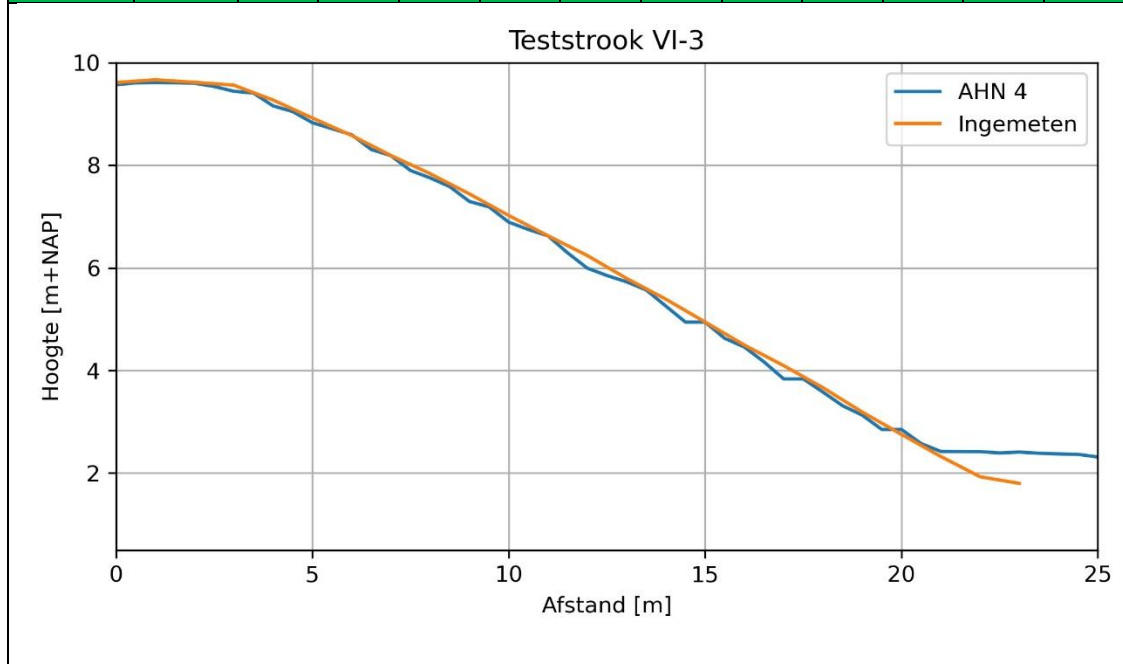
Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\tan\alpha$ [-]	0,00	0,06	0,08	0,29	0,36	0,34	0,40	0,39	0,41	0,41	0,41	0,38
Vak	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
$\tan\alpha$ [-]	0,43	0,40	0,42	0,43	0,44	0,46	0,33	0,49	0,41	0,47	0,04	





Teststrook 3

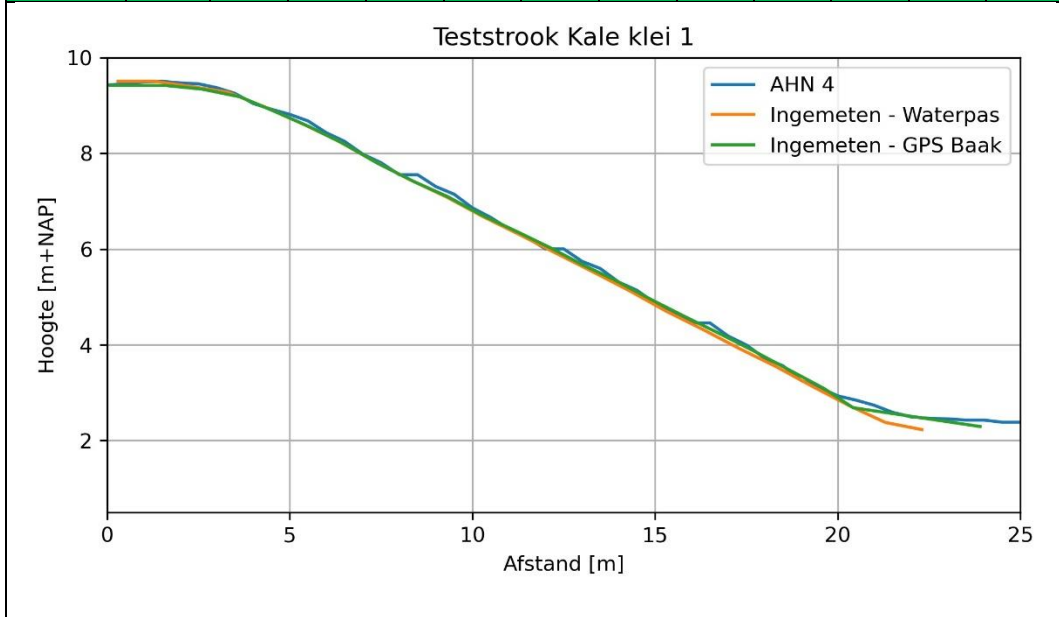
Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\tan\alpha$ [-]	-0,06	0,05	0,06	0,29	0,35	0,34	0,39	0,36	0,40	0,42	0,40	0,39
Vak	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
$\tan\alpha$ [-]	0,45	0,41	0,45	0,45	0,40	0,43	0,48	0,44	0,43	0,40	0,13	



Dijkvak X

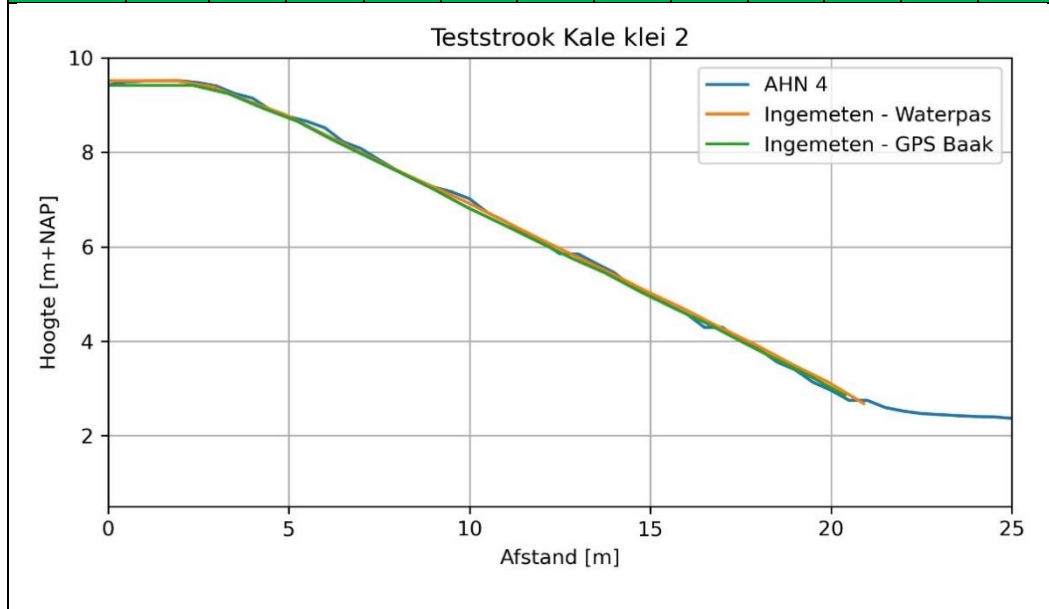
Teststrook Kale klei 1

Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\tan\alpha$ [-]	0,00	0,11	0,12	0,31	0,34	0,37	0,43	0,40	0,36	0,41	0,38	0,39
Vak	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
$\tan\alpha$ [-]	0,39	0,40	0,43	0,38	0,40	0,38	0,42	0,40	0,36	0,15		



Teststrook Kale klei 2

<b>Vak</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>tan<math>\alpha</math> [-]</b>	0,00	0,00	0,13	0,30	0,29	0,38	0,38	0,38	0,35	0,35	0,39	0,38
<b>Vak</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>			
<b>tan<math>\alpha</math> [-]</b>	0,37	0,37	0,39	0,36	0,40	0,37	0,41	0,38	0,46			





## C. Overslaande golfvolumes

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

Bijlage C - Overslaande golfvolumes Polder2C's.xlsx

## D. Foto's teststroken dijkvak VI

Bij de golfoverslagproeven op de teststroken binnen dijkvak VI zijn (detail)foto's gemaakt. Voor deze foto's wordt verwezen naar:

Bijlage D-1 - Foto's teststrook 0 dijkvak VI.zip

Bijlage D-2 - Foto's teststrook 1 dijkvak VI.zip

Bijlage D-3 - Foto's teststrook 2 dijkvak VI.zip

Bijlage D-4 - Foto's teststrook 3 dijkvak VI.zip

Bij de grastrekproeven zijn foto's van de uitgetrokken zode gemaakt. Voor deze foto's wordt verwezen naar:

Bijlage D-5 - Foto's grastrekproeven Nederland LLHPP.zip

Bijlage D-6 - Foto's grastrekproeven België LLHPP.zip

## **E. Metingen RTK GNSS teststroken dijkvak X**

Met RTK GNSS zijn bij de golfoverslagproeven op de teststroken binnen dijkvak X metingen uitgevoerd. Voor de resultaten van deze metingen wordt verwezen naar:

Bijlage E - Metingen RTK GNSS teststroken dijkvak X.zip



## **F. Ontwikkeling erosie en schade (foto's)**

Voor, tijdens en na de proeven op de teststroken binnen dijkvak VI zijn foto's gemaakt om de ontwikkeling van de erosie en schade per proef vast te leggen. Aan de hand van de gemaakte foto's per teststrook is een overzicht van de erosie- en schadeontwikkeling gegeven. Hiervoor wordt verwezen naar:

Bijlage F - Ontwikkeling erosie en schade golfoverslag.pdf

## G. Hydraulische metingen

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

Bijlage G - Uitwerking frontsnelheden golfoverslagproeven Polder2C's\_v2.pdf

## H. Resultaten grastrekproeven

Voor de resultaten van de grastrekproeven wordt verwezen naar:

Bijlage H - Resultaten grastrekproeven Polder2C's.xlsx



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

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

**INFRAM International B.V.**

Amersfoortseweg 9  
3951 LA Maarn

Postadres:  
Postbus 150  
3950 AD Maarn

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

**[www.infram-hydren.nl](http://www.infram-hydren.nl)**