

Monitoring pilot Houtribdijk



Monitoring pilot Houtribdijk

Ellis Penning (Deltares)
Rienkjan Bijlsma (WEnR)
Kees den Heijer (Deltares)
Marieke de Lange (WEnR)
Vincent Vuik (HKV)

1209013-000

Titel

Monitoring pilot Houtribdijk

Opdrachtgever

RWS

Project

1209013-000

Kenmerk

1209013-000-ZWS-0034

Pagina's

149

Trefwoorden

Zandige voorlanden, Houtribdijk, Monitoring, Markermeer

Samenvatting

Voor een deel van de Houtribdijk is een pilot zandstrand gerealiseerd met als doel om kennis, en toets- en ontwerptools te ontwikkelen, die kunnen bijdragen aan het sneller en beter onderbouwd realiseren van zandige versterkingswerken voor de grotere meren (RWS/EcoShape, 2016). Dit document geeft een overzicht van de uitgevoerde reguliere monitoring van de pilot Houtribdijk vanaf augustus 2014 tot en met februari 2018.

De reguliere monitoring omvatte metingen van de hydrodynamica, meteorologie, morfodynamica, bodemsamenstelling, vegetatieontwikkeling en grondwaterstanden.

De monitoring is gecoördineerd door Deltares (hydrodynamica, morfodynamica, meteorologie) en Wageningen Environmental Research (vegetatieontwikkeling, grondwater, bodemsamenstelling). Dataverwerking van de hydrodynamica is uitgevoerd door HKV.

Aan dit rapport hebben bijgedragen

- Inleiding, Samenvatting en redactie: Ellis Penning (Deltares) Rienk-Jan Bijlsma en Marieke de Lange (WEnR);
- Plan van aanpak monitoring: Ellis Penning (Deltares) en Marieke de Lange (WEnR)
- Meetopstelling en uitvoering metingen Meteorologie en hydrodynamica: Ellis Penning, Bas Blok, Enno van Waardenberg en Jelle Molenaar (Deltares)
- Datamanagement: Kees den Heijer (Deltares)
- Analyse hydrodynamica data: Vincent Vuik; Joost Pol en Carolien Wegman (HKV)
- Morfodynamica: Ellis Penning (Deltares)
- Bodemkarakteristieken en -ontwikkeling door Rienk-Jan Bijlsma, Rein de Waal en Rik Huiskes (WEnR);
- Grondwaterkarakteristieken: Willy de Groot (WEnR);
- Zandafslag en vegetatie-ontwikkeling uit satellietbeelden: Gerbert Roerink (WEnR);
- Vegetatie-ontwikkeling uit terreingegevens: John Janssen, Rienk-Jan Bijlsma en Rik Huiskes (WEnR)

De aanvullende metingen uitgevoerd in de winter 2017-2018 zijn beschreven in een apart document (McCall et al 2018)



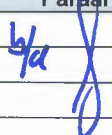
Titel
Monitoring pilot Houtribdijk

Opdrachtgever RWS **Project** 1209013-000 **Kenmerk** 1209013-000-ZWS-0034 **Pagina's** 149

Referenties

Penning en de Lange nov. 2014. Pilot Voorlandoplossingen Houtribdijk – Monitoringsprogramma. Deltares rapport 1209013-000-ZWS-0019

McCall R., Van der Lugt M, Gahen M, Vuik V (2018) Aanvullende metingen en modelering pilot Houtribdijk. Deltaresrapport 1209013-006

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
v.1	juli 2018	Ellis Penning (ed.)		Robert McCall		Gerard Blom	

Status
definitief

Inhoud

1	Algemene introductie en inrichting proefsectie	1
1.1	Introductie	1
1.2	Doel van dit rapport	2
1.3	Leeswijzer	4
2	Plan van aanpak monitoring	5
2.1	Inrichting van de proefsectie	5
2.1.1	Inrichting met betrekking tot abiotische factoren	5
2.1.2	Inrichting met betrekking tot biotische factoren	6
2.1.3	Rijsmatten	8
2.2	Nulmeting	9
2.3	Uitgevoerde reguliere monitoring	9
2.3.1	Algemeen management van de site	9
3	Hydrodynamica en meteorologie	11
3.1	Meetstation en data-inwinning	11
3.2	Datamanagement pilot Houtribdijk	12
3.3	Onderhoudsbezoeken	14
3.4	Algemene karakteristieken hydrodynamica	16
3.4.1	Wind	16
3.4.2	Waterstand	17
3.4.3	Golfhoogte	19
3.4.4	Golfperiode	23
3.4.5	Gemiddelde golfrichting	24
3.4.6	Stroming	24
3.4.7	Karakterisering klimaat per periode	28
3.4.8	Algemene karakteristieken (18-9-2014 t/m 20-03-2018)	28
4	Morfodynamica en bodemkarakteristieken	29
4.1	Morfodynamica totale talud	29
4.2	Camera-beelden voor oeverlijn ontwikkeling	32
4.3	Korrelgrootte analyse	34
4.3.1	Methode korrelgrootte analyse	34
4.3.2	Aangevoerd zand bij aanleg	37
4.3.3	Analyse korrelgrootteverdeling droge talud	38
4.3.4	Onderwater-analyses korrelgrootte	41
4.3.5	Variatie in korrelgrootteverdeling en D_{50} over het dwarsprofiel van de pilot	42
4.4	Bodemchemie	43
4.4.1	Analyse bodemchemie 2015	43
4.4.2	Analyse bodemchemie 2016	45
4.4.3	Analyse bodemchemie 2017	48
4.4.4	Conclusies bodemchemie droge talud	50
4.5	Ontwikkeling van de grondwaterstand	51
4.5.1	Analyse van de peilbuisgegevens	51
4.5.2	Conclusies	53
5	Vegetatie-ontwikkeling	55

5.1	Zandafslag en vegetatie-ontwikkeling uit satellietbeelden	55
5.1.1	Gebruikte remote sensing-data	55
5.1.2	Veranderingen in zandoppervlak door erosie	56
5.1.3	Ontwikkeling van de biomassa (groenindex)	59
5.1.4	Conclusies satelliet-analyses	62
5.2	Vegetatie-ontwikkeling uit veldgegevens	63
5.2.1	Opzet proef en inwinning veldgegevens	63
5.2.2	Erosie en watervegetatie	63
5.2.3	Rietontwikkeling	64
5.2.4	Vegetatieontwikkeling in relatie tot inrichting	65
5.3	Conclusies en aanbevelingen met betrekking tot de vegetatieontwikkeling	69
5.3.1	Rietontwikkeling	69
5.3.2	Spontane vegetatieontwikkeling	69
5.3.3	Aanplant struweel	70
5.3.4	Lange termijn ontwikkeling	70
6	Referenties	71
Bijlage(n)		
A	Beschrijving meetopstelling	A-1
A.1	Meteorologie	A-1
A.2	Waterstand	A-2
A.3	Golven	A-3
A.4	Validatie golfmetingen	A-4
A.5	Overwegingen m.b.t. aangroei van ADV	A-4
B	Datalogger programma	B-1
B.1	Meetproces per instrument in de datalogger	B-1
B.1.1	ADV	B-1
B.1.2	Camera	B-1
B.1.3	Waterstand en meteo	B-2
B.1.4	Wireless gateway	B-2
B.1.5	GSM-modem	B-2
C	Karakterisering hydrodynamica per periode	C-1
C.1	T1-T2 (18-9-2014 tot 25-10-2014)	C-3
C.2	T2-T3 (25-10-2014 tot 19-11-2014)	C-5
C.3	T3-T4 (19-11-2014 tot 28-12-2014)	C-6
C.4	T4-T5 (28-12-2014 tot 23-01-2015)	C-8
C.5	T5-T6 (23-01-2015 tot 15-02-2015)	C-10
C.6	T6-T7 (15-02-2015 tot 18-03-2015)	C-11
C.7	T7-T8 (18-03-2015 tot 06-04-2015)	C-12
C.8	T8-T9 (06-04-2015 tot 21-08-2015)	C-13
C.9	T9-T10 (21-08-2015 tot 15-01-2016)	C-14
C.10	T10-T11 (15-01-2016 tot 28-02-2016)	C-15
C.11	T11-T12 (28-02-2016 tot 27-05-2016)	C-16
C.12	T12-T13 (27-05-2016 tot 23-08-2016)	C-18
C.13	T13-T14 (23-08-2016 tot 23-11-2016)	C-20
C.14	T14-T15 (23-11-2016 tot 06-03-2017)	C-22

C.15 T15-T16 (06-03-2017 tot 17-05-2017)	C-24
C.16 T16-T17 (17-05-2017 tot 01-09-2017)	C-26
C.17 T17-T18 (01-09-2017 tot 19-10-2017)	C-28
C.18 T18-T19 (19-10-2017 tot 01-12-2017)	C-30
C.19 T19-T20 (01-12-2017 tot 22-12-2017)	C-32
C.20 T20-T21 (22-12-2017 tot 06-01-2018)	C-34
C.21 T21-T22 (06-01-2018 tot 20-02-2018)	C-36
C.22 T22-T23 (20-02-2018 tot 20-03-2018)	C-38
D Aanvullende resultaten bodemkarakteristieken 2015	D-1
D.1 Materiaal en methoden 2015	D-1
D.2 Detailresultaten bodemkarakteristieken 2015	D-1
D.2.1 Resultaten korrelgrootte	D-1
D.2.2 Resultaten organische stof	D-3
D.2.3 Resultaten P-totaal gehalte	D-3
D.2.4 Resultaten stikstofgehalte (N-totaal)	D-4
D.2.5 Resultaten vochtgehalte	D-4
D.2.6 Resultaten zuurgraad (pH)	D-5
E Aanvullingen theoretisch kader vegetatieontwikkeling	E-1
E.1 Standplaatsfactoren als conceptueel denkmodel	E-1
E.2 Wensbeeld vegetatie	E-3
E.3 Beschrijving standplaatsen gewenste vegetatie	E-3
E.3.1 Algemene groeicondities Riet	E-3
E.3.2 Algemene groeicondities Kleine lisdodde	E-4
E.3.3 Algemene groeicondities Rietgras	E-4
E.3.4 Algemene groeicondities Wilg	E-4
E.4 Gewenste standplaatsen	E-4
E.5 Verwachte eindbeeld vegetatie	E-6
E.5.1 Natuurlijke rietzones	E-6
E.5.2 Tijdsduur	E-7
E.5.3 Invloed van graas, natuurlijke successie	E-7
E.6 Resultaten vegetatie per periode	E-7
E.6.1 Vegetatie opnamen vlak na aanleg	E-7
E.6.2 Resultaten PQ's mei 2015	E-11
E.6.3 Resultaten PQ's september 2015	E-11
E.6.4 Resultaten PQs september 2016	E-16
E.6.5 Worteldichtheid struweel	E-25

1 Algemene introductie en inrichting proefsectie

1.1 Introductie

De ruim 25 km lange Houtribdijk vormt een verbinding tussen Lelystad en Enkhuizen en tevens de grens tussen IJsselmeer en Markermeer (figuur 1.1). De aanleg van deze dam is in 1956 begonnen met als doel het Markermeer in te polderen. De hoge kosten zorgden ervoor dat de dam in fasen werd aangelegd, en pas in 1975 is de afdamming voltooid. De inpoldering van het Markermeer is er nooit van gekomen en in 2003 is definitief besloten het meer niet droog te leggen.

De dijk heeft een belangrijke waterstaatskundige functie: omdat ze het grote watervlak van het IJsselmeer in tweeën deelt, dwars op de overheersende zuidwestelijke windrichting, wordt de windwerking verkleind en daarmee het ontstaan van grote golven aan de oostzijde van het IJsselmeer verminderd. De dijk moet versterkt worden, aangezien ze niet bestand is tegen verwachte sterkere stormen die gemiddeld eens in de 10.000 jaar voorkomen. Een deel van deze versterking al worden uitgevoerd middels een zandige vooroeverversterking. Bij de versterking worden ook kansrijke locaties voor natuur en recreatie ontwikkeld.

Voor een deel van de Houtribdijk is een pilot zandstrand gerealiseerd met als doel om kennis, en toets- en ontwerptools te ontwikkelen, die kunnen bijdragen aan het sneller en beter onderbouwd realiseren van zandige versterkingswerken voor de grotere meren (RWS/EcoShape, 2016).



Figuur 1.1. Het noordelijke deel van de Houtribdijk met Enkhuizen op de achtergrond en de Trintelhaven op de voorgrond in 2017. Direct achter de haven, aan de westzijde van de dijk is het proefproject te zien, met de rood gekleurde, ver uitstekende strekdam (foto: Gerhard van Roon, Rijkswaterstaat).

1.2 Doel van dit rapport

Dit rapport beschrijft de uitgevoerde reguliere monitoring van de pilot voorlandoplossing Houtribdijk. De aanvullende metingen uitgevoerd in de winter 2017-2018 zijn apart gerapporteerd in McCall et al 2018. Uit de eerste opzet van het monitoringsprogramma (Penning en de Lange, 2014) zijn hieronder de overkoepelende onderzoeksvragen, zoals ook beschreven in het overkoepelende projectplan (Steetzel et al 2014), overgenomen. Het monitoringsprogramma is ontworpen om deze vragen te beantwoorden:

De hoofdvraag van het totale project is:

Hoe kan een veilige, stabiele en kostenefficiënte voorlandoplossing worden gecreëerd?

Om deze te beantwoorden is het project in 5 fases verdeeld en zijn per fase een aantal kennisvragen gedefinieerd (projectplan hoofdstuk 2).

Fase 1: Ontwerp

1. Wat is de invloed van de taludhelling van het voorland op de effectiviteit en de stabiliteit van het voorland?
2. Kan er gebruik worden gemaakt van een mengsel van zand en holocene klei bij de aanleg van het voorland?
3. Wat is de invloed van vegetatie in het dwarsprofiel op de effectiviteit en de stabiliteit van het voorland?
4. Hoe kan een dijk-voorlandstelsel worden ontworpen dat voldoet aan de veiligheidsnormen?

Fase 2: Aanleg

5. Hoe ziet het vergunningenproces voor de aanleg van een voorland eruit?
6. Hoe kan het beoogde talud worden aangelegd met minimale inspanning?
7. Hoe kan de beoogde vegetatie zo snel mogelijk worden gerealiseerd?

Fase 3: Beheer en onderhoud

8. Welk beheer en onderhoud is benodigd voor het behoud van een stabiel talud?
9. Welk beheer en onderhoud is gewenst voor de ontwikkeling en instandhouding van vegetatie?

Fase 4: Toetsing

10. Hoe kan getoetst worden of een dijk-voorlandstelsel voldoet aan de veiligheidsnormen?
11. Wat is de rol van vegetatie in de toetsing?
12. Welke monitoringsfrequentie is nodig om de veiligheid van het systeem te waarborgen?

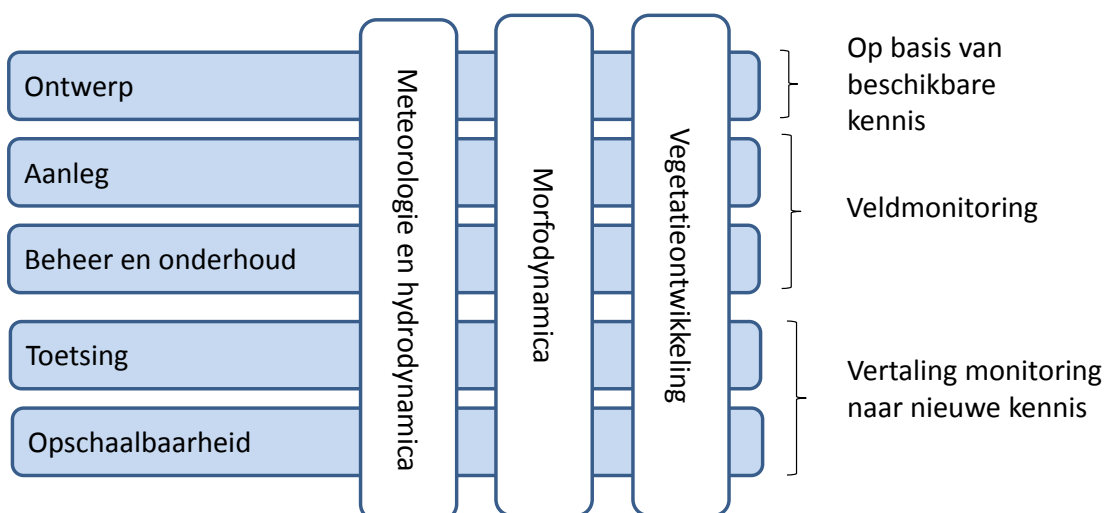
Fase 5: Opschaalbaarheid

13. Hoe kan de proefsectie worden opgeschaald naar locaties met andere karakteristieken?

De kennisvragen focussen op verschillende disciplinaire thema's die door alle fases van het project worden gedeeld. Daarvan zijn er drie technische disciplines waar het monitoringsprogramma zich op richt:

1. **Meteorologie en hydrodynamica** (golf- en stromingspatronen) als externe sturende factor.
2. **Morfodynamica** als gevolg van zetting en hydrodynamica-gedreven erosie en sedimentatieprocessen en de rol van vegetatie daarin
3. **Vegetatieontwikkeling** ten behoeve van veiligheid en ecologische meerwaarde en de rol van het beheer op deze ontwikkeling.

De kennisvragen in de fase ontwerp zijn beantwoord op basis van beschikbare kennis, maar worden geëvalueerd met kennis uit het monitoringsprogramma. Er is een veldmonitoringsprogramma opgezet voor de aanleg en beheer en onderhoudsfase (dit rapport). Voor de toetsing en opschaalbaarheid wordt deze kennis gecombineerd met bestaande kennis om zo tot nieuwe inzichten te komen (figuur 1.2).



Figuur 1.2 Relatie tussen de verschillende fases in het project en de disciplinaire poten die daar een rol in spelen.

In tabel 1.1 wordt aangegeven welke vragen via een onderdeel van het monitoringsprogramma worden beantwoord. Enkele vragen worden via een ander traject beantwoord, zoals bijv. de kennis opgedaan in het vergunningenproces. Ook worden enkele vragen beantwoord door de monitoringsresultaten te koppelen met andere processen/projecten, zoals de toetsprotocollen en het toepassingsbereik.

Tabel 1.1 Koppeling tussen kennisvragen en monitoringsonderdelen.

Fase	Onderwerp	Hydrodynamica	Morfodynamica	Vegetatie-dynamica
Ontwerp	1 – Taludhelling	X	x	X
Ontwerp	2 – Gebruik mengsel			x
Ontwerp	3 – Invloed vegetatie	X	x	X
Ontwerp	4 - Veiligheidsontwerp	X	x	X
Aanleg	5 - Vergunningenproces			
Aanleg	6 – Efficiënte aanleg			
Aanleg	7 – Vegetatie initiatie			X
B&O	8 – Behoud stabiel talud	X	x	X
B&O	9 – Instandhouding vegetatie			X
Toetsing	10 - Toetsprotocollen			
Toetsing	11 – Rol vegetatie	X	x	X
Toetsing	12 – Monitoringsfrequentie	X	x	
Opschaling	13 - Toepassingsbereik			

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is het plan van aanpak van de monitoring beschreven. Dit plan werd gemaakt in 2014 en bevat een beschrijving van de toen gemaakte keuzes in de inrichting van de pilot en de wijze waarop het reguliere monitoringsprogramma is uitgevoerd. In hoofdstuk 3 wordt uitleg geven over de uitgevoerde hydrodynamica en meteorologische metingen en een indruk gegeven van de gemeten data, en het algemene datamanagement van de pilot. In hoofdstuk 4 worden de metingen voor morfodynamica en bodemkarakteristieken uitgelegd en wordt een indruk gegeven van deze data. In hoofdstuk 5 wordt de vegetatie-ontwikkeling over de pilot periode beschreven.

In de Bijlagen worden ook enkele detail-gegevens vermeld met betrekking tot de ingewonnen data en wordt dieper ingegaan op de achterliggende beschrijvingen van de habitatvereisten van bepaalde relevante vegetatietypen.

2 Plan van aanpak monitoring

Het monitoringsprogramma is gekoppeld aan de specifieke inrichting van de pilot om zoveel mogelijk kennis en data te genereren. De inrichting van de pilot is dus van wezenlijk belang en wordt hieronder uitgelegd. Daarna volgt de beschrijving van de daadwerkelijke metingen.

2.1 Inrichting van de proefsectie

De proefsectie is aangelegd in de periode juni-september 2014 volgens een ontwerp zoals uitgelegd in Penning en de Lange (2014). Deze proefsectie is gemonitord voor ontwikkelingen in de morfologie in relatie tot de meteorologische en hydrodynamische forceringen, de zich ontwikkelende vegetatie en bodemkarakteristieken en zettingen. Een damwand sloot de proefsectie op om verlies van zand door langtransport te voorkomen. Op deze damwand was een permanente monitoringsmast geïnstalleerd voor de permanente meting van hydrodynamica en meteorologie en het algemene beeld van de pilot via fotocamera's.

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden, zijn (naast de algemene forcingsfactoren meteorologie en hydrodynamica) in de pilot de volgende factoren onderzocht:

Abiotische factoren

- Factor (ontwerp) taludhelling 1:30 of 1:25 en breedte en oriëntatie van het voorland – morfologische analyse
- Factor bodemsamenstelling: zand, holoceen met zand

Biotische factoren

- Factor vegetatie: spontaan laten ontwikkelen, kickstart door aanplanten/rijsmatten (incl. beregenen tijdens sterke droogte direct na aanplant),
- Factor hoogte van maaiveld in relatie tot vegetatieontwikkeling: 3 niveaus (struweel, gemengd riet, riet in de directe oeverzone (onderwater wordt geen vegetatie verwacht),
- Factor graas: wel of geen exclusies.

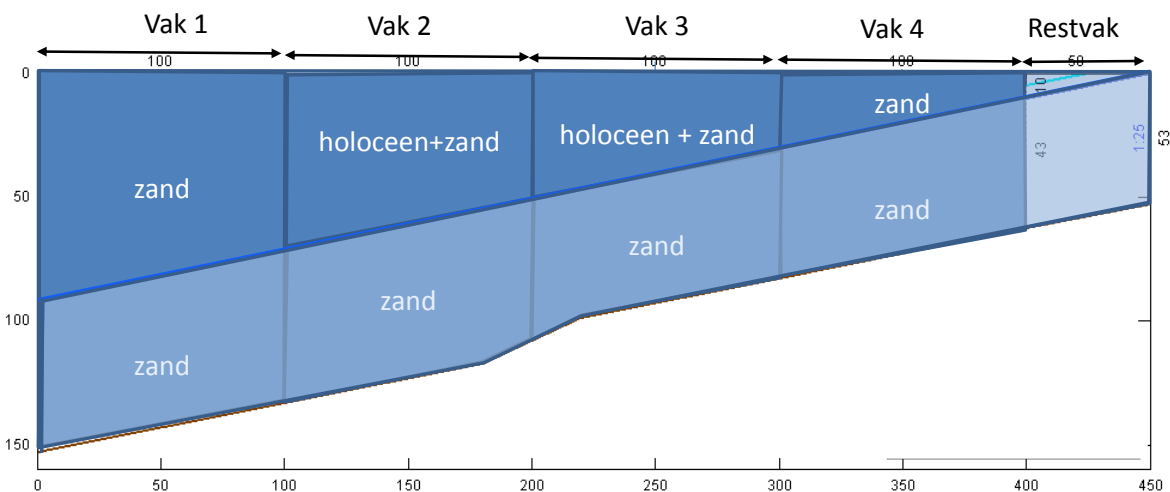
2.1.1 Inrichting met betrekking tot abiotische factoren

In het breedste deel van de pilot is over 200 m langs de dijk een ontwerptalud van 1:30 toegepast en over de volgende 200 m (het smallere deel van de pilot) is een ontwerptalud van 1:25 toegepast. Elke sectie was in twee vakken van ieder 100 meter breed ingedeeld, waarvan de toplaag boven de gemiddeld laagwaterlijn ofwel uit alleen zand bestond, ofwel uit een mengsel van holoceen materiaal uit de toplaag van de Markermeerbodem (klei) en zand. Het onderwatertalud bestond overal uit zand.

Dit resulteert dus in totaal vier vakken (figuur 1-1):

1. Taludhelling 1:30, toplaag zand;
2. Taludhelling 1:30, toplaag zand met klei boven de waterlijn;
3. Taludhelling 1:25, toplaag zand met klei boven de waterlijn;
4. Taludhelling 1:25, toplaag zand.

Tevens zijn er tijdens de aanleg 6 zakbaken geplaatst om zetting van de pilot te bepalen.



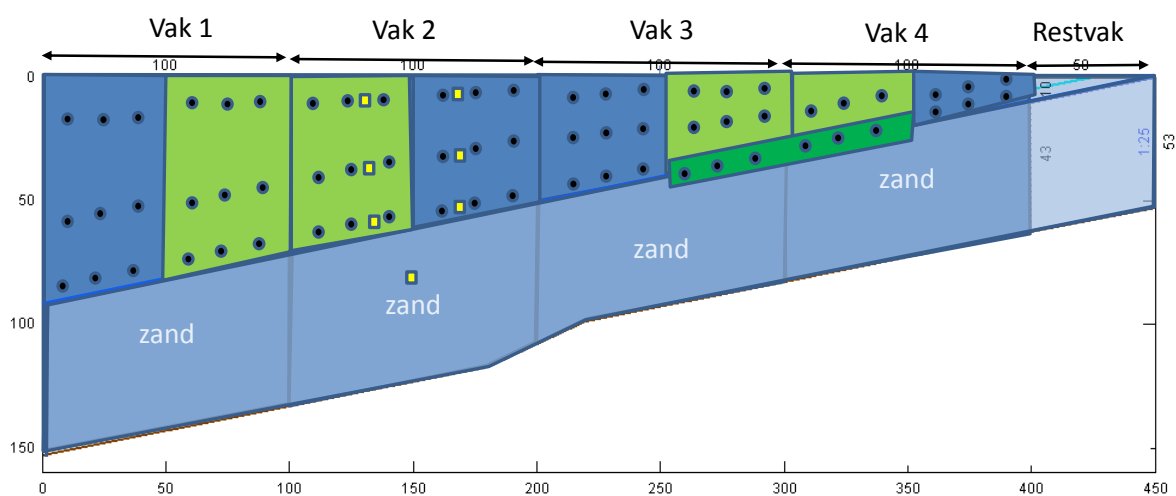
Figuur 2.1 Boven-aanzicht locatie vakken (1 t/m 4) en het gebruikte materiaal in de toplaag: onder de waterlijn overal zand, boven de waterlijn in vak 2 en 3 een mix van holoceen materiaal en zand.

2.1.2 Inrichting met betrekking tot biotische factoren

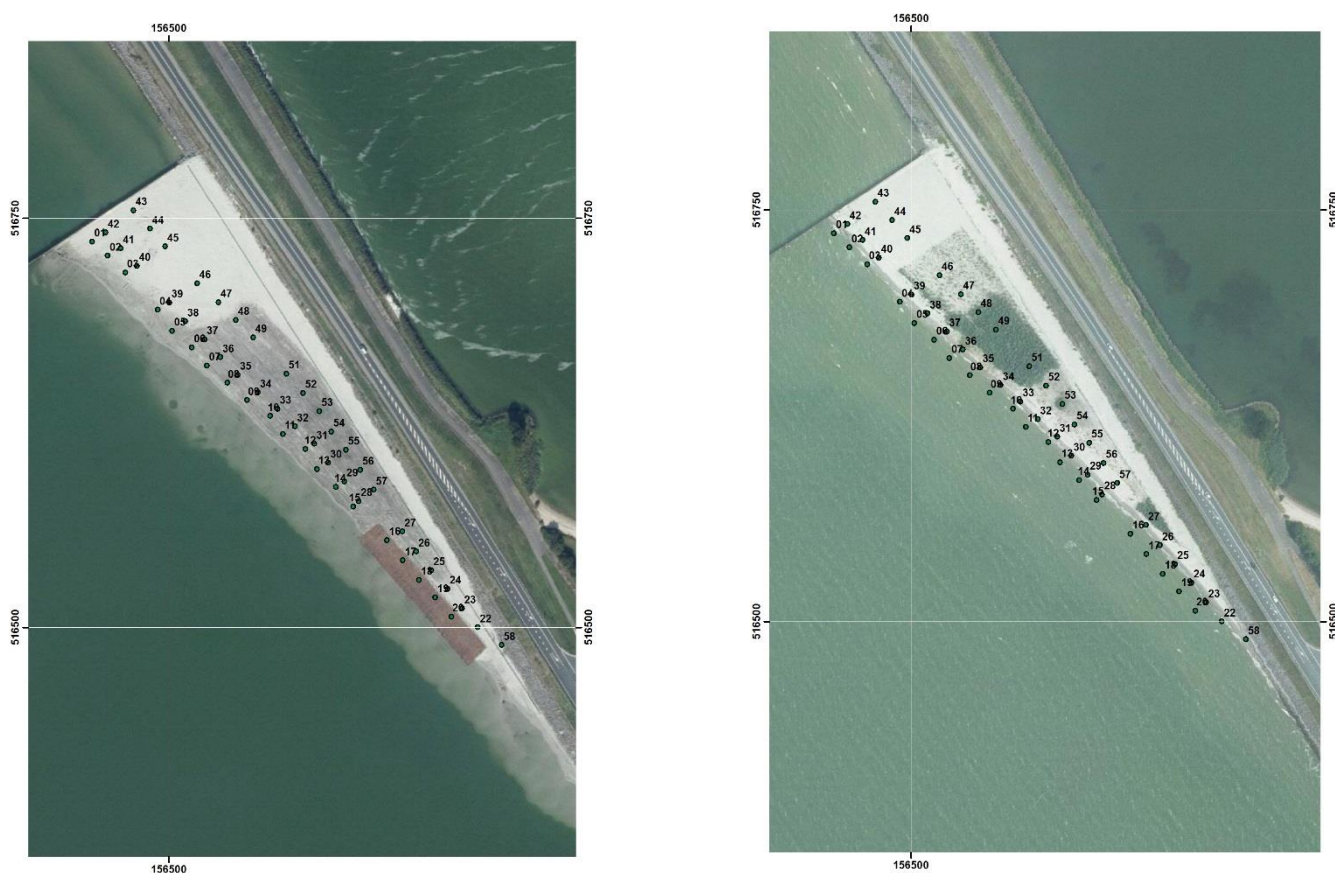
Vegetatie is een essentieel onderdeel van een zachte voorlandoptie. Het wortelstelsel van een gevestigde vegetatie stabiliseert de bodem en maakt deze minder gevoelig voor erosie. De bovengrondse biomassa kan zorgen voor additionele golfremming waarmee de belasting afneemt, als deze zich langs de oeverlijn ontwikkelt, en was daarmee een belangrijk aandachtspunt tijdens de pilot.

Bij de aanleg van de proefsectie is aandacht gegeven aan de vraag wat een effectieve manier is om vegetatieontwikkeling in het veld te stimuleren, om binnen zo kort mogelijke tijd een stabiele deklaag te creëren die erosie tegen kan gaan. Tijdens een workshop met vegetatie-experts op 22 april 2014 is besloten dat de droge delen van de pilot worden ingeplant met riet op het talud lager dan 0,5 m NAP en het talud daarboven met een mix van verschillende houtige soorten (kornoelje, wilg, vlier, duindoorn). De vegetatie is in de periode 23 maart-30 april 2015 deels direct aangeplant (vak 1 en vak 2, zie Figuur 2.2) en beschermd met een golfbrekende barrière van wilgentenen, en deels gestimuleerd door het plaatsen van rijsmatten met rietplanten in de oeverzone (vak 3 en vak 4). In de eerste maand na planten is de vegetatie middels conventionele sproeiers beregend (gemiddeld om de 5 dagen) om het aanslaan van de vegetatie te bespoedigen. Dit is gedaan omdat de pilot erg lage grondwaterstanden kent en het risico op verdroging van jonge aanplant groot is, zeker in periodes van droogte.

Per vak van 100 meter breedte is 50 meter aangeplant om vegetatieontwikkeling actief te stimuleren, of kaal gelaten zodat vegetatie spontaan tot ontwikkeling kan komen. Binnen deze 50 meter zones zijn steeds drie replica's van vegetatieontwikkeling gemonitord met PQs (Permanent Quadrates) op 3 hoogtes in het talud (behalve in vak 4: daar is minder hoogte boven de waterlijn en vervalt de hoogste monitoringsreeks). De PQs zijn cirkels met straal 1,13 m en oppervlakte 4 m². Het centrum van de cirkel is met GPS ingemeten. In ieder van de acht deelvakken zijn negen permanente kwadraten (PQ's) voor onderzoek van de vegetatie uitgezet, drie langs de oeverlijn (raai 1, 'laag'), drie in de rietzone (raai 2, 'midden') en drie hoog op het strand in de struweelzone (raai 3, 'hoog') (tabel 2.1). In het voorjaar van 2015 zijn uiteindelijk 58 PQ's ingemeten, omdat in vak 4 de gewenste hoeveelheid PQ's per deelbehandeling niet kon worden uitgezet, door snelle erosie van het uiterste zuiden van de pilot (figuur 2.3)



Figuur 2.2 Overzicht van aangeplante vlakken (lichtgroen) en kale vlakken (donker blauw) en locaties van de PQ's (donkere stippen) en exclusures (gele vierkanten). In donkergroen de locatie van de rijsmatten met rietplanten die als additionele proef werden aangelegd aan de waterlijn van vak 3 en vak 4.



Figuur 2.3 Daadwerkelijke ligging en nummering van permanente kwadraten (PQ's) in het proefgebied, weergegeven op luchtfoto's uit 2014 (links) en 2017 (rechts - hierop zijn ook de aangeplante delen zichtbaar).

Raai 1 en het grootste deel van raai 2 erodeerden gedurende de periode 2015-2017 en werden kaal of kwamen onder water te staan (vergelijk figuur.2.3). Deze PQ's zijn niet in de analyse meegenomen. PQ 58 ligt op de stenen onderkant van de dijk en is evenmin geanalyseerd. De uiteindelijke analyse heeft dus betrekking op gegevens van 57 PQ's (tabel 2.1). Per PQ werden de plantensoorten en hun bedekking genoteerd (Braun-Blanquet-methode). De vegetatie werd opgenomen in het voorjaar (mei) en eind van de zomer (september).

De factor graasdruk is in vak 2 onderzocht met *exclosures* (met gaas afgezette vakken) op drie hoogtes langs het talud waarbinnen graasdruk door ganzen of andere herbivoren wordt uitgesloten. In totaal zijn er zes *exclosures* aangelegd op het 'droge' talud, waarvan uiteindelijk alleen de twee *exclosures* in raai 3 intact zijn gebleven (vergelijk tabel 2.1).

Tabel 2.1 Codering en omschrijving van de vakken en deelvakken en de uiteindelijk (in 2017) overgebleven PQ's, toegekend aan raaien evenwijdig aan de waterlijn (PQ-nummers tussen haakjes zijn vervallen door erosie). Vergelijk figuur 2.3 voor de ligging van de PQ's.

Vak	Deelvak	Codering in Figuur 4.2.1	Omschrijving	PQ's raai 1 'laag'	PQ's raai 2 'midden'	PQ's raai 3 'hoog'
1	1	Zand	Zand met spontane ontwikkeling	(1-3)	40-42	43-45
	2	Zand + aanplant	Zand met aanplant in verschillende vegetatiezones	(4-6)	(37-39)	46-48
2	3	Holoceen + aanplant	Zand gemengd met holocene klei, met aanplant in verschillende vegetatiezones	(7-9)	(34-36) 35: <i>exclosure</i>	49-51 50: <i>exclosure</i>
	4	Holoceen	Zand gemengd met holocene klei, met spontane ontwikkeling	(10-12)	(31-33) 32: <i>exclosure</i>	52-54 53: <i>exclosure</i>
3	5	Holoceen	Zand gemengd met holocene klei, met spontane ontwikkeling	(13-15)	(28-30)	55-56(-57)
	6	Holoceen + aanplant	Zand gemengd met holocene klei, met aanplant struweel achter de rijsmat	(rijsmat)	(16-18)	(25-27)
4	7	Zand + aanplant	Zand met aanplant struweel achter de rijsmat	(rijsmat)	(19-20)	(22-24)
	8	Zand	Zand met spontane ontwikkeling	Na aanleg door erosie verdwenen		

2.1.3 Rijsmatten

Aanvullend op de aanplant van riet direct op het zandige voorland zelf, is er een test uitgevoerd of het toepassen van rijsmatten op de oeverlijn met aangeplant riet de ontwikkeling van waterriet kan stimuleren. Deze rijsmatten zijn op de oever van vak 3 en 4 (100 m in langsrichting en 16 m dwarsrichting op de oever; figuur 2.2, donkergroen) geplaatst in het deel dat ook is aangeplant. Direct na aanleg begin september 2014 zijn er jonge rietplanten aangeplant op de rijsmat, die bestond uit twee lagen van wilgentenen met daartussen een kokosmat met aarde. Voor het selecteren van de bron van het aan te planten riet is in 2014 een additioneel onderzoek gedaan naar de vraag of er genetische variëteit is in het Nederlandse riet. De genetische variëteit in het bemonsterde riet bleek erg groot en zeer variabel ook binnen een bemonsterde locatie. Fenotypische expressie lijkt dan ook voornamelijk gerelateerd aan standplaatsfactoren, en niet zo zeer beïnvloedt te worden door genetische factoren. Uiteindelijk is het riet bij een kweker gekocht die het opkweekt van zaad dat afkomstig is uit Oost-Europa, omdat dit een gangbare werkwijze is om in korte tijd aan grote hoeveelheden uniforme planten te komen. Het riet op de rijsmatten is na aanplant niet

beregend en deze jonge rietaanplant is daardoor binnen enkele weken verdord (september 2014 was een erg warme en droge maand).

2.2 Nulmeting

Voor de start van de aanleg van de proefsectie is een nulmeting van de ondergrond ter plaatse gemaakt. Deze nulmeting geeft inzicht in de zettingsgevoeligheid van de ondergrond en het exacte bodemniveau op dat moment. De nulmeting bestaat uit een vlakdekkende dieptepeiling van de proefsectie, samen met een transect van sonderingen ter plaatse van de damwand en langs de dijk (in het totaal 7 sonderingen, zie opleveringsrapport Aanleg)

Voor de vegetatie is een nulmeting uitgevoerd in augustus 2014 in de twee controle locaties, waarvan 1 een positieve controle is achter een hockeystick (golfbrekerconstructie langs de houtribdijk ten noorden van de proefsectie) met natuurlijk gevormde ruige vegetatie, en 1 een negatieve controle ten zuiden van de proefsectie zonder vegetatie behalve de dijkbekleding. Op deze manier is een registratie van de huidige vegetatiecompositie te koppelen aan de nieuwe ontwikkelingen op de proefsectie, om zo de toegevoegde natuurwaarden beter in beeld te kunnen brengen.

2.3 Uitgevoerde reguliere monitoring

De uitgevoerde reguliere monitoring bestond uit

- Dagelijkse automatische continue metingen van hydrodynamica en meteorologie (hoofdstuk 3) en periodiek onderhoud van deze automatische meetopstelling
- Continue metingen van de grondwaterstanden middels peilbuizen (hoofdstuk 4)
- Periodieke inmeting van het zandvolume, inclusief zetting middels zakbaken (23x tijdens de pilot periode) (hoofdstuk 4)
- Periodieke sedimentmonsters voor het bepalen van de bodemontwikkeling (korrelgroottes en chemische samenstelling) (hoofdstuk 4)
- Een analyse van beschikbare satellietbeelden van de oeverlijn ontwikkeling gedurende de looptijd van de pilot (hoofdstuk 4)
- Een analyse van beschikbare satellietbeelden van de vegetatieontwikkeling gedurende de looptijd van de pilot (Hoofdstuk 5)
- Periodieke inmeting van de gebruikmakend van veldbezoeken (2x per jaar), waarbij de PQs zijn ingemeten (hoofdstuk 5)

Daarnaast was er een algemeen management van de site (paragraaf 2.3.1)

2.3.1 Algemeen management van de site

Er is een informatiebord geplaatst op de parkeerplaats van Trintelhaven en er zijn tijdens de aanplant in april 2015 'verboden toegang' - bordjes op de pilot zelf geplaatst. Deze zijn aan het stuifscherm bevestigd (figuur 2.4). Een groot deel van het stuifscherm van doek en palen is gedurende de loop van de pilot-periode gesneuveld door harde wind en dit scherm moest vaak gerepareerd worden. Gedurende de pilot periode zagen we tussen de breuksteen, en achter het stuifscherm zelf steeds meer vegetatie-ontwikkeling: de luwte achter het scherm en tussen de breukstenen is belangrijk voor vestiging van planten, want op geëxponeerde delen vindt nauwelijks spontane aangroei plaats. De aangeplante vegetatie vangt ook stuivend zand in, en werkt op die manier als een extra stuifscherm.

Er zijn over de gehele periode van de pilot nauwelijks bezoekers op de pilot geweest (zoals waargenomen op de fotobeelden).



Figuur 2.4 Foto impressie (d.d. november 2015) – het informatiebord, kapotte stuifscherm en vegetatie in de luwte van het stuifscherm achter de vegetatie.

In de periode 1 mei t/m 28 augustus in de jaren 2015, 2016 en 2017 hebben er vissersfuiken op de kop van de damwand gestaan. Deze zijn aan het eind van het vangstseizoen steeds weer verwijderd en hebben geen bemerkbare invloed gehad op de ontwikkelingen op de pilot.

3 Hydrodynamica en meteorologie

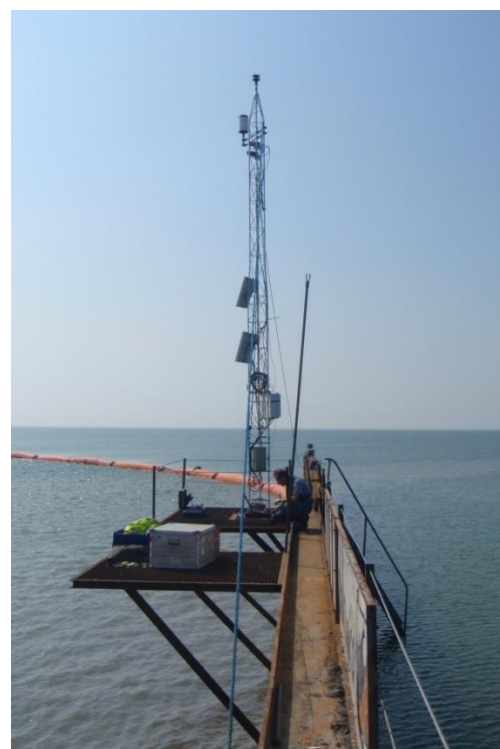
3.1 Meetstation en data-inwinning

Hydro- en meteodata werden gedurende de looptijd van de pilot continu gemeten door instrumenten op een monitoringsmast (Figuur 3.2), gesitueerd op de damwand, een waterstandsmeter, en een onderwater meetframe (Figuur 3.1), offshore van het pilotstrand. Daarnaast werden fotobeelden gemaakt van het pilotstrand door camera's op de monitoringsmast. Op de monitoringsmast stonden een weerstation (windsnelheid, windrichting, luchtdruk, neerslag, temperatuur), één groothoekcamera, één tele-lenscamera, twee zonnepanelen en de datalogger. De waterstandsmeter was aan de noordoostelijke zijde van de damwand (zijde Enkhuizen) geplaatst. Het onderwater meetframe met een Nortek-Vector (ADV), werd offshore van de pilot op open water geplaatst om druk en stroomsnelheid in x,y, z te meten om golfspectra, waterstanden en stroming te kunnen bepalen (zie **Appendix A** voor een detailbeschrijving van de meetopstelling).

De meetdata van de monitoringsmast, waterstandsmeter en offshore meetframe werden lokaal via kabels verstuurd naar een datalogger op de monitoringsmast (zie **Appendix B** voor de details van de data-inwinning per instrument). De binnengekomen data op deze datalogger werden via een GPRS signaal (Vodafone) doorgestuurd naar een server bij Deltares. Vanuit deze server werden de data doorgezet naar een data opslag- en verwerkingssysteem (zie paragraaf 3.2).



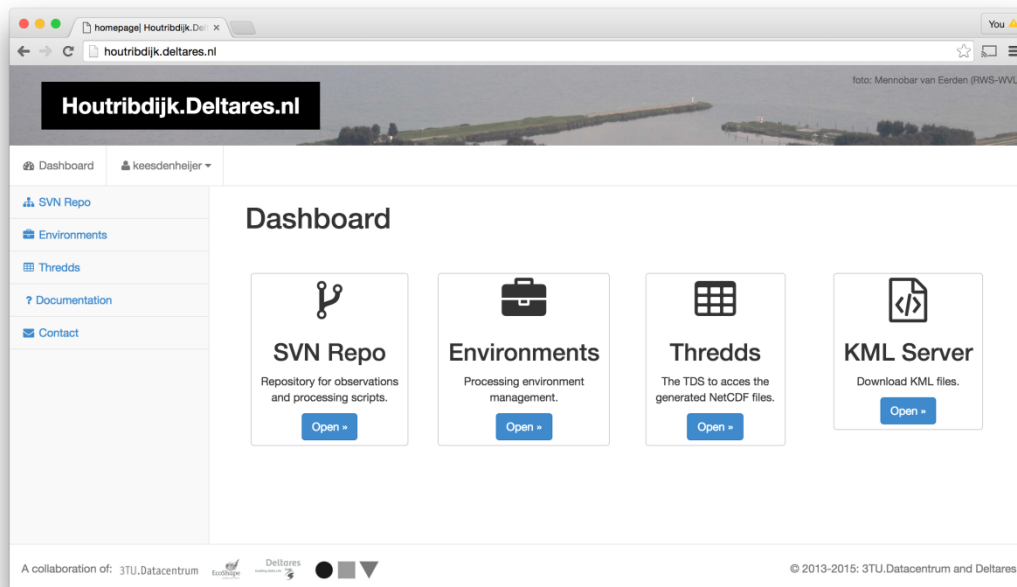
Figuur 3.1 Onderwater-meetframe (boven)



Figuur 3.2 Monitoringsmast op de damwand (rechts)

3.2 Datamanagement pilot Houtribdijk

Alle data in het kader van pilot Houtribdijk is verzameld in een OpenEarth DataLab, gehost bij Deltares: <https://houtribdijk.deltares.nl>. De data is toegankelijk voor de betrokken partijen en niet voor de buitenwereld. Figuur 3.3 geeft de startpagina weer.



Figuur 3.3 De startpagina van het OpenEarth DataLab na inloggen.

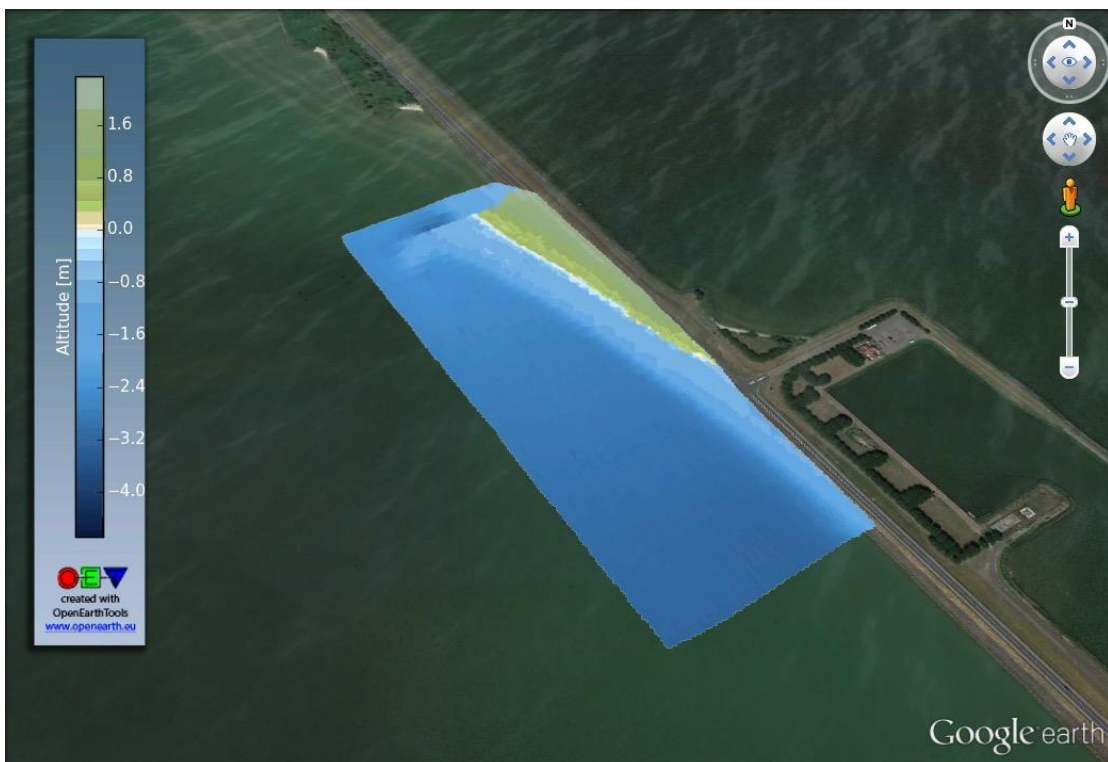
In de OpenEarth data filosofie en in het daaruit voortgevloede DataLab wordt onderscheid gemaakt tussen:

- Ruwe data
- Scripts voor opwerking
- Data producten (netCDF)
- Data visualisaties (KML)

De ruwe data en opwerkingscripts worden opgeslagen in een versiebeheersysteem (SVN repository). Hiermee is het helder wie welke data wanneer heeft geüpload en kan indien nodig eenvoudig teruggerepen worden op oude versies van data of scripts. Hierdoor kan transparantie en reproduceerbaarheid gewaarborgd worden.

De netCDF dataproducten dienen voorzien te zijn van metadata en worden aangeboden via een thredds server. Deze server biedt de mogelijkheid om de metadata online te bekijken, de data (of subsets daarvan) te lezen met een veelheid aan programmeertalen en de bestanden te downloaden voor offline gebruik.

Google Earth visualisaties kunnen als KML worden aangeboden op de daarvoor ingerichte KML server. Figuur 3.4 geeft een voorbeeld van een Google Earth visualisatie.



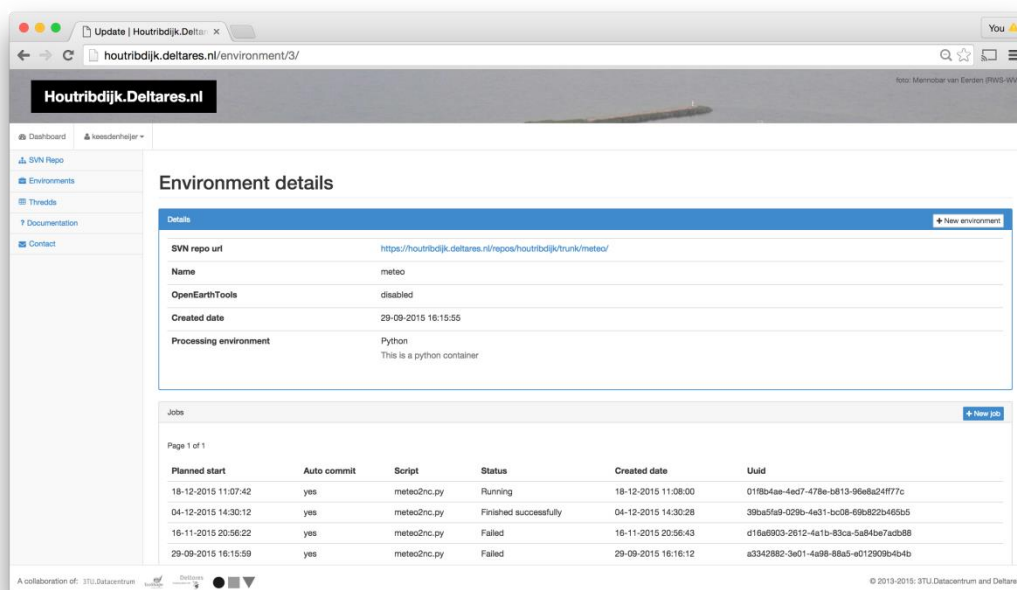
Figuur 3.4 Google Earth visualisatie van bathymetry en topografie metingen.

De verwerking van ruwe data tot netCDF dataproducten en/of KML visualisaties gebeurt met scripts die in de OpenEarth DataLab omgeving gedraaid kunnen worden. Figuur 3.5 geeft de environment details voor opwerking van de meteo-data weer. Met het beschikbare script “meteo2nc.py” kan middels enkele muisklikken de hele meteo dataset tot netCDF worden verwerkt en op de daarvoor bestemde thredds server worden gepubliceerd.

Een deel van de data die ingewonnen wordt, wordt geautomatiseerd 3x per dag geüpload naar de ruwe data repository van het DataLab. Het betreft hier:

- foto's (zowel wide als tele)
- meteo data
- waterstandsdata
- ADV Vector data

De golfdata worden één keer per maand ook verwerkt op de server gezet. De surveys van Shore worden handmatig geüpload. Voor de meteo data en de bathymetry surveys zijn scripts beschikbaar om deze data om te zetten naar netCDF.



Figuur 3.3 De environment details voor de opwerking van de meteo data.

In de praktijk is tijdens de looptijd van het project vooral de ruwe data repository gebruikt als uitwisselingsplatform voor de data tijdens het project, waarmee een deel van de DataLab functionaliteiten niet optimaal benut zijn. Dit is vooral te verklaren doordat er geen structurele projectafspraken waren om alle projectdata op te werken naar (gestandaardiseerde) netCDF (zover het er zich voor leent) en te voorzien van metadata. Voor hergebruik van de data is standaardisatie en metadata essentieel. Het is sterk aan te bevelen om hier in de voorbereidingsfase van een project afspraken over te maken en dit als onderdeel van de dataverwerking tijdens het project te beschouwen. Hiermee kan in de eindfase, wanneer archivering en publiek delen in beeld komt, vertrouwd worden op de dataproducten en zijn de mogelijkheden voor hergebruik optimaal.

3.3 Onderhoudsbezoeken

Er zijn op 22/01/2015, 16/04/2015, 27/10/2015, 21/10/2016, 05/09/2017 onderhoudsbezoeken uitgevoerd, plus aanvullende bezoeken op 12/10/2017, 19/10/2017 en 30/11/2017. Op 20/2/2018 is de meetopstelling ontmanteld.

Tijdens het onderhoudsbezoek van 16/4/2015 is aandacht gegeven aan de validatie van de golfmetingen (zie **Appendix A.4**) en is de waterstandsmeter weer aan de damwand vast gemaakt. Deze was losgekomen tijdens de storm van 31 maart 2015. In de oktoberbezoeken is specifiek gekeken naar de huidige staat van de meetapparatuur in het veld. Tijdens het onderhoudsbezoeken van 27/10/2015, 21/10/2016 en 19/10/2017 is daarom de Nortek Vector ADV omhoog gehaald. Het blijkt dat er aangroei van macroscopische draadalg op de vector plaatsvindt gedurende het groeiseizoen. Deze aangroei is steeds handmatig weggeschrapt (figuur 3.6). De algen bevinden zich echter niet in het meetvolume en hebben de metingen verder niet belemmerd (de akoestische metingen zitten in het meetvolume zo'n 10 cm onder de meetkop). Na terugplaatsen staat de ADV op een iets andere hoogte dan voorheen. Er is sprake van aanzanding op de ADV locatie het ADV frame staat na terugplaatsen niet meer 'in het zand' maar op het zand, orde 0.135 m hoger.

De oriëntatie van het frame wordt door het terugplaatsen licht gewijzigd tijdens de onderhoudsbeurten:

- Voor de onderhoudsbeurt van 27-10-2015 was de oriëntatie 335° t.o.v. geografisch noord
- Van 27-10-2015 tot 21-10-2016 was de oriëntatie 338° t.o.v. geografisch noord)
- Van 21-10-2016 tot 19/10/2017 is de oriëntatie 339° t.o.v. geografisch noord
- Van 19/10/2017 tot het einde van de meetperiode is de oriëntatie 330° t.o.v. geografisch noord



Figuur 3.6 Foto's van de aangroei op de vector oktober 2015.

Bij de onderhoudsbeurt in oktober 2016 werd minder begroeiing aangetroffen dan in 2015 (figuur 3.7). Het frame was wel moeilijker te lichten dan in 2015 doordat de bodem van het frame onder een laag zand was komen te liggen. De begroeiing van de palen van het frame doet vermoeden dat het frame met een dikke (orde 2 dm) laag zand bedekt was. Tijdens het lichten in 2017 werd wederom een laag zand op het frame gevonden van naar schatting 15 cm. Het ADV frame staat op vier 10 cm lange pootjes die na het plaatsen zo'n 5 cm in de bodem zijn weggezakt. Het frame zal zich steeds gedurende de periode na plaatsing nog enigszins zetten, wat de exacte diepte van het frame enigszins onzeker maakt.



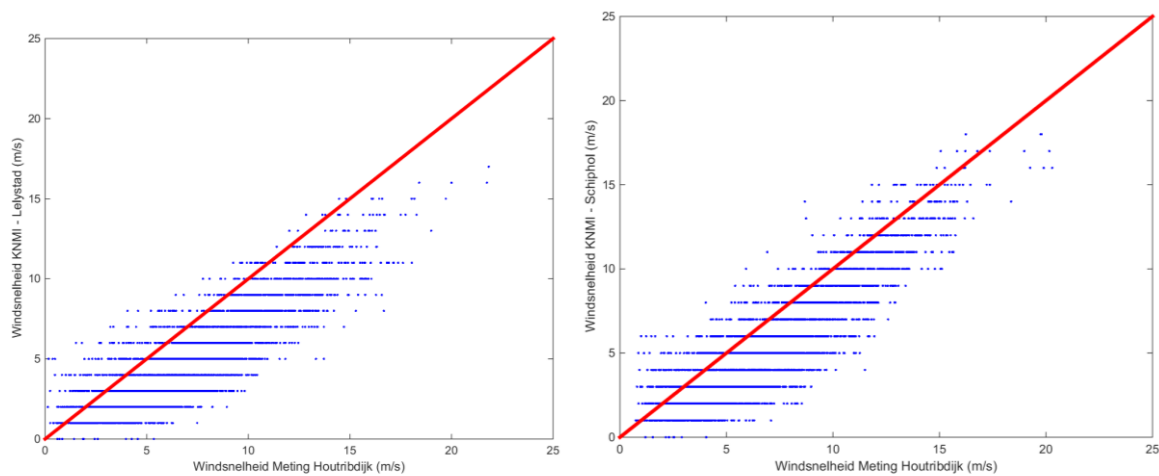
Figuur 3.7 Foto's van de aangroei op de vector in oktober 2016

3.4 Algemene karakteristieken hydrodynamica

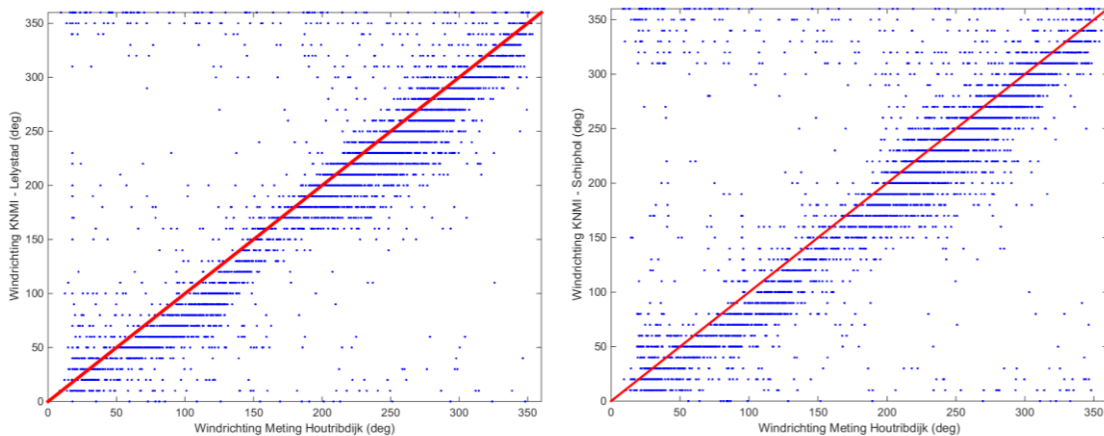
In deze paragraaf wordt een algemeen beeld geschetst van de gemeten wind, waterstanden en golfcondities. Daarbij worden de afhankelijkheden tussen deze grootheden inzichtelijk gemaakt, en wordt een duiding gegeven van de kwaliteit van de data.

3.4.1 Wind

Ter verificatie van de gemeten wind op de damwand is een vergelijking gemaakt tussen windsnelheden zoals geregistreerd door het KNMI en de lokaal gemeten windsnelheid. Onderstaande figuren tonen deze vergelijking voor de stations Lelystad en Schiphol.



Figuur 3.8 Vergelijking windsnelheid KNMI (verticale as) en lokaal gemeten (horizontale as). Links station Lelystad, rechts station Schiphol.

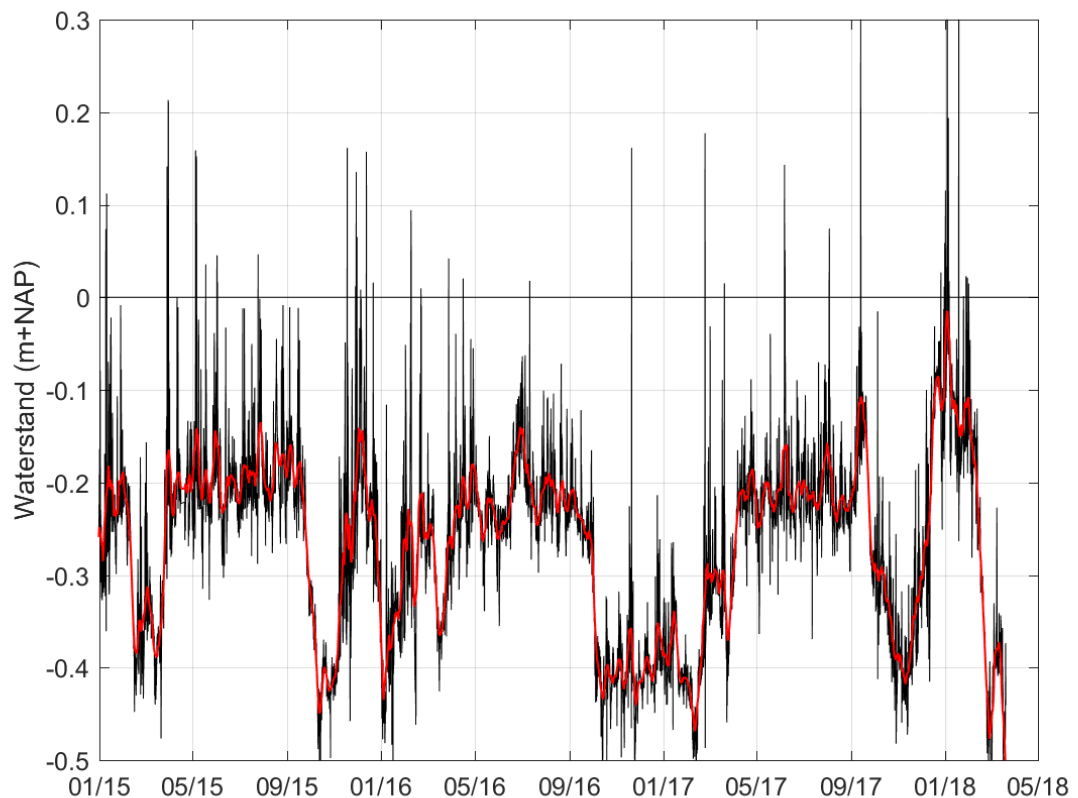


Figuur 3.9 Vergelijking windrichting KNMI (verticale as) en lokaal gemeten (horizontale as). Links station Lelystad, rechts station Schiphol.

Uit de figuren (3.8) blijkt dat de lokaal gemeten windsnelheid gemiddeld hoger ligt dan de windsnelheid gemeten bij de landmeetstations van het KNMI. Het verschil in beschutting is een aannemelijke oorzaak voor dit verschil. De overeenkomst met Schiphol is sterker dan met Lelystad.

Voor beide KNMI-stations gold in eerste instantie dat er lagere getallen voor de windrichting geregistreerd werden, ofwel de lokaal gemeten windrichting was iets groter, met de klok mee (figuur 3.9). Aan de hand van dit verschil is de registratie van de windrichting opnieuw gekalibreerd, en zijn alle meetdata van het pilotstrand meteostation aangepast.

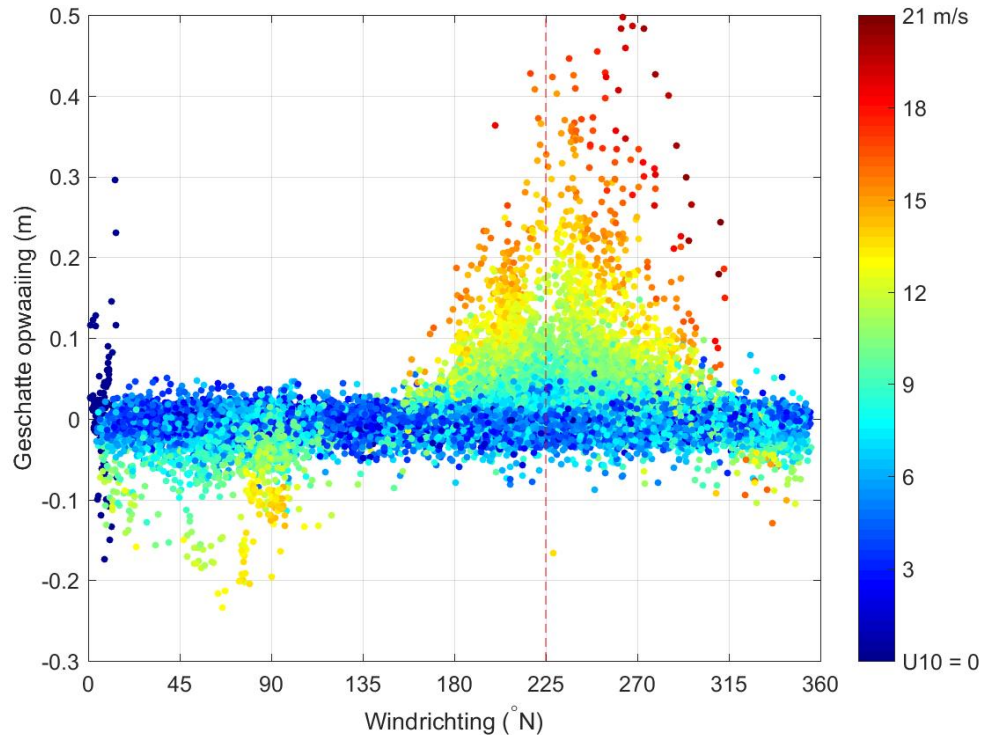
3.4.2 Waterstand



Figuur 3.10 Gemeten waterstand (zwart) en een lopend gemiddelde met een middelingsperiode van een week(rood)

In Figuur 3.10 is het verschil tussen winterpeil (NAP - 0.4 m) en zomerpeil (NAP - 0.2 m) zichtbaar. De overgang van winterpeil naar zomerpeil vindt ongeveer plaats tussen 15 maart en 15 april, en de overgang van zomerpeil naar winterpeil tussen 20 september en 15 oktober.

De lokale waterstand is een combinatie van het ruimtelijk gemiddelde meerpeil en lokale opwaaiing. Om het effect van de opwaaiing beter te kunnen extraheren, zijn uren geselecteerd met een windsnelheid lager dan 10 m/s. Voor deze selectie van de data is een lopend gemiddelde berekend met een middelingsperiode van 60 uur. De schatting voor de opwaaiing is vervolgens het verschil tussen de gemeten waterstand en dit lopende gemiddelde.

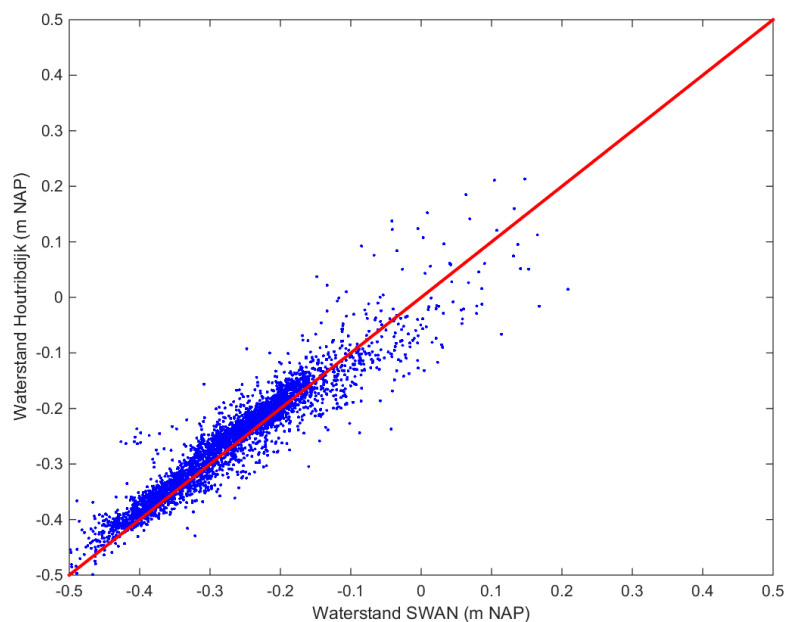


Figuur 3.11 Relatie tussen geschatte opwaaiing (verticale as) en windrichting (horizontale as), gekleurd op windsnelheid. Gestippelde lijn: indicatie voor de oriëntatie van oeverlijn van de pilot.

De relatie tussen geschatte opwaaiing en windrichting zijn weergegeven in figuur 3.11. Uit deze figuur blijkt des te duidelijker dat de lokale waterstanden sterk gedomineerd worden door de lokale windcondities.

Op 22 januari 2015 is om 14h30 met behulp van een GPS installatie een waterstand gemeten van -0.254 m t.o.v. NAP. In de tijdreeks in 'houtribdijk-hydrometeo.asc' is op dat moment een waterstand van -0.268 m + NAP opgenomen. Het verschil bedraagt 1.4 cm.

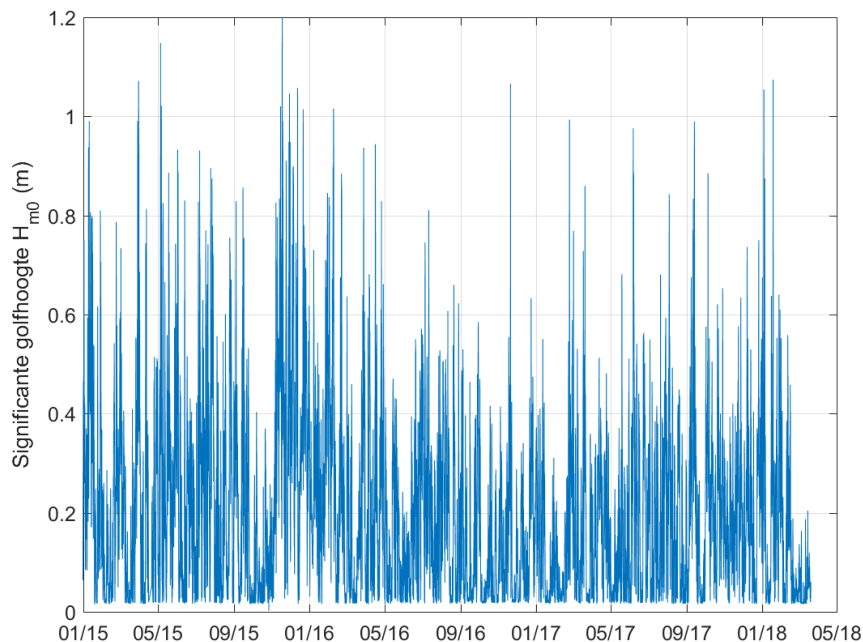
Ter verificatie zijn de waterstanden vergeleken met de resultaten van het operationele model voor het Markermeer (Figuur 3.12) een gecombineerd WAQUA+SWAN instrumentarium van Rijkswaterstaat. Uit onderstaande figuur blijkt dat de overeenkomst gemiddeld genomen sterk is. In het geval van hoge windsnelheden en relatief sterke opwaaiing nemen de afwijkingen tussen model en metingen toe, tot verschillen in de orde van 10 cm.



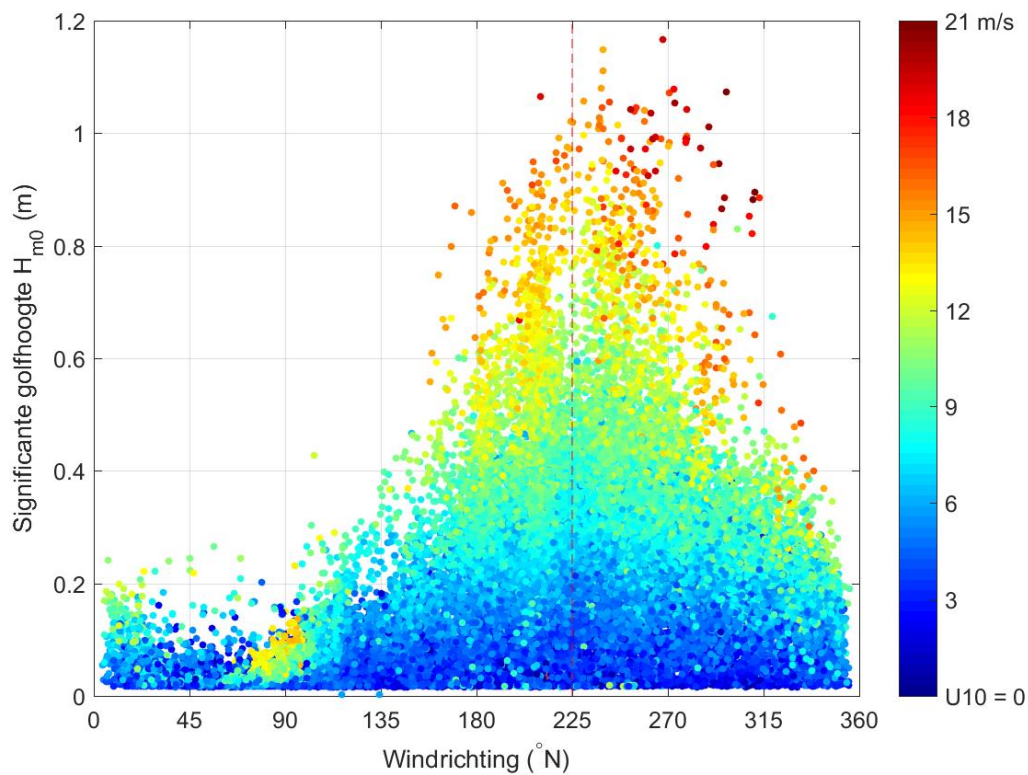
Figuur 3.4 Vergelijking tussen waterstanden uit het operationele WAQUA-model voor het Markermeer en lokale waterstandsmetingen.

3.4.3 Golfhoogte

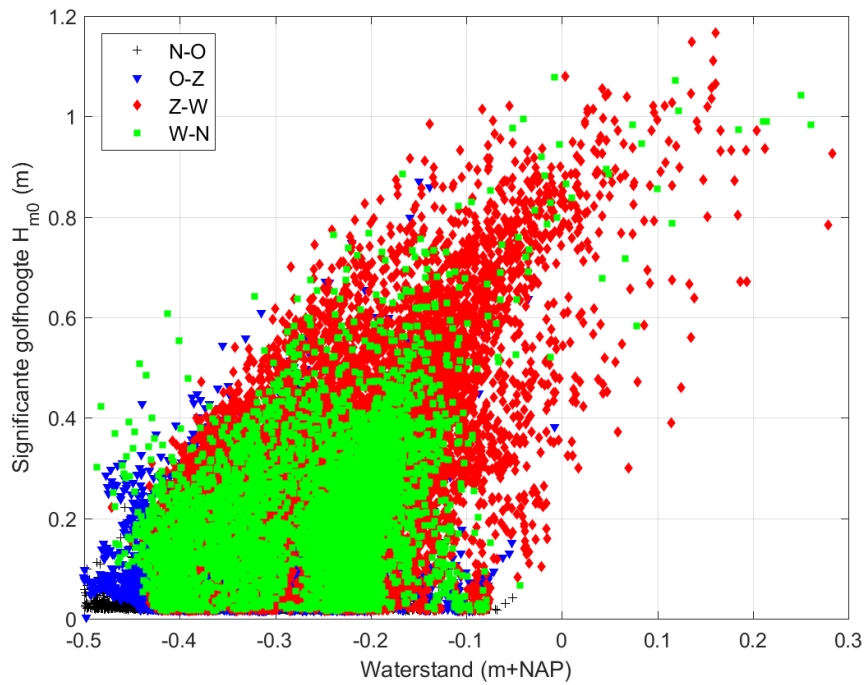
De gemeten significante golfhoogte vertoont net als de waterstand een patroon dat kenmerkend is voor een sterk windgedreven systeem. De hoogte golven gemeten tijdens de proefperiode zijn tot 1.2 meter hoog (figuur 3.13). Daarnaast zijn deze golven sterk gecorreleerd met de windrichting en windsnelheid waarbij de hoogste golven zijn geregistreerd bij winden komend uit de windrichting rond 225°N (oriëntatie van de oeverlijn van de pilot) (figuur 3.14). De combinatie van waterstanden en significante golfhoogte is uitgedrukt in 4 windsectoren in figuur 3.15. Hieruit blijkt dat er ook een relatie is tussen de berekende opwaaiing en significante golfhoogte (figuur 3.16)



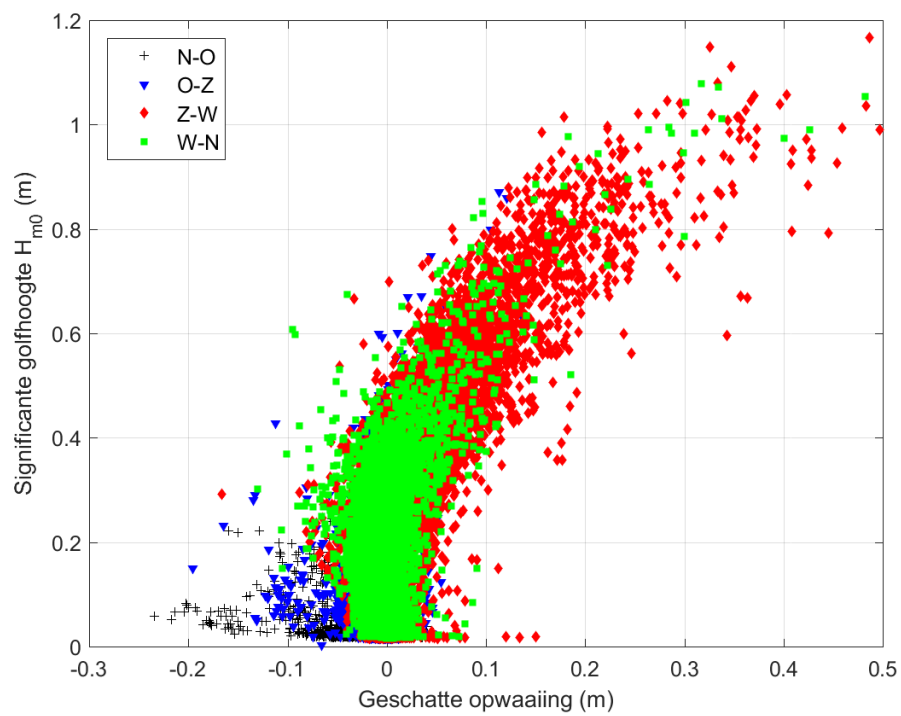
Figuur 3.13 Gemeten significante golfhoogte H_{m0} (m)



Figuur 3.14 Relatie tussen significante golfhoogte (verticale as) en windrichting (horizontale as), gekleurd op windsnelheid. Gestippelde lijn: indicatie voor de oriëntatie van oeverlijn van de pilot.



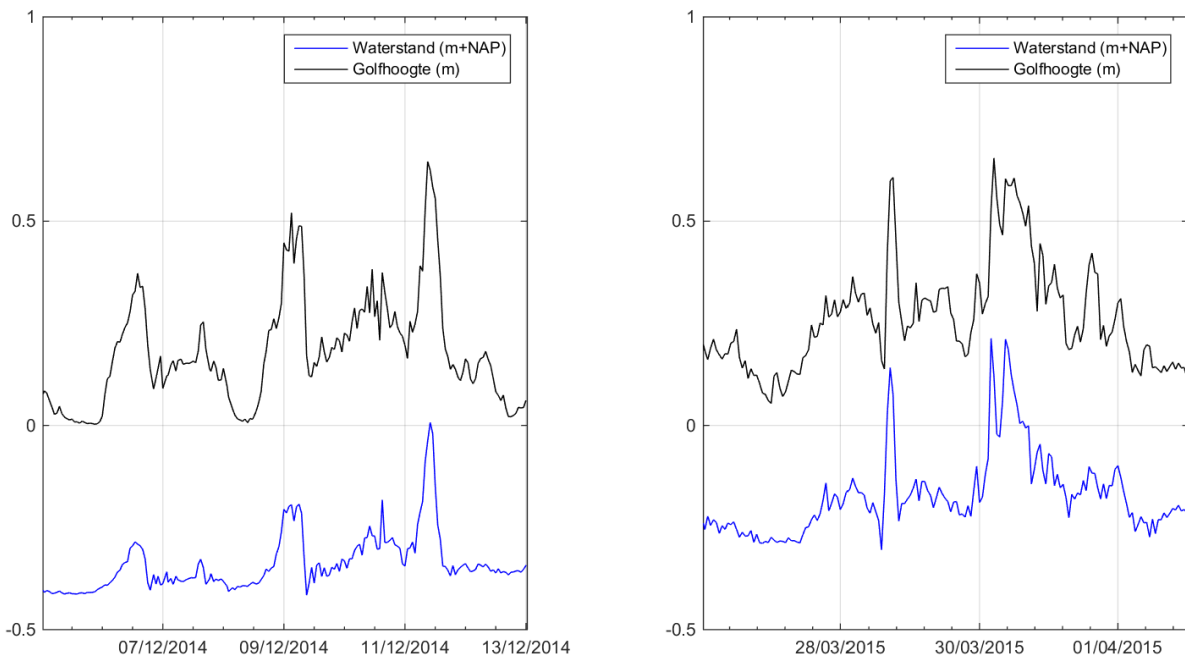
Figuur 3.15 Combinaties van waterstand en significante golfhoogte voor vier windsectoren



Figuur 3.5 Combinaties van berekende opwaaiing en significante golfhoogte voor vier windsectoren

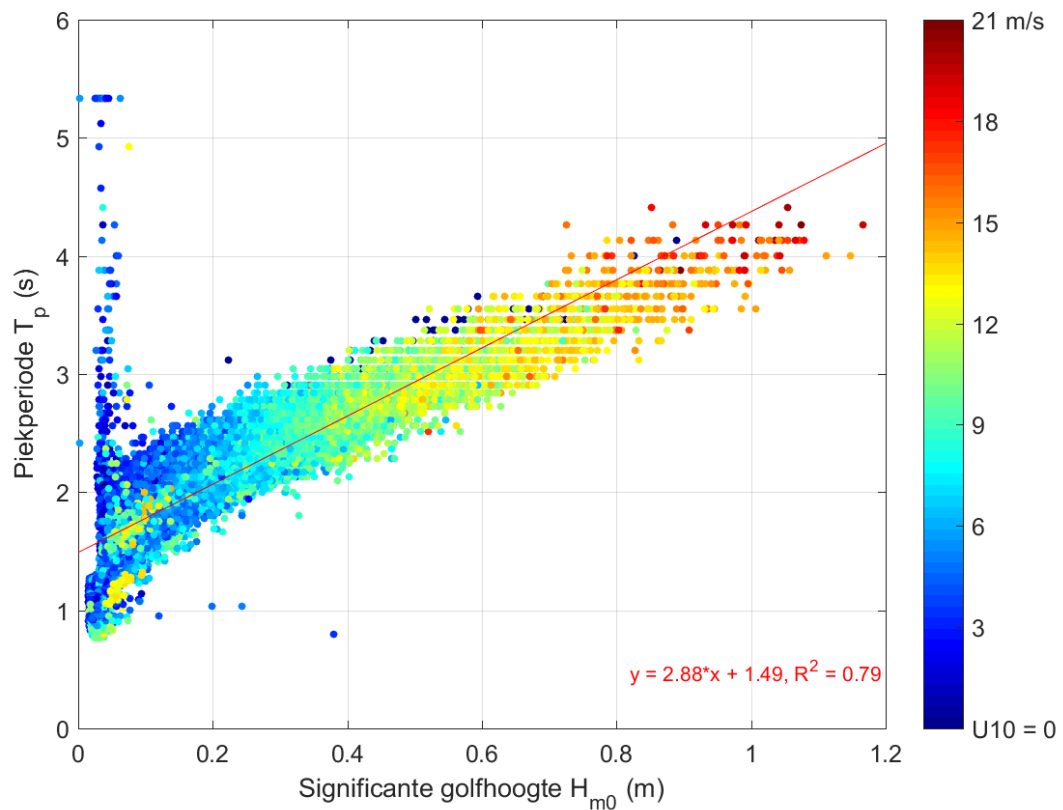
Conclusies met betrekking tot de golfhoogte:

1. Er is een sterke relatie tussen opwaaiing en golfhoogte vanwege het windgedomineerde karakter van het systeem
2. Bij windrichtingen vanuit de oostelijke helft van de windrichtingen zijn de golfhoogtes beperkt, en treedt enige afwaaiing op
3. De respons van golfhoogtes en waterstanden kent een vergelijkbare tijdschaal, want er worden geen combinaties gemeten van hoge opwaaiing en lage golven of hoge golven en weinig opwaaiing. Onderstaande figuur 3.17 toont dit voor twee voorbeeldstormen



Figuur 3.17 Verloop in de tijd van waterstand en significante golfhoogte gedurende een tweetal stormen

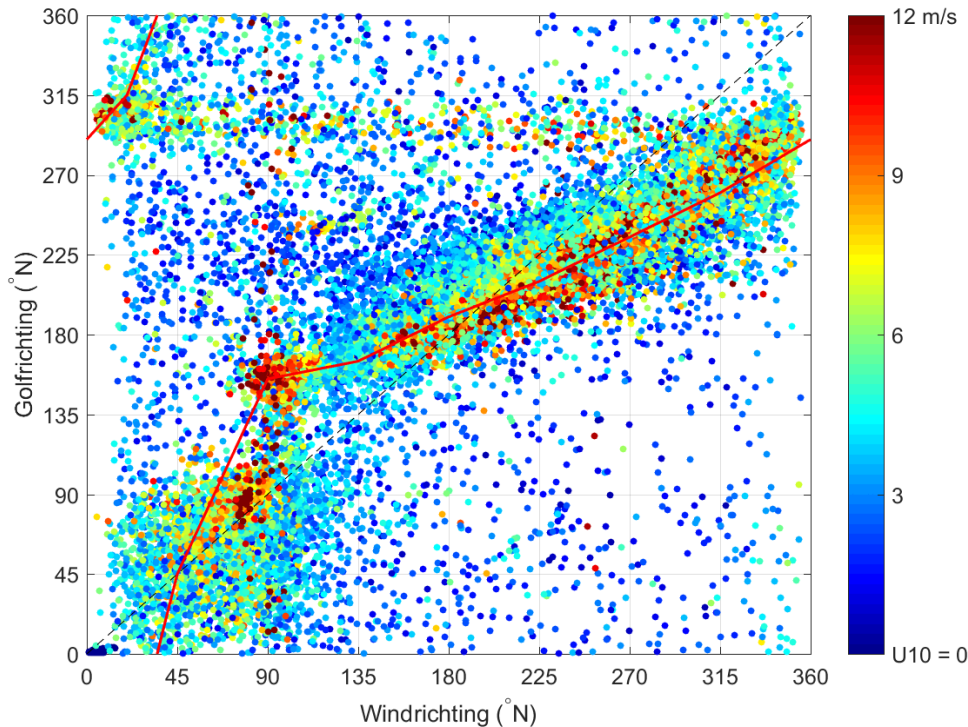
3.4.4 Golfperiode



Figuur 3.18 Vergelijking significante golfhoogte H_{m0} (horizontale as) en piekperiode T_p (verticale as), waarbij de markers zijn gekleurd op windsnelheid

Er is een vergelijking gemaakt tussen de significante golfhoogte en de piekperiode (figuur 3.18). Hieruit valt te concluderen dat de verhouding tussen golfhoogte en golfperiode vrij consistent is. Een deel van de golven heeft een grote periode bij een lage golfenergie. Hier is waarschijnlijk sprake van zeer lage golven, die niet lokaal door wind zijn opgewekt, maar de verwachte invloed van deze laag-energetische golven op de morfologische veranderingen is gering.

3.4.5 Gemiddelde golfrichting



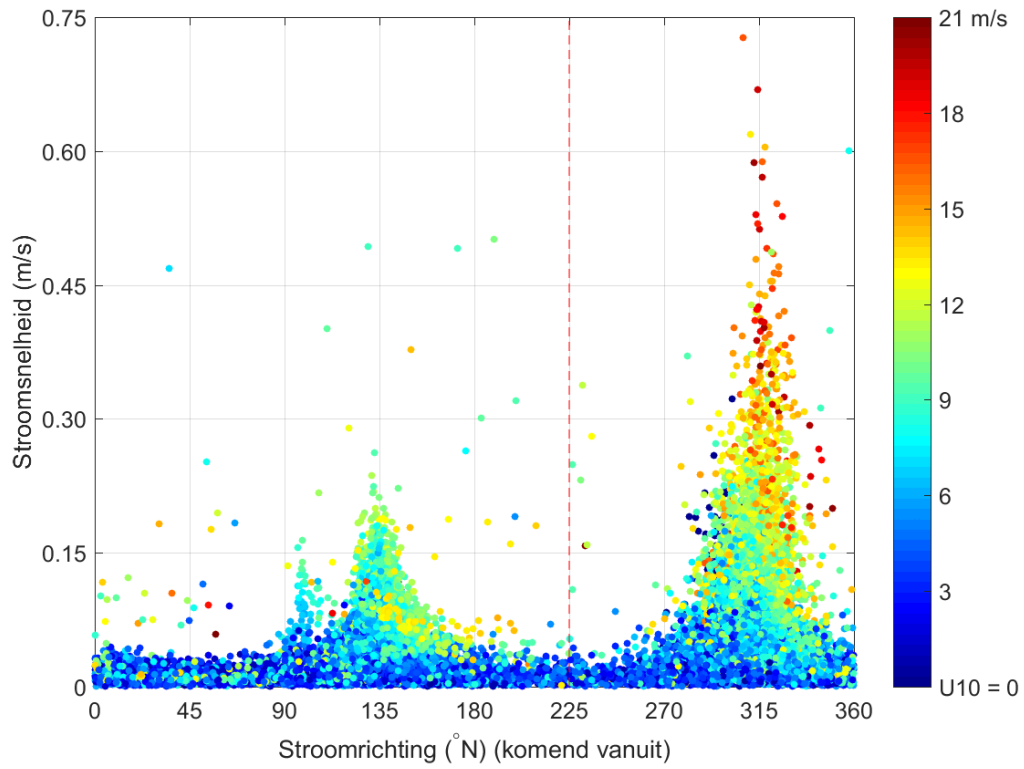
Figuur 3.19 Verhouding tussen windrichting (horizontale as) en golfrichting (verticale as), waarbij de markers zijn gekleurd op windsnelheid. De rode lijn is een visuele representatie van de trend in de data.

Figuur 3.19 geeft de verhouding tussen windrichting en golfrichting weer. Hieruit blijkt dat:

- Bij windrichtingen tussen Noord en Noordoost (0-45 graden; van de dijk afwaaiend) de golfrichting overwegend Noordwest (315 graden; parallel aan de dijk) is;
- Bij windrichtingen tussen Noordoost en Oost (45-90 graden) de windrichting en golfrichting gemiddeld genomen overeen komen.
- Bij windrichtingen tussen Oost en Zuid (90-180 graden) een bijdraaiing van de golven richting Zuid te zien is, door refractie.
- Tussen zuid en noord (180-360 graden) een vrij duidelijke curve aanwezig is, waarbij de golven ten opzichte van de windrichting meer in de richting haaks op de dijk bewegen. Ook hier speelt refractie een rol.

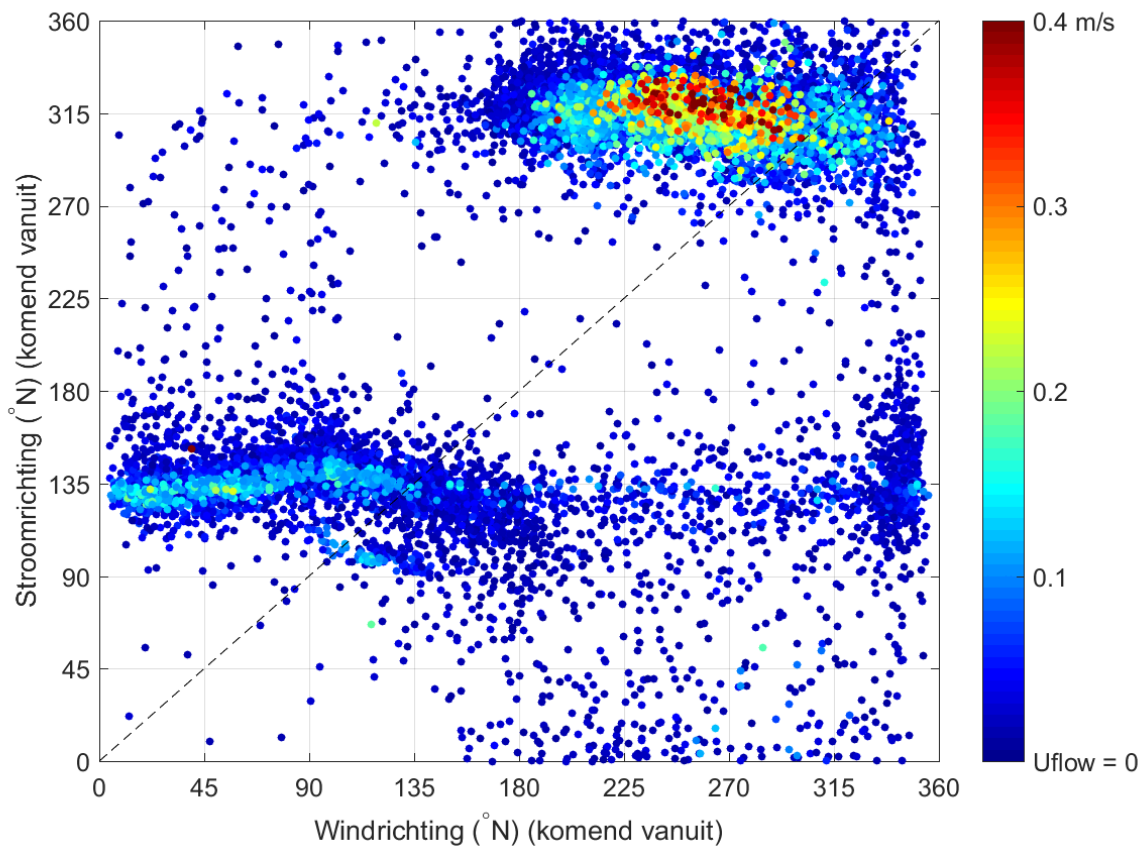
3.4.6 Stroming

Figuur 3. geeft een vergelijking tussen de stroomrichting en de stroomsnelheid ter plaatse van de Vector ADV in de nabijheid van de pilot. De weergegeven waarden zijn het gemiddelde over ieder burst-interval van 4096 metingen (512 s). De wind veroorzaakt een circulatiestroming in het Markermeer. Ter plaatse van de pilot is dit merkbaar als een stroming parallel aan de Houtribdijk, ofwel een stroming van zuidoost naar noordwest (circa 135 graden), ofwel van noordwest naar zuidoost (circa 315 graden). De stroomsnelheid vanuit zuidoostelijke richting is beperkt tot maximaal 0.25 m/s, terwijl de stroomsnelheid vanuit noordwestelijke richting op kan lopen tot 0.75 m/s.



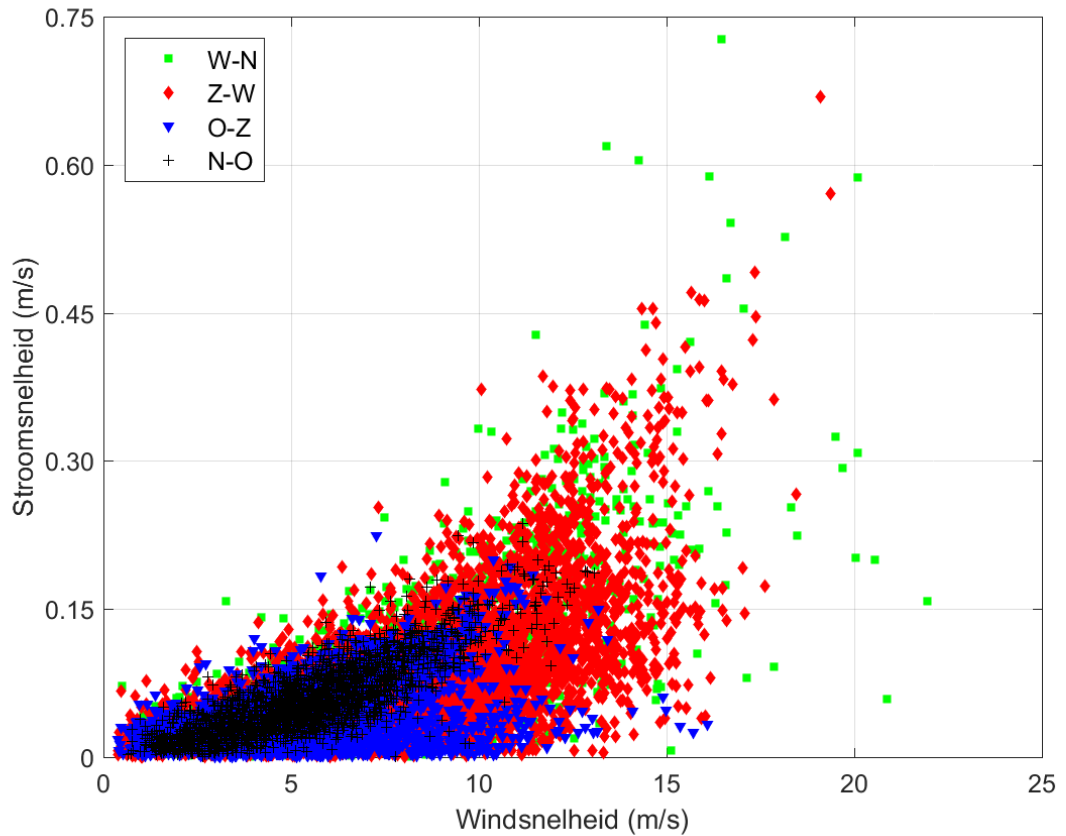
Figuur 3.20 Vergelijking stroomrichting (in graden ten opzichte van noord, gedefinieerd als 'komend vanuit') en stroomsnelheid (verticale as), waarbij de markers zijn gekleurd op windsnelheid

Figuur 3.21 geeft een vergelijking tussen de windrichting en de stroomrichting. Stroomsnelheden lager dan 0.01 m/s zijn weg gelaten in deze figuur. Te zien is dat de circulatiestroming in het Markermeer tegen de klok in beweegt bij windrichtingen tussen ongeveer 330 en 160 graden (de oostelijke windsector). Bij de Houtribdijk resulteert dit in een stroming van zuidoost naar noordwest (richting Enkhuizen). Bij windrichtingen tussen 160 en 330 graden (de westelijke windsector) beweegt de circulatiestroming met de klok mee. Bij de Houtribdijk resulteert dit in een stroming van noordwest naar zuidoost (richting Lelystad).



Figuur 3.21 Vergelijking windrichting (horizontale as) en stroomrichting (verticale as, beide in graden ten opzichte van noord, gedefinieerd als 'komend vanuit'), waarbij de markers zijn gekleurd op stroomsnelheid in m/s. Stroomsnelheden onder 0.01 m/s zijn niet weergegeven.

Figuur 3.6 geeft een vergelijking tussen de windsnelheid en de stroomsnelheid bij de Houtribdijk. Te zien is dat de stroomsnelheid toeneemt bij toenemende windsnelheid. Hoge stroomsnelheden (boven 0.30 m/s) treden alleen op bij hoge windsnelheden (10 m/s, windkracht 6). Het verband tussen windsnelheid en stroomsnelheid lijkt niet sterk te verschillen tussen de verschillende windsectoren.



Figuur 3.6 Vergelijking windsnelheid (horizontale as) en stroomsnelheid (verticale as) voor vier verschillende windsectoren

3.4.7 Karakterisering klimaat per periode

De metingen van de morfologische veranderingen zijn in de periode september 2014-april 2015 maandelijks uitgevoerd. In totaal zijn er in deze periode 8 morfologische metingen uitgevoerd. Daarna is de frequentie verlaagd, en zijn nog verschillende aanvullende metingen verricht (paragraaf 4.1, tabel 3.2).

Tabel 3.1 Data morfologische metingen

T1: 2014-09-18	T5: 2015-01-23	T10: 2016-01-15	T15: 2017-03-06	T21: 2018-01-06
T2: 2014-10-25	T6: 2015-02-15	T11: 2016-02-28	T16: 2017-05-17	T22: 2018-02-20
T3: 2014-11-19	T7: 2015-03-18	T12: 2016-05-27	T17: 2017-09-01	T23: 2018-03-20
T4: 2014-12-28	T8: 2015-04-06	T13: 2016-08-23	T18: 2017-10-19	
	T9: 2015-08-21	T14: 2016-11-23	T19: 2017-12-01	
			T20: 2017-12-22	

Bijlage C beschrijft de hydrodynamica in de periodes tussen de metingen. Pas vanaf T3 zijn lokaal gemeten hydrodynamische data beschikbaar. Voor T1-T2 en T2-T3 is de analyse gebaseerd op data van het KNMI, volgens de in Appendix A beschreven relaties tussen de verschillende parameters.

3.4.8 Algemene karakteristieken (18-9-2014 t/m 20-03-2018)

De algemene karakteristieken van wind, waterstand en golven gedurende de complete meetperiode zijn weergegeven in tabel 3.3.

Tabel 3.2 Algemene karakteristieken van wind, waterstand en golven gedurende de complete meetperiode

Grootheid	Symbool	Eenheid	Minimum	5% percentiel	Gemiddeld	95% percentiel	99% percentiel	Maximum
Windsnelheid	U	m/s	0.4	2.1	6.3	11.8	14.4	22.9
Waterstand	h	m+NAP	-0.80	-0.43	-0.27	-0.11	-0.03	0.43
Golfhoogte	H_{m0}	m	0.00	0.02	0.20	0.54	0.78	1.27
Golfperiode	T_p	s	0.76	0.92	1.99	3.05	3.66	5.33

4 Morfodynamica en bodemkarakteristieken

De ontwikkeling van het zandige voorland is op verschillende schaalniveaus gemonitord:

1. De totale ontwikkeling van het zandige talud is ingemeten door Shore (§4.1)
2. De twee camera's op de meetmast hebben dagelijks verschillende foto's gemaakt van de ontwikkeling van de oeverlijn (§4.2) daarnaast is de zandafslag langs de oeverlijn ook middels satellietbeelden in kaart gebracht (§5.1)
3. De korrelgrootteverdeling is doormiddel van gestructureerde veldmonsters bepaald, zowel voor het bovenwater als onderwatertalud (§4.2)
4. De ontwikkeling van chemische bodemveranderingen is voor het bovenwaterprofiel ingemeten (§4.3)
5. De ontwikkeling van de grondwaterstand in de proefsectie (§4.4)

Volgens ontwerp hebben de vakken 1 en 2 een talud van 1:30 en de vakken 3 en 4 een talud van 1:25. Dit verschil blijkt in de praktijk niet waarneembaar te zijn en heeft geen effect op de vegetatie of de morfologische ontwikkelingen die zijn waargenomen. De factor taludhelling wordt daarom verder niet gebruikt in de analyses van morfologie en vegetatie. De aangebrachte oeververdediging van houten palen en wilgentenen sloeg al snel weg en heeft daardoor geen significante invloed gehad op de morfologie en vegetatieontwikkeling. Dit verschil in 'behandeling' is daarom niet in verdere analyses betrokken.

4.1 Morfodynamica totale talud

De morfologische veranderingen van het totale talud zijn ingemeten door Shore Monitoring en Research. De gedetailleerde metingen van de hoogteligging van het talud, de zakkaken en de rijsmat zijn in de periode september 2014 - april 2015 maandelijks uitgevoerd, daarna zijn de metingen terug gebracht tot 4 metingen per jaar, waarna in de laatste winterperiode de frequentie weer is verhoogd in verband met aanvullende metingen. Het meetprotocol is gedetailleerd beschreven in de veldrapportages van Shore behorende bij elke afzonderlijke meting (Shore Monitoring & Research, 2014-2018). Er is gebruik gemaakt van een GNSS Basisstation op een referentiepunt op de dijk, en 2 GNSS rovers (de jetski voor de ondiepe delen vanaf 50 cm diepte, en de GNSS rolconstructie voor de droge delen en de ondiepe delen tot 50 cm diepte). De vaste meetraaien staan in figuur 4. 1. De zakkaken en locaties op de rijsmat zijn met een handheld GNSS op een loodstaaf ingemeten.

In totaal zijn er in 23 metingen uitgevoerd:

T1: 2014_09_18

T2: 2014_10_25

T3: 2014_11_19

T4: 2014_12_28

T5: 2015_01_23

T6: 2015_02_15

T7: 2015_03_18

T7 aanvullingen – jetski metingen behorende bij T7 – 2015_03_21 (mist belemmerde toegang open water op 18 maart 2015). Deze data zijn bijgevoegd in de totale Shore meting T7

T8: 2015_04_06

T9: 2015_08_21

T10: 2016_01_15

T11: 2016_02_28

T12: 2016_05_27

T13:2016_08_23
 T14:2016_11_23
 T15:2017_03_06
 T16:2017_05_17
 T17:2017_09_01
 T18:2017_10_19 (start aanvullende metingen)
 T19:2017_12_01
 T20:2017_12_22
 T21:2018_01_06
 T22:2018_02_20
 T23:2018_03_20

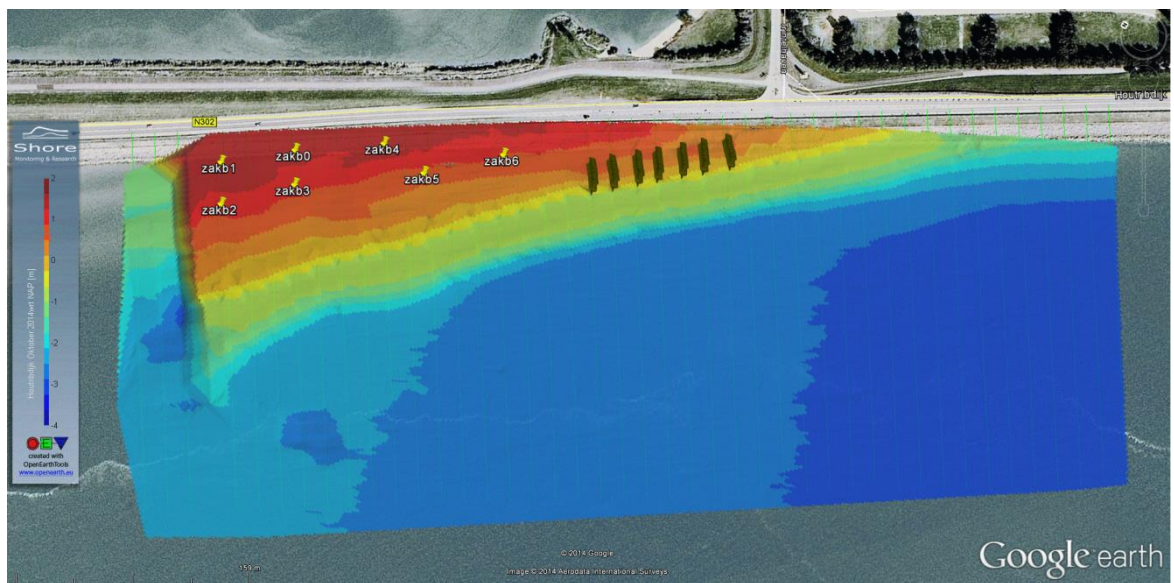
Per meetevent leverde Shore Monitoring 4 sets met data op, samen met een veldrapportage. Deze sets betreffen:

- 1 Sedisamples: de locaties waarop de sediment samples in het water worden genomen (zie paragraaf 4.3)
- 2 Settlement_plates: de ingemeten zakkbaken (zie figuur 4.2)
- 3 Surveytracks: de gelopen en gevaren surveytracks (figuur 4.1)
- 4 Wiepen: de puntmetingen in het rijsmattenveld. *Na het verdwijnen van het wiepenvak is dit niet meer ingemeten (laatste meting mei 2016, zie figuur 4.2)*

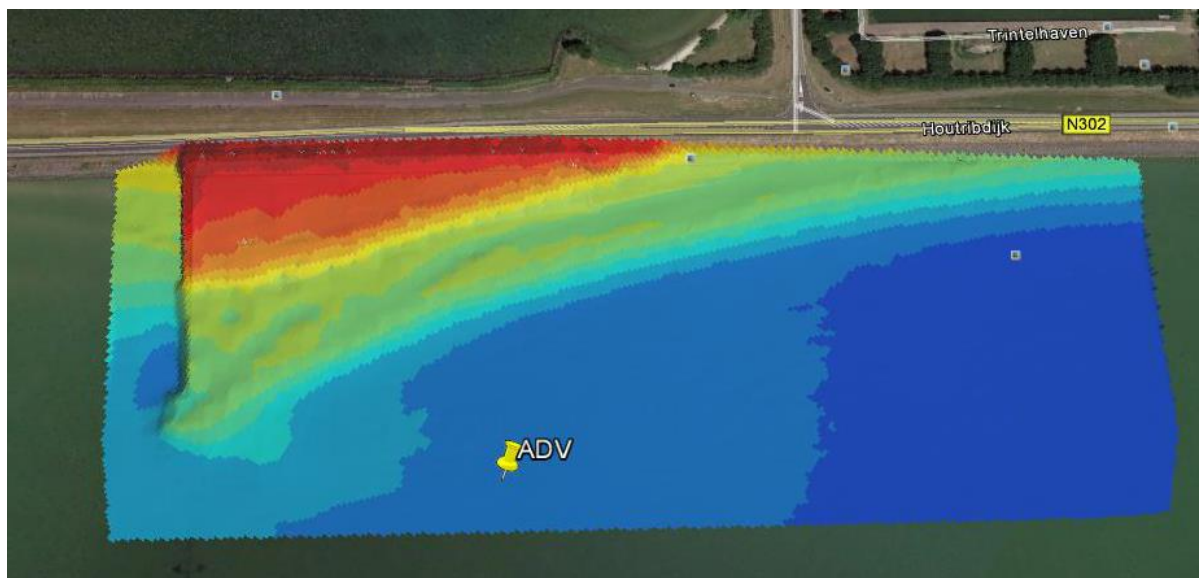
Daarnaast leverde Shore Monitoring & Research geïnterpoleerde data op (figuur 4.2 en figuur 4.3 als voorbeeld). De veldrapportages van Shore Monitoring bevatten additionele informatie over de waargenomen situatie in het veld en betreffen o.a. de opmerkelijke aspecten en foto's daarvan. De verdere verwerking van deze gegevens is te vinden in de rapportage over de morfologische veranderingen (Steetzel et al, 2018)



Figuur 4.1 Meetgebied met daarin aangegeven: meetraaien (groene lijnen), zakkbakens (gele markers), meetraaien over wiepen in rijsmattenvak (donkergroene markers)



Figuur 4.2 T2- overzicht van het geïnterpoleerde resultaat van de morfologische metingen door Shore, waarin zichtbaar de zakkaken en de punten op de rijnsmat



Figuur 4.3 T14_ Geïnterpoleerde hoogteligging, en de locatie van de ADV voor de pilot.

4.2 Camera-beelden voor oeverlijn ontwikkeling

De twee fotocamera's op de mast (een groothoeklens en een telelens) maakten 8 foto's per dag (ieder uur in de periode tussen 9 uur 's ochtends en 4 uur 's middags, zie voorbeelden in Figuur 4.4 en Figuur 4.5). De camera's geven een goed beeld van de dagelijkse ontwikkelingen op de proefsectie. De foto's zijn automatisch overgezet naar de repository.

Nadat er in het eerste jaar er gemiddeld om de week wandelaars/kiters op de proefsectie te vinden waren, is dat aantal nadien sterk afgenomen. Er kwamen in de laatste 2 jaren nauwelijks nog bezoekers op de pilot.



Figuur 4.4 Foto's van de groothoekcamera op 2 juni 2015, en op 6 juni 2015 aanplant in vak 2 en 3 zichtbaar.



Figuur 4.5 Foto's van de groothoekcamera op 1 oktober 2015 en 12 december 2015

De telelens is tijdens de onderhoudsbeurt van 21 oktober 2016 met 3 graden gedraaid, omdat er door de grote erosie nog maar weinig zichtbaar oeverlijn was op deze beelden. De telelens is ook in de winter van 2017-2018 verplaatst om de ontgraving op het midden van de proefsectie goed te kunnen volgen. De camerabeelden (zie voorbeelden in Figuur 4.) zijn niet verder kwantitatief uitgewerkt, maar hebben vooral gefunctioneerd als visuele interpretatie van de ontwikkelingen, met name vlak voor, tijdens en na storm-events.



a



b



c



d



e



f

Figuur 4.6a Foto's van de telecamera op 12 september 2014 (eerste rietaanplant op rijsmat) en 11 april 2015 (b) (sterke golfwerking op de rijsmatten heeft deze gedeeltelijk weggeslagen over het winterseizoen 2014-2015) aanplant achter de rijsmat zichtbaar. c Foto's van de telecamera op 1 oktober 2015 en d. op 13 december 2015. E. 10 oktober 2016: rijsmat geheel weg, foto toont vrijwel alleen water, F 29 november 2016 (bijgedraaid na 21 oktober voor beter zicht op oeverlijn)

4.3 Korrelgrootte analyse

4.3.1 Methode korrelgrootte analyse

4.3.1.1 Bemonstering aanleg

Er zijn sedimentmonsters voor korrelgrootteverdeling genomen tijdens de aanleg. De monsters tijdens aanleg zijn genomen uit een monster van ca. 1 liter dat van elke aanvoerboot genomen is. In eerste instantie is in 2014 per losdag van één aanvoerboot een monster geanalyseerd. In december 2015 zijn de analyses van alle overige monsters van de aanleg uitgevoerd.

4.3.1.2 Bemonstering talud

Tijdens het veldbezoek op 3 november 2014 zijn 53 monsters genomen, verdeeld over 3 raaien (zie Figuur 4.7). Raai 1 is langs de oeverlijn, raai 2 op ca. 10 meter van de oeverlijn en raai 3 op ca. 30 meter van de oeverlijn. Afstand tussen de monsterpunten per raai was ca. 15 meter. Vanwege de driehoekige vorm van de pilot is het aantal monsterpunten per raai niet gelijk. Raai 1 bestond uit 22 monsterpunten, waarvan 3 op de rijsmat. Raai 2 bestond uit 17 monsterpunten, en raai 3 uit 14 monsterpunten. Met behulp van een grondboor is op elk monsterpunt ca. 5 gram verzameld van de toplaag (ca. 0,5 cm). De grondboor is horizontaal gebruikt, zodat specifiek het laagje wat zou kunnen verstuiven bemonsterd werd (zie Figuur 4.8).



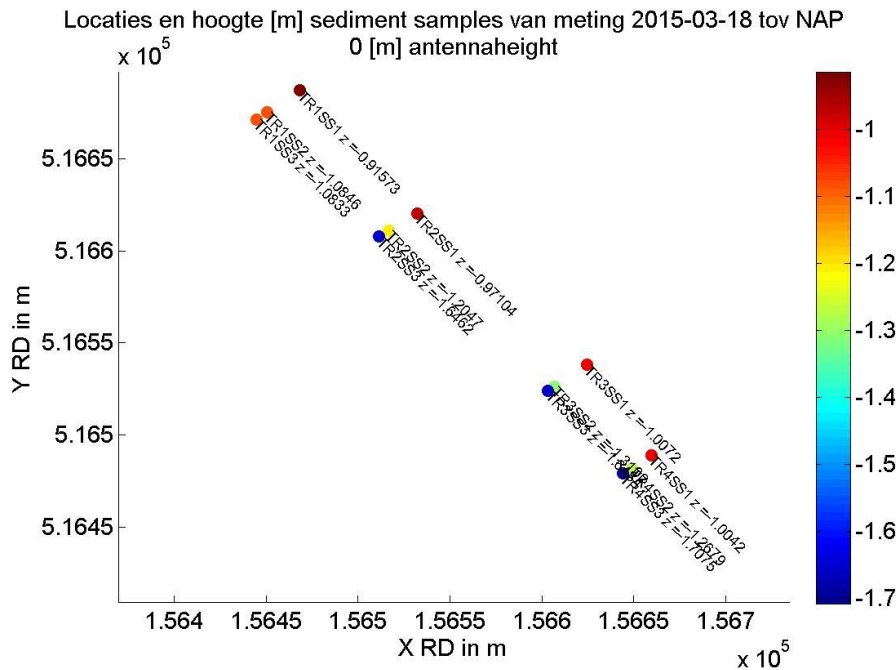
Figuur 4.7 Ligging monsterpunten grid. Raai 1 = groen, raai 2 = rood, raai 3 = zwart. Raai 1 is genummerd van NW-ZO 1 t/m 22 (rijsmat is nummers 17, 18 en 19, groene diamanten), raai 2 is genummerd van ZO-NW 23 t/m 39, raai 3 is genummerd van NW-ZO 40 t/m 53.



Figuur 4.8 Horizontale monstername met grondboor zodat alleen de bovenste 0,5 cm bemonsterd wordt.

4.3.1.3 Bemonstering Shore onder water

Shore Monitoring & Research heeft tijdens de bemonsteringen T3 t/m T23 sedimentmonsters onder water verzameld. Per keer zijn 12 monsters verzameld, per vak een transect resulterend in 4 transecten, en per transect op drie dieptes. De eerste keer zijn de monsterpunten gekozen op -0,5 m, -1,0 m, -1,5 m NAP. Op elk monsterpunt is sediment bemonsterd van de bovenste 2 cm. Op T3 zijn deze monsterpunten precies ingemeten, op de daaropvolgende bemonsteringen is op dezelfde plek bemonsterd (Figuur 4.9). Door erosie en sedimentatie kan de diepte enigszins afwijken van de diepte op T3. Vanaf T8 is er per transect een vierde punt bemonsterd, op -2 m NAP.



Figuur 4.9 Locatie monsterpunten onderwater bemonsterd door Shore, met weergegeven de diepte van elk monsterpunt op T7.

4.3.1.4 Voorbehandeling en analyse

De monsters van de aanleg zijn allemaal voorbehandeld, waarbij kalk en organisch materiaal verwijderd zijn. Deze voorbehandeling wordt standaard gedaan voor terrestrische bodemonsters, op deze manier worden de losse (minerale) deeltjes gemeten. In het veld zijn korrels soms aan elkaar gekit door het organisch materiaal. Er bleek weinig verschil in verdeling tussen de directe meting en meting na voorbehandeling (verwijderen kalk en organisch stof). In deze rapportage wordt alleen de analyse aan de onbehandelde monsters gegeven. Vanaf december 2014 worden de monsters alleen onvoorbehandeld geanalyseerd. Deze meting geeft namelijk weer hoe groot de deeltjes zijn die door wind en/of water verplaatst kunnen worden.

Analyse van de deeltjes is gebeurd met een Coulter LS230 laser grain-sizer met een 5 mW 750 nm laser beam, op het Earth System Science laboratorium van Wageningen UR. Voorbehandeling en analyse conform Buurman et al. (2001). De ruwe data geven een volume percentage verdeling per diameter klasse, in totaal worden er 93 klassen gemeten, van 0.375 μm tot 2000 μm . Uit deze volumeverdeling zijn in de eerste analyses (2014 en 2015) de volgende parameters bepaald:

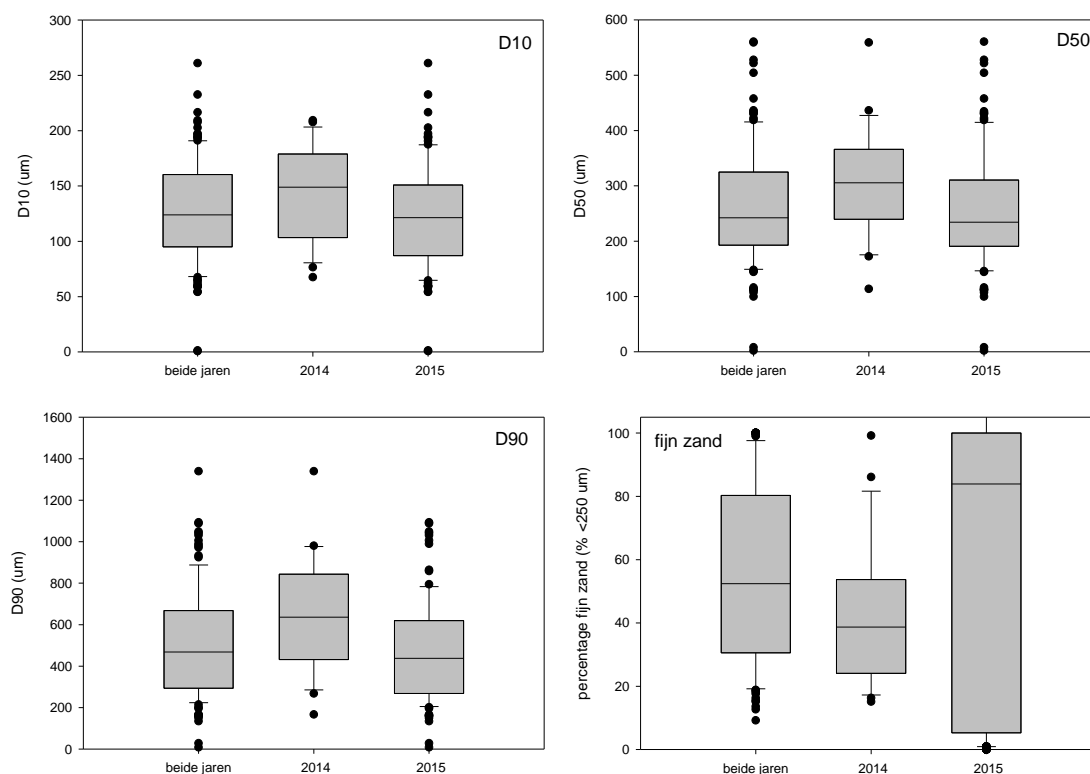
- Diameter bij piek in verdeling
- Diameter bij de helft van het maximum (laag en hoog)
- Breedte verdeling (hoog – laag)
- Percentage fijn zand (fractie met korrelgrootte < 250 μm).

In dit rapport wordt alleen de D_{10} , D_{50} en D_{90} gerapporteerd, en het percentage fijn zand (fractie met korrelgrootte < 250 μm).

4.3.2 Aangevoerd zand bij aanleg

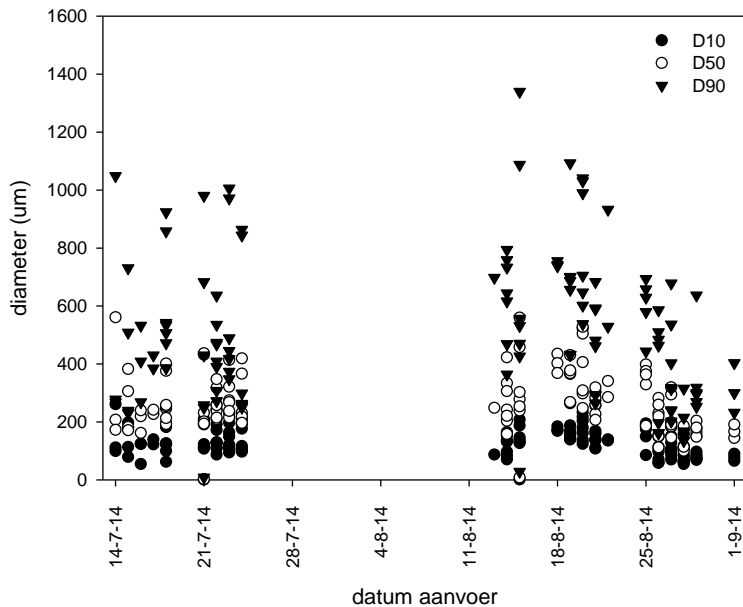
In eerste instantie zijn 23 monsters geanalyseerd, per losdag 1 monster, waaraan met laserdiffractie de korrelgrootte verdeling is bepaald. In 2014 zijn deze 23 monsters ontkalkt, en het organisch materiaal is verwijderd. In december 2015 zijn de overige monsters geanalyseerd, zonder voorbehandeling. Hierdoor ontstaat er enige spreiding in de analyse resultaten van de monsters van het aangevoerde zand: Figuur 4.10 laat met behulp van boxplots de spreiding in de dataset zien voor de verschillende parameters. Hieruit blijkt dat de spreiding aanzienlijk is. Er is ook een verschil tussen de in 2014 en 2015 geanalyseerde samples. De D_{10} , D_{50} en D_{90} waarden liggen in de 2015 analyses lager dan in de 2014 analyses, wat inhoudt dat er meer kleinere korrels zijn. Het verschil tussen de analysejaren is significant voor D_{10} en D_{90} , en niet voor D_{50} . De gemiddelde D_{50} is $264 \mu\text{m}$ (± 106).

Het verschil tussen de analyses in beide jaren kan komen doordat er in 2014 wel voorbehandeld is (ontkalken en organisch stof verwijderen), en in 2015 niet. Echter, door de voorbehandeling worden vastgekitte deeltjes losgemaakt, worden meer kleinere deeltjes verwacht. Een andere mogelijke verklaring is het effect van langdurige opslag. De monsters die in 2015 zijn gemeten zijn donker en koel bewaard (opgeslagen in een koelcel met een gemiddelde temperatuur van $8 \text{ }^\circ\text{C}$). De verwachting is dat dit weinig effect heeft op de minerale deeltjes. Maar opslag kan wel effect hebben op het organisch stof (langzame bacteriële afbraak is mogelijk), wat tot kleinere deeltjes leidt.



Figuur 4.10 Boxplots van D_{10} , D_{50} , D_{90} en % fijn zand, voor beide jaren samen ($n=125$), en uitgesplitst voor de analyse in 2014 ($n=23$) en 2015 ($n=102$). De box geeft het 25 en 75 percentiel aan, de horizontale lijn de mediaan, de vlaggen zijn het 5 en 95 percentiel, de stippen daarbuiten zijn de outliers.

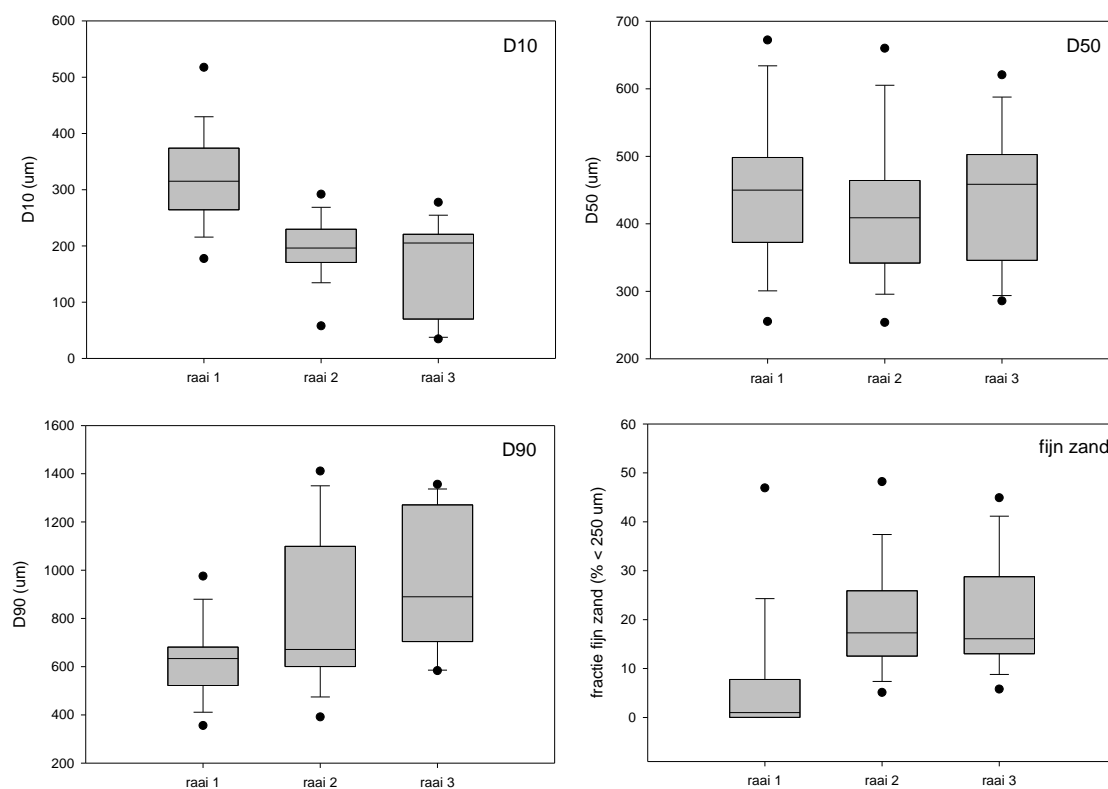
Als de D_{10} , D_{50} en D_{90} wordt uitgezet tegen datum aanvoer (Figuur 4.11), dan blijkt daaruit dat er in de tijd variatie is, met in het begin van de aanleg iets lagere waarden, in het midden hogere waarden, en op het eind weer iets lagere waarden. Doordat de aanleg bij de damwand is begonnen, en van daaruit naar het zuidoosten is aangelegd, volgt de verwachting dat er ook initieel een ruimtelijke spreiding is in de korrelgrootte.



Figuur 4.11 D_{10} , D_{50} en D_{90} per losdag tijdens de aanleg.

4.3.3 Analyse korrelgrootteverdeling droge talud

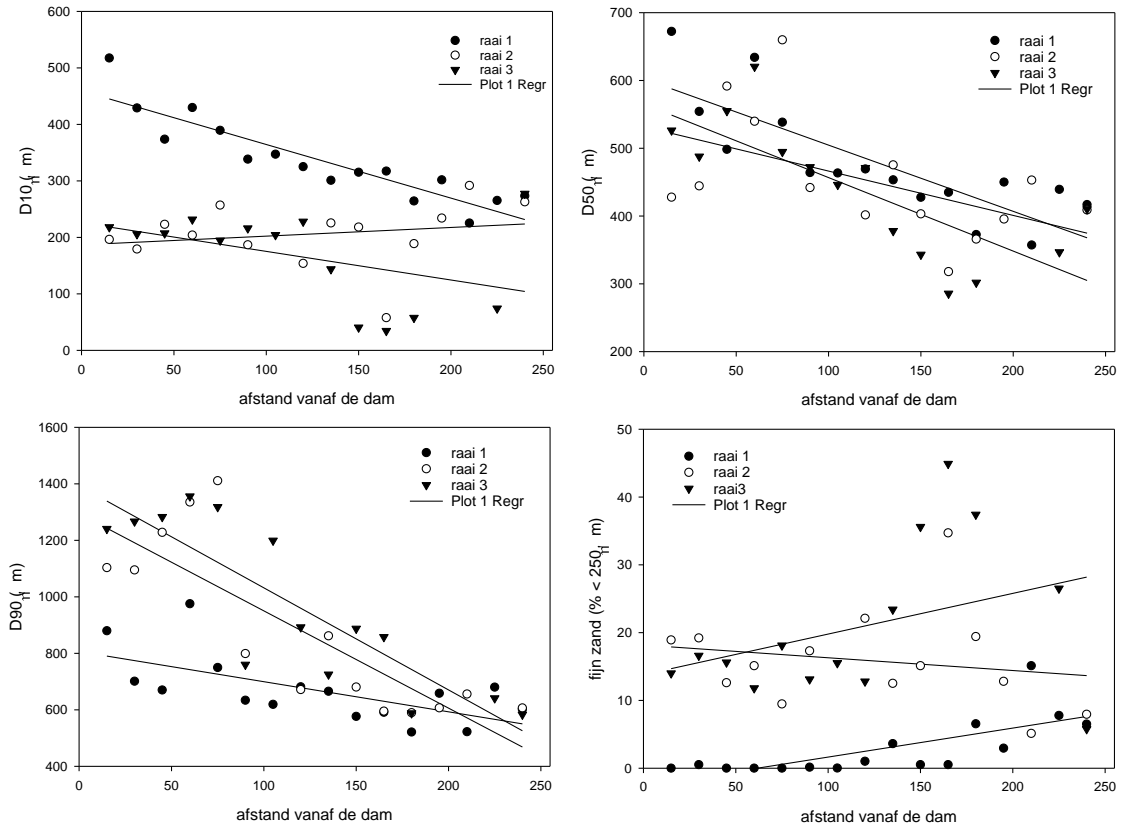
Figuur 4.12 geeft D_{10} , D_{50} , D_{90} en fractie fijn zand weer, als boxplot per raai. De boxplots laten zien dat er behoorlijk wat variatie tussen monsters zit binnen een raai (grote box). Wat uit de verschillende plaatjes blijkt, is dat de D_{50} ongeveer gelijk is op de 3 raaien (overall range 250 – 670 µm), maar dat de D_{10} en D_{90} laten zien dat langs de oeverlijn er meer grovere deeltjes zijn, en hoger op het talud meer fijnere deeltjes. Het zand sorteert zich dus uit op het talud, afhankelijk van de hoogte/afstand van de oeverlijn. Dit is (grotendeels) transport door de wind (eolisch), aangezien dit boven de waterlijn gebeurt.



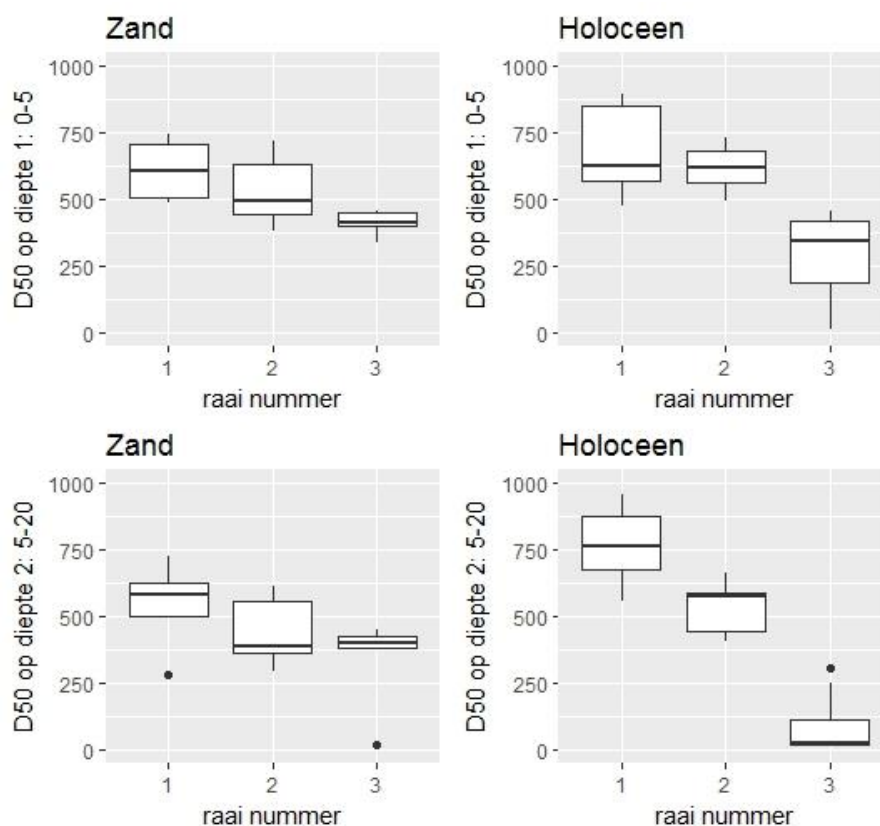
Figuur 4.12 Boxplots van D_{10} , D_{50} , D_{90} en % fijn zand, op de drie bemonsterde raaien op het talud. Raai 1 is langs de oeverlijn, raai 2 is op 10 m van de oeverlijn, raai 3 is op ca 30 m van de oeverlijn. De monsters op de rijsmat zijn weggelaten.

In Figuur 4.13 wordt de ruimtelijke variatie per raai weergegeven. Op raai 1, langs de oeverlijn, neemt de D_{10} af met toenemende afstand van de damwand, ook D_{50} en D_{90} nemen af, en de percentage fijn zand neemt toe met toenemende afstand van de damwand. Op raai 2, 10 meter vanaf de oeverlijn, is er geen duidelijk ruimtelijk patroon voor D_{10} en D_{50} en percentage fijn zand, en neemt de D_{90} af met toenemende afstand van de damwand. Op raai 3, het hoogst gelegen op het talud ca 30 m van de oeverlijn, is er geen duidelijk ruimtelijk patroon voor D_{10} en percentage fijn zand. De D_{50} en D_{90} nemen af met toenemende afstand van de damwand

De korrelgrootteverdeling (beoordeeld aan D_{50}) is alleen verschillend met de diepte (0-5 en 5-20 cm) voor de deelvakken met opgebracht holocene materiaal (figuur 4.14). Uit een nadere analyse van D_{50} van de ondiepe ondergrond (5-20 cm) blijkt dat D_{50} van de holocene deelvakken in raai 1 significant groter is dan die in de deelvakken met zand in raai 1 (R lsmeans, $p=0.039$) en in raai 3 zeer significant kleiner ($p<0.0001$); de D_{50} -waarden in raai 2 zijn niet significant verschillend tussen de deelvakken holocene en zand. Dat de toplagen niet significant verschillen in D_{50} tussen de deelvakken is mogelijk het gevolg van overstuiving (zie ook § 4.3.2). De achtergrond van het verschil in D_{50} voor de ondiepe ondergrond tussen de deelvakken zand en holocene in raai 1 (in/langs de waterlijn) is onduidelijk maar mogelijk het gevolg van verschillen in uitwassing van fijn zand of in overspoeling met relatief grof zand.



Figuur 4.13 Verschuiving van D_{10} , D_{50} , D_{90} en % fijn zand ten opzichte van afstand vanaf de damwand, op de drie bemonsterde raaien op het talud. Raai 1 is langs de oeverlijn, raai 2 is op 10 m van de oeverlijn, raai 3 is op ca 30 m van de oeverlijn. Alleen de monsters ten westen van de rijsmat zijn weergegeven. Elk punt is 1 monster. Lineaire regressie is toegevoegd als indicatie van het ruimtelijk patroon.

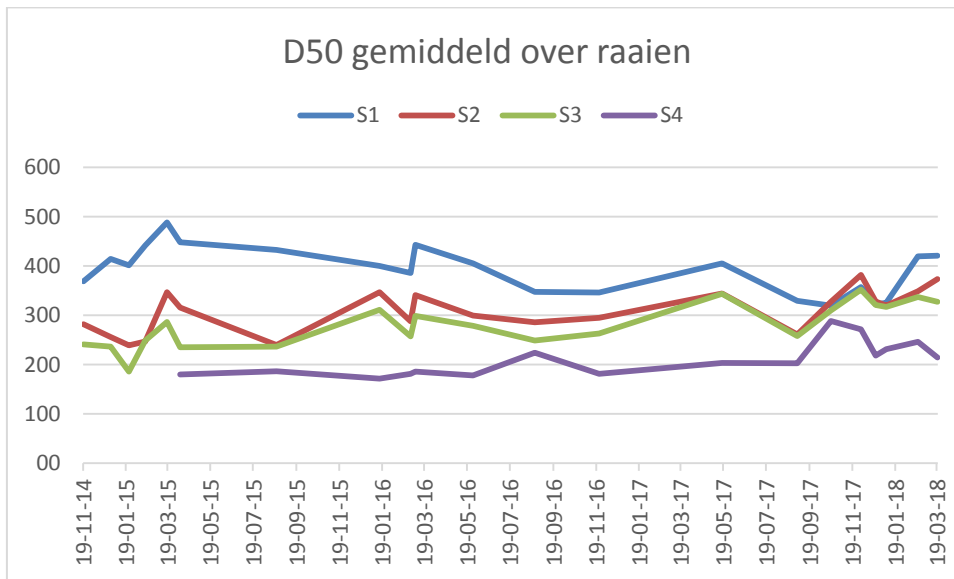


Figuur 4.5 Boxplots van D50 voor de toplaag (0-5 cm) en de ondiepe ondergrond (5-20 cm) van alle PQ's uitgesplitst naar raainummer (1=laag, 3=hoog) voor de deelvakken zand en holoceen, op grond van metingen in september 2015.

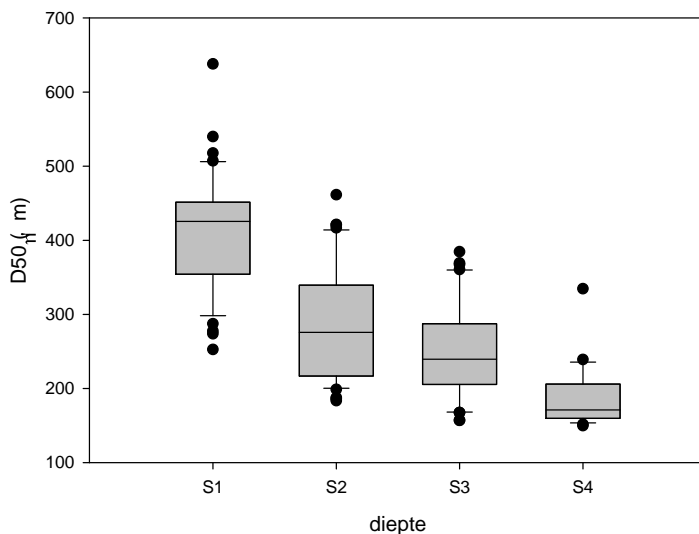
4.3.4 Onderwater-analyses korrelgrootte

In het onderwater deel voor de pilot zijn op 4 transecten (TR1 t/m TR4) loodrecht op de oeverlijn op 3 dieptes sediment gemonsterd (S1 t/m S3). Vanaf april 2015 (T3) is er per transect een 4^e punt toegevoegd, op 2 m diepte (S4, zie ook Figuur 4.16). In deze rapportage worden de D_{10} , D_{50} , D_{90} en % fijn zand gepresenteerd.

Verschillen tussen datum monitoring, transect en monsterpunt zijn getoetst met Kruskal-Wallis, omdat de data niet normaal verdeeld zijn. Er is geen significant tijdseffect voor D_{10} , D_{50} en D_{90} of percentage fijn zand. Er is wel een significant effect van monsterpunt: bij toenemende diepte neemt de D_{10} , D_{50} en D_{90} af, en het percentage fijn zand toe ($p < 0.001$), wat betekent dat er meer kleinere deeltjes zijn op de diepere monsterpunten. Dit blijkt ook uit het percentage fijn zand, de hoogste percentages op het diepste monsterpunt S4 (Figuur 4.16). De verschillen tussen de transecten zijn minder sterk ($p < 0.05$ voor D_{10} , D_{50} en percentage fijn zand), maar deze zijn niet systematisch. De gemiddelde D_{50} over de tijd (Figuur 4.15) bevestigt het beeld van een lagere D_{50} dus meer kleine deeltjes bij toenemende diepte van het monsterpunt.



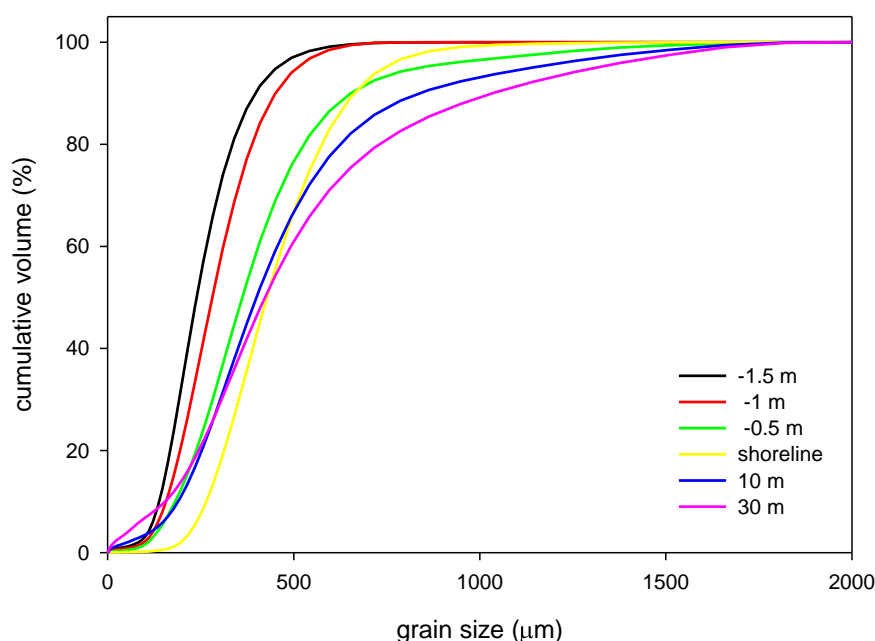
Figuur 4.15 Gemiddelde D50 voor vier diepten in de tijd (gemiddelde van vier transecten). S1 = 0.5 m diep, S2 = 1 m diep, S3 = 1.5 m diep, S4 = 2 m diep.



Figuur 4.16 Boxplots van D_{50} op de onderwater transecten. S1 = 0.5 m diep, S2 = 1 m diep, S3 = 1.5 m diep, S4 = 2 m diep.

4.3.5 Variatie in korrelgrootteverdeling en D_{50} over het dwarsprofiel van de pilot

In november 2014 zijn de eerste veldmonsters genomen, zowel onder water als op het talud. Met inachtneming van het verschil in monsternamen (onder water met een Van Veen grab, boven water de bovenste 0.5 cm, laten deze metingen het volgende beeld zien over het gehele dwarsprofiel van de pilot (Figuur 4.17). Van diep onder water (-1.5) tot aan de oeverlijn is er een min of meer parallelle verschuiving van de verdeling (zwart, rood, groen en geel) naar een steeds grotere mediane diameter. De monsters op het talud (geel, blauw en roze, weergegeven in afstand tot de oeverlijn) laten meer een kanteling zien in de verdeling, rond een gelijke mediane diameter. Hoe hoger op het talud, hoe meer variatie in deeltjesgrootte.



Figuur 4.17 Korrelgrootteverdeling onder water (uitgedrukt in diepte) (monsternamen 19 november) en op het talud (monsternamen 3 november) (uitgedrukt in afstand tot de oeverlijn).

4.4 Bodemchemie

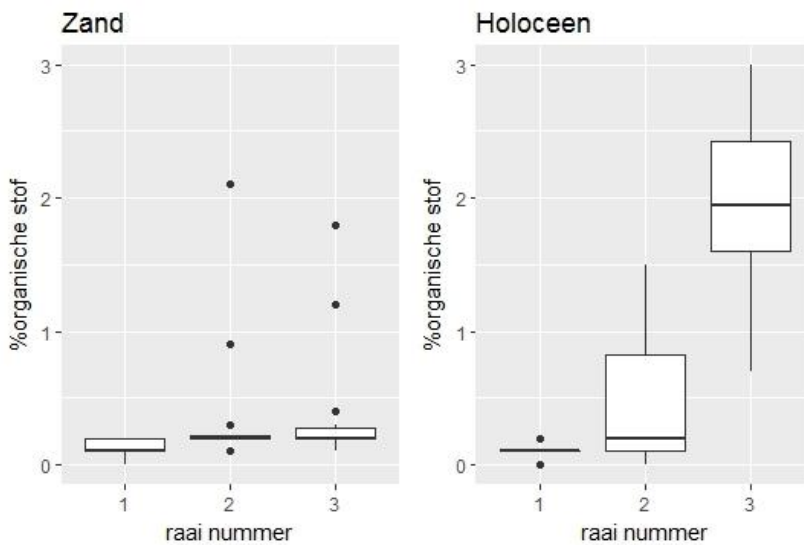
4.4.1 Analyse bodemchemie 2015

Werkwijze

Voor de analyse van bodemkarakteristieken in 2015 is de pilot als experiment geanalyseerd, met verschillende behandelingen verdeeld over acht deelvakken (zie § 2.1). Per PQ zijn twee bodemmonsters genomen, een mengmonster van de toplaag (0-5 cm) en een mengmonster van de wortelzone (5-20 cm). Elk mengmonster is afkomstig van vijf stekken met een grondboor. Ten opzichte van de vegetatie-opnames zijn er voor de bodembemonstering nog de volgende aanpassingen gedaan. In de rijsmat (PQ's 16 t/m 20) zijn geen bodemmonsters genomen; in deelvak 6 en 7 zijn dus alleen monsters achter de rijsmat, in raai drie genomen. Een aantal PQ's lag in augustus 2015 onder water, namelijk PQ 1 en 2 in deelvak 1 en PQ 9 in deelvak 3. Bij deze PQ's is alleen een monster van de toplaag genomen (0-5 cm). In totaal zijn aldus 99 monsters door het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB) geanalyseerd op de volgende variabelen: korrelgrootteverdeling, N-totaal (g/kg), P-totaal (mg/kg), organische-stofgehalte (uit gloeiverlies, 105-550 °C), vochtgehalte en pH-water (bij 20 °C). Detailresultaten van deze analyses zijn terug te vinden in appendix D.

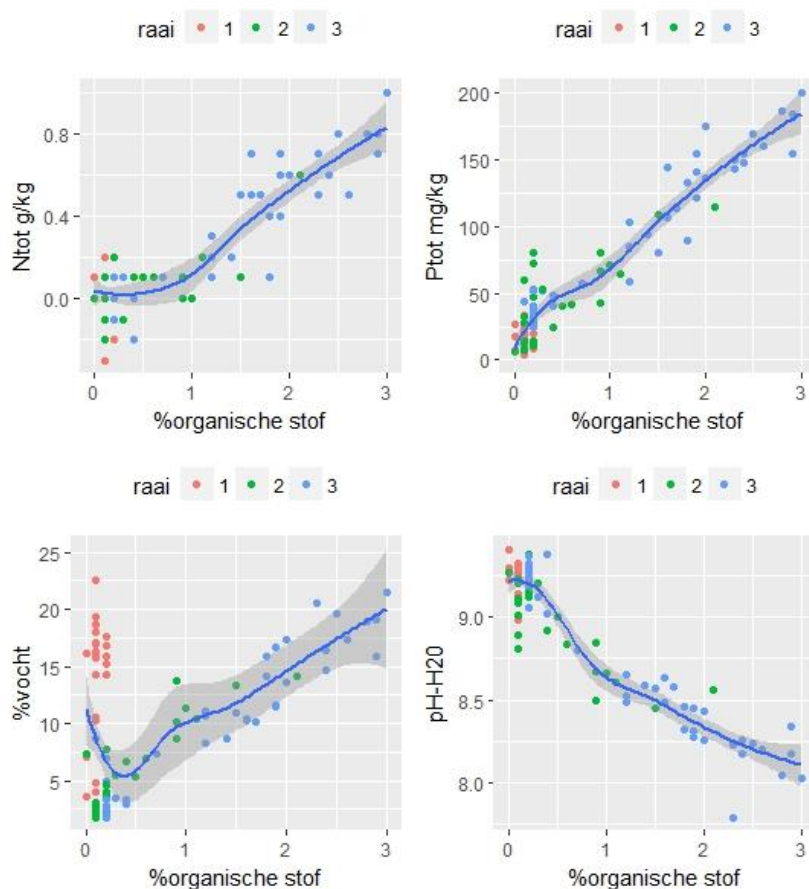
Resultaten

Het organisch-stofgehalte speelt een sleutelrol in de bodemchemie van de onderzochte PQ's. Voor de raaien binnen de deelvakken "zand" is het organisch-stofgehalte niet significant verschillend van 0 (R Ismeans). Binnen de deelvakken met holoceen materiaal is het gemiddeld percentage organische stof van PQ's in de raaien 2 en 3 significant groter dan 0 en in raai 3 significant groter dan in de raaien 1 en 2 (R Ismeans, $p < 0.0001$; figuur 4.18). Kennelijk waren najaar 2015 de raaien 1 en 2 al dermate geërodeerd dat ook de deelvakken "holoceen" bodemchemisch niet veel meer verschilden van "zand".



Figuur 4.68 Boxplots van het organisch-stofgehalte per plot voor de deelvakken zand en holoceen uitgesplitst naar raainummer (1=laag, 3=hoog) op grond van metingen uit september 2015.

De gehalten stikstof en fosfor en het vochtgehalte blijken sterk positief gecorreleerd met het organisch-stofgehalte (>0.5%) terwijl pH-water hiermee sterk negatief is gecorreleerd (figuur 4.19). Deze kenmerken variëren dus al naar gelang het organisch-stofgehalte tussen de deelvakken zand en holoceen en binnen de laatste categorie tussen de raaien. De pH is ongeacht het gehalte organische stof zeer hoog.



Figuur 4.19 Scatterplots met trendlijnen voor N-totaal, P-totaal, %vocht en pH tegen organisch-stofgehalte voor alle PQ's op grond van metingen in september 2015.

4.4.2 Analyse bodemchemie 2016

Werkwijze

Bodemontwikkelingen op aanwassen zoals die van Houtribdijk zijn zeer gering vanwege hun jonge karakter. Beschrijvingen van bodems zoals gebruikelijk (De Bakker & Schelling, 1989; Ten Cate et al., 1995) is te weinig onderscheidend voor deze initiële bodems. Humusvormen kunnen in relatief korte tijd wel ontwikkelingen te zien geven. De humusvormen zijn beschreven volgens de richtlijnen van de 'field guide humus forms' (Van Delft et al., 2006) en deels volgens de handleiding bodemgeografisch onderzoek (Ten Cate et al., 1995). Classificatie van zowel bodem als humusvorm is echter achterwege gelaten omdat het eerste systeem te weinig onderscheidend is en de tweede classificatie wat betreft initiële vormen nog in ontwikkeling is.

Gelijk met de PQ vegetatie-opname in september 2016 is er een veldinventarisatie van de humusprofielen uitgevoerd. Bij de profielbeschrijvingen is ook het pH-profiel opgenomen door op verschillende dieptes (2, 5, 15, 25, 35, 55, 75, 95, 115 en 135 cm – mv.) de pH te bepalen met indicatorstrookjes¹. Voor de Houtribdijk zijn de bepalingen dieper in het profiel overigens weinig onderscheidend in verband met de kalkrijkdom van de profielen en de geringe bodemontwikkeling. Met deze pH-profielen is het mogelijk om beginnende ontkalking en ontwikkeling van de bovengrond in beeld te krijgen. Deze methode is o.a. gebruikt bij het droogtemeetnet Overijssel (De Waal & Hommel, 2013). Samen met de humusvormbeschrijving geeft het pH-verloop in de bovengrond een goede indruk van de ontwikkelingen van de standplaatsen in de nog jonge vegetatie. Met deze methode kan ook de verdere ontwikkeling van de standplaats gekoppeld worden aan de toekomstige fasen van de successie (De Waal & Hommel, 2010). Het is daarmee een goed instrument voor monitoring van ontwikkelingen op de middellange termijn.

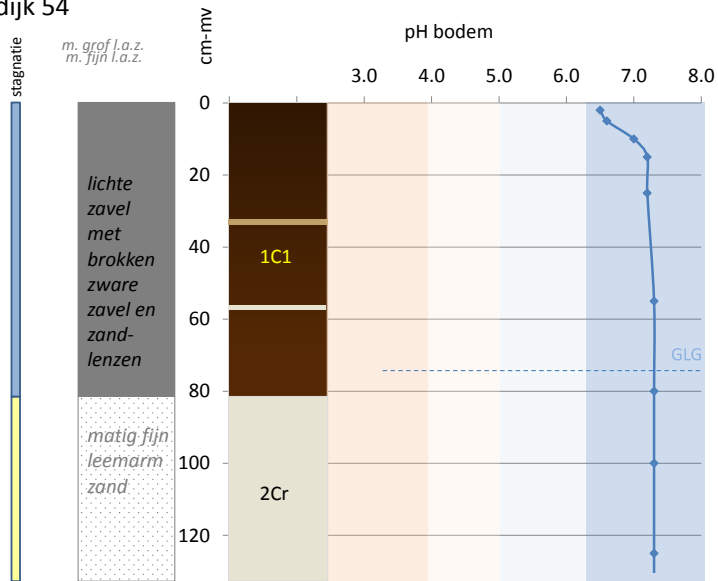
Resultaten

De bodem- en humusontwikkeling in Houtribdijk is zoals verwacht gering. De gemeten profielen zijn in figuur 4.20 schematisch samengevat voor de twee moedermaterialen: Donkerbruine, veelal ziltige, matig lichte zavel met een hoog organisch stofgehalte (geschat 6-8%) (PQ 54, deelvak holoceen in raai 3) en matig fijn tot matig grof leem- en ijzerarm zand (PQ 41, deelvak zand in raai 2). De lemige meegemengde holocene toplaag is 35 tot 80 cm dik en liggen nergens dieper dan 30 cm onder maaiveld. Deze afzettingen zijn kalkrijk (pH 6.8-7.6) en zijn plaatselijk gemengd met brokken met een hoger kleigehalte en (soms ijzerrijke) zandlenzen (54) of verstoord door aanplant van struweel. De nutriënten- en vochthuishouding is in dit opgebrachte holocene materiaal veel gunstiger voor vegetatieontwikkeling dan in de zandbodems. De lemige gronden zijn op veel plekken bedekt met een dunne laag zand (deels verspoeld, deels opgestoven zand). Op de hoger gelegen delen van het onderzoekgebied zijn deze zanddekken gedeeltelijk ontkalkt en daarmee een stuk zuurder dan de leemlaag. De bovenste 3 tot 5 cm kan zelfs ontijzerd zijn (Ce). In de dynamische strandzone is geen sprake van ontkalking, als gevolg van regelmatige aan- en afvoer van zand. Plaatselijk is in de hogere terreingedeelten wat dieper in het bodemprofiel wat fijne ijzerconcentraties ontstaan (Cg en C(g); eerder spikkels dan vlekken), onder invloed van wisselende grondwaterstanden (redox-processen) of stagnatie op een compacte laag. Het zand in de ondergrond onder het niveau van de GLG is gereduceerd (Cr). Door de geringe bodemontwikkeling is inschatting van de GHG niet goed mogelijk.

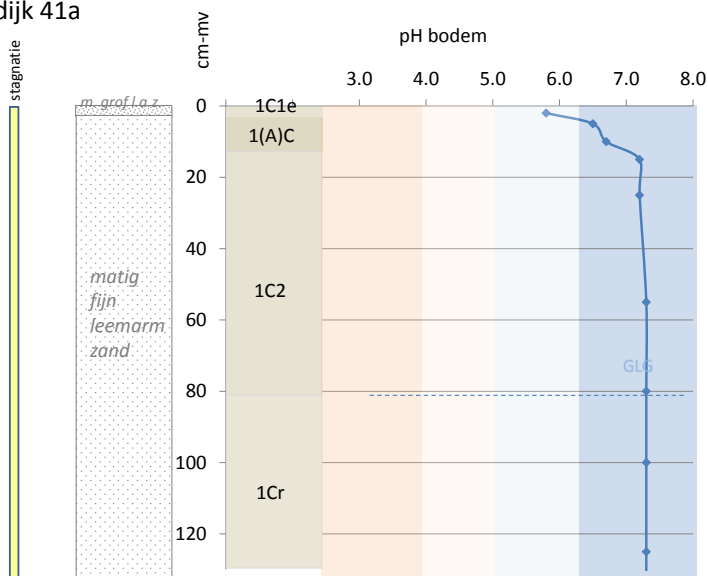
Van aanrijking van organische stof in de bovengrond is vrijwel nergens sprake. Dit houdt verband met de geringe ontwikkeling of het zelfs het ontbreken van de vegetatie. Daar waar vegetatie aanwezig is, is de doorworteling van de bovengrond en de aanvoer van strooisel nog te gering om voor een zichtbare humusaanrijking van de eerste centimeters te zorgen. Alleen bij PQ 41a is sprake van een uiterst lichte aanrijking van humus in een voormalig vloedmerk, die met een dunne laag overspoeld/overstoven zand is bedekt. In deze zandige, strandachtige milieus is dergelijke humusaanrijking door een vloedmerk, hoe gering ook, een startpunt voor de vegetatieontwikkeling. Het levert net een iets beter vochthoudend vermogen en iets hoger nutriëntengehalte dan in het omliggend zand (vergelijk 41a met 41b in figuur 4.20).

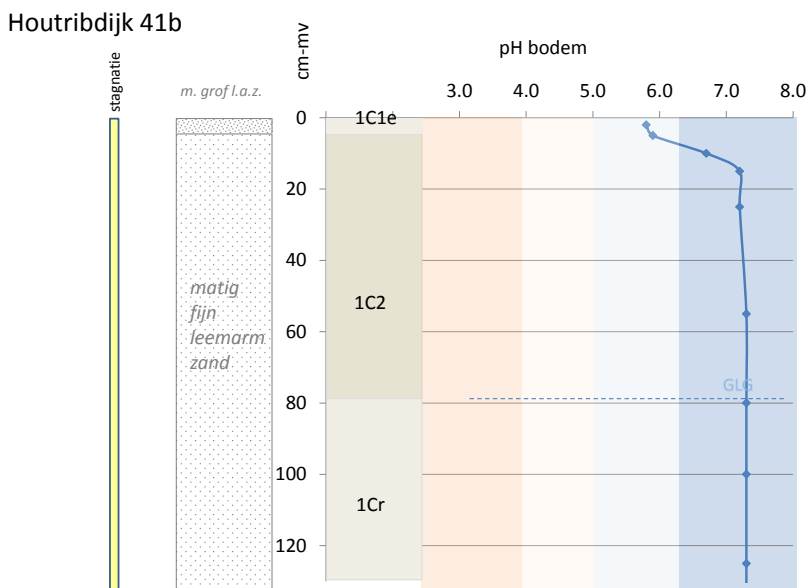
¹ De pH-waarden geschat met indicatorstrookjes (Merck) liggen beduidend lager dan de pH-H₂O metingen en zijn vergelijkbaar (iets hoger) dan pH-KCl. Wat betreft bepaling per diepte werken de strookjes nauwkeuriger dan mengmonster van 0-5 cm; pH 2 cm is ook de pH op 2 cm diepte.

Houtribdijk 54



Houtribdijk 41a





Figuur 4.7 Bodem- en pH profielen. Nummers refereren aan de PQ's. Boorpunt 54 in holoceen materiaal en 41 in zand (41a betreft een vloedmerk, niet aanwezig in 41b).

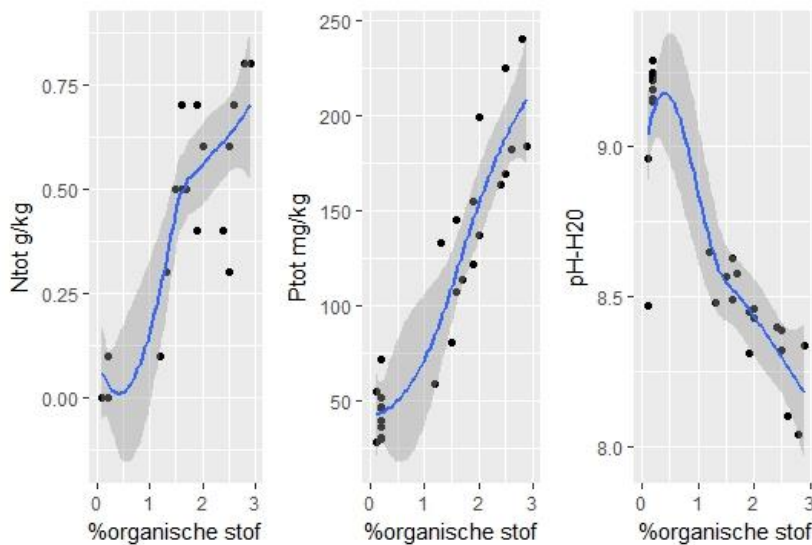
4.4.3 Analyse bodemchemie 2017

Werkwijze

In oktober 2017 zijn opnieuw bodemmonsters verzameld uit de toplaag (0-5 cm) van de PQ's in raai 3 met vegetatie (PQ's 44-57 excl. 49). Evenals in 2015 zijn N-totaal, P-totaal, organisch-stofgehalte en pH bepaald, maar vochtgehalte en korrelgrootte niet. Aanvullend zijn gehalten aan Ca en Mg (beide cmol/kg) en is de CEC (cation exchange capacity, gebufferd) bepaald om beter zicht te krijgen op verschillen in basenstatus. Ter vergelijking zijn ook twee bodemmonsters (0-5 cm) geanalyseerd van de grazige vooroever van het Gooimeer bij de Stichtse Brug (brede en vlakke recreatieweide), in een rijke groeiplaats van de kalkminnende plantensoort *Parnassia* (zie Bakker, 2016).

Resultaten

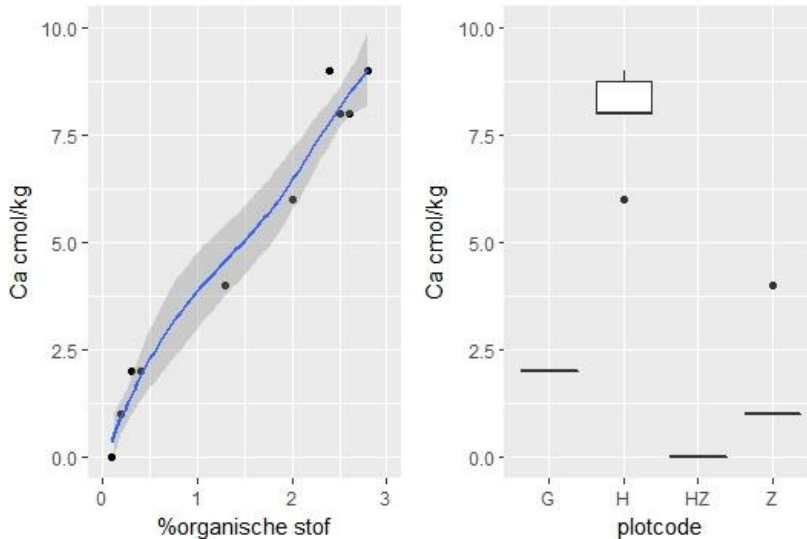
De gehalten N-totaal, P-totaal en organische stof alsook de pH verschillen in 2017 niet significant van de waarden in dezelfde PQ's in raai 3 in 2015 (R ANOVA). De sterke correlaties van N-totaal, P-totaal en pH met organisch-stofgehalte zijn ook vergelijkbaar (figuur 4.21). Wel is er binnen de PQ's van raai 3 een duidelijke scheiding opgetreden tussen plots praktisch zonder organisch materiaal in de toplaag en PQ's met meer dan 1% organische stof, dus tussen "zand" incl. sterk overstoven plots (zoals de "holocene" PQ's 56 en 57) en "holoceen".



Figuur 4.8 Scatterplots met trendlijnen voor N-totaal, P-totaal en pH tegen organisch-stofgehalte voor alle PQ's met vegetatie (in raai 3) op grond van metingen in oktober 2017.

De nadere analyse van de basenstatus van de toplaag laat zien dat hoewel pH negatief is gecorreleerd met organisch-stofgehalte (figuur 4.21), het Ca-gehalte positief is gecorreleerd met organisch-stofgehalte (figuur 4.22). Organisch stofgehalte zal voor de holocene deelvakken gecorreleerd zijn met kleigehalte. De correlatie van Ca met organisch stof kan het gevolg zijn van kleine schelpfragmentjes die nauwelijks bijdragen aan beschikbaar Ca maar wel uit de Ca-analyse komen.

De vegetatie van de plots op de zandige vooroever van het Gooimeer (plotcode G in figuur 4.22) heeft veel kalkminnende plantensoorten gemeen met vochtige, kalkrijke duinvalleien. Deze plots hebben een duidelijk hoger Ca-gehalte dan de zandige plots van de pilot Houtribdijk (plotcode Z en HZ). In tegenstelling tot de holocene plots met nog veel hogere Ca-gehalten langs de Houtribdijk hebben de plots langs het Gooimeer gehalten N-totaal en P-totaal die overeenkomen met de zandige plots (N-totaal: 0.1 g/kg; P-totaal: 60-78 mg/kg). De aan vochtige duinvalleien herinnerende soortenrijkdom langs het Gooimeer is kennelijk te danken aan een relatief hoge basenstatus van het opgebrachte zand (waarschijnlijk met schelpresten) in combinatie met lage gehalten N en P. Hierdoor zijn snelgroeiende, concurrentiekrachtige soorten afwezig.



Figuur 4.9 Het Ca-gehalte in een zandig voorland van het Gooimeer (G; 2 plots) en in raai 3 van de pilot Houtribdijk voor "zand" (Z; 5 plots), "holoceen" (H; 6 plots) en sterk overstoven holoceen (HZ; 2 plots), op grond van metingen in oktober 2017. Links: scatterplot met trendlijn van Ca-gehalte tegen organisch-stofgehalte. Rechts: boxplots voor Ca-gehalte voor dezelfde plots, uitgesplitst naar onderzoeklocatie.

4.4.4 Conclusies bodemchemie droge talud

- De bodemchemie blijkt binnen de verzameling van gemeten variabelen sterk te worden bepaald door verschillen in organisch-stofgehalte, die op hun beurt het gevolg zijn van al dan niet opgebracht holocene materiaal met een relatief hoog gehalte organische stof en klei. Zowel N-totaal, P-totaal en vochtgehalte zijn direct of indirect (via kleideeltjes) positief gecorreleerd met organisch-stofgehalte (boven 0.5%). De zuurgraad is hiermee negatief gecorreleerd.
- Verschillen in bodemchemie (beoordeeld aan % organische stof) tussen de deelvakken zand en holocene worden in 2015 vooral gevonden in de hoogst gelegen raai 3. De holocene vakken in de raaien 1 en 2 zijn in 2015 kennelijk al zo geërodeerd dat ze in bodemchemie vergelijkbaar zijn geworden met de deelvakken zonder opgebracht holocene materiaal.

4.5 Ontwikkeling van de grondwaterstand

4.5.1 Analyse van de peilbuisgegevens

Werkwijze

In april 2015 zijn zes peilbuizen geplaatst, een rij van drie peilbuizen in vak 1 (zand) en een tweede rij van drie peilbuizen in vak 2 (zand met holocene klei)(figuur 4.23).



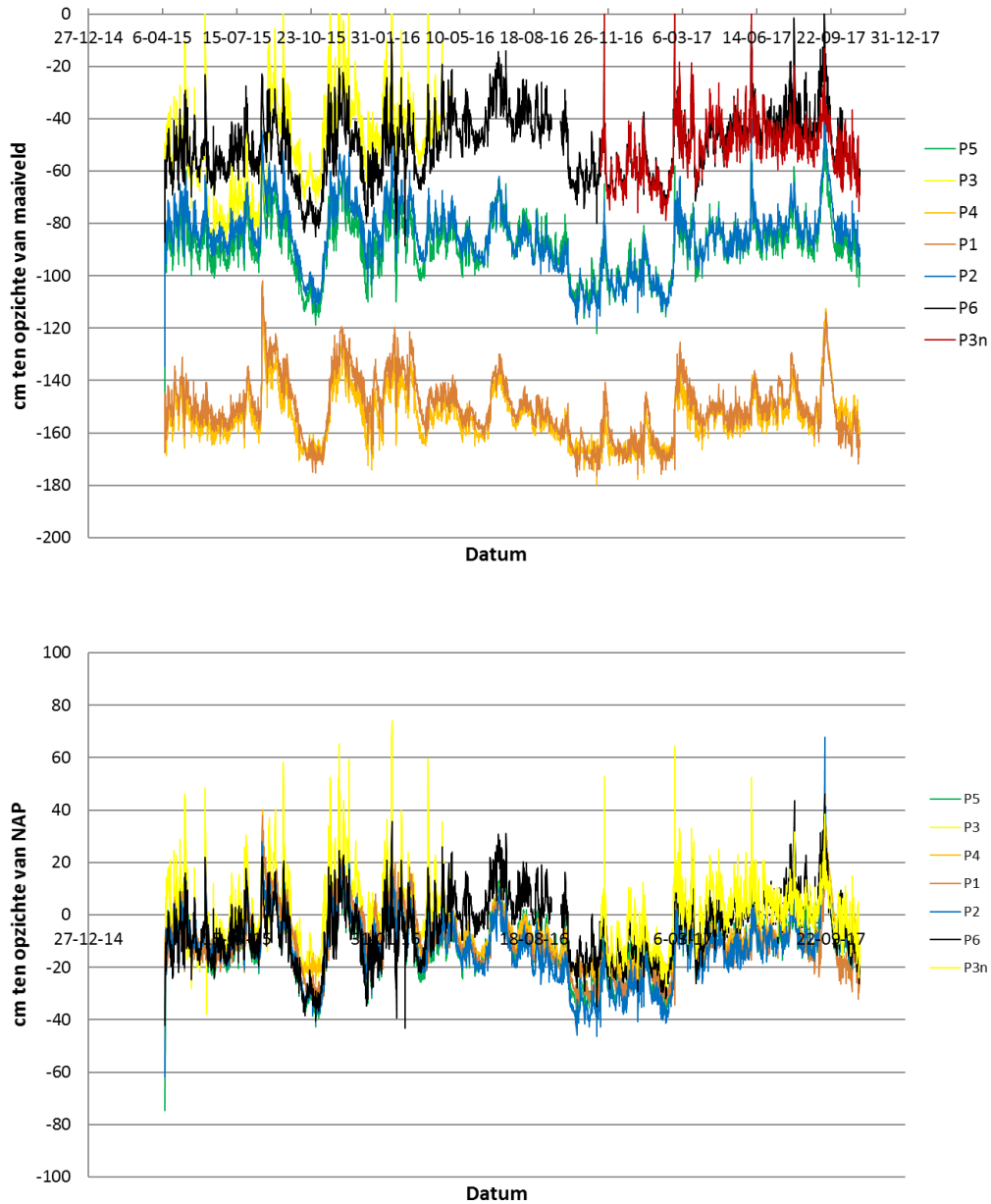
Figuur 4.10 Locaties van de peilbuizen ten opzichte van de PQ's voor vegetatie (zwarte stippen).

Resultaten

Het verloop van de grondwaterstanden is in figuur 4.24 weergegeven. Peilbuis 1 en 4 staan in het hogere deel en hebben de laagste grondwaterstanden. Peilbuis 2 en 5 staan in het midden, en peilbuis 3 en 6 staan op de zone tussen struweel en oeverlijn. Bij de vegetatieopname in september 2016 bleek peilbuis 3 inclusief datalogger verdwenen te zijn. Voor P3 zijn er geen waarnemingen na mei 2016. In figuur 4.24 is dit zichtbaar als een sprong in de waarden tussen de gegevens van deze peilbuis voor het verdwijnen (geel) en na opnieuw plaatsen (rood). In november 2016 is er een nieuwe peilbuis met datalogger geplaatst ter vervanging van de missende peilbuis 3 (P3n).

Over de gehele periode zijn er fluctuaties in grondwaterstand ten opzichte van NAP van dezelfde grootteorde als het verschil tussen winterpeil (NAP - 40 cm) en zomerpeil (NAP -20 cm). De patronen in grondwaterstand in de zes peilbuizen zijn grotendeels gelijk, met grotere variatie in de wintermaanden. De invloed van het zomerpeil/winterpeil op de grondwaterstand is gering en wordt waarschijnlijk gemaskeerd door fluctuaties van het meerpeil van dezelfde grootteorde als gevolg van meer of minder opstuwing en mogelijk ook door fluctuaties in neerslag. Trendmatige verandering in grondwaterstand doet zich niet opvallend voor.

De wortelzone van de kruidlaag in de middenraai (P2/P5) en zeker die in de hoge oeverzone (P1/P4) wordt niet direct beïnvloed door grondwater. De berekende grondwaterstanden zijn zeer vergelijkbaar in de vakken met en zonder opgebracht holocene materiaal: P1/P4, P2/P5 en P3/P6. De bovengrond heeft dus geen invloed op de grondwaterstand. Uiteraard is het opgebrachte materiaal wel van groot belang voor de vochthuishouding. Een bodem met meer organisch materiaal kan beter water vasthouden dan een bodem met alleen zand.



Figuur 4.24 Grondwaterstanden van april 2015 t/m oktober 2017 ten opzichte van maaiveld (boven) en NAP (onder). Zie figuur 4.23 voor de ligging van de peilbuizen P1-P6.

4.5.2 Conclusies

- Over de waarnemingsperiode april 2015 tot oktober 2017 treden grondwaterfluctuaties op van 20-30 cm die waarschijnlijk samenhangen met fluctuaties in meerpeil door meer of minder opstuwning.
- Grondwaterinvloed in de wortelzone van de kruidlaag wordt bepaald door de hoogteligging van maaiveld ten opzichte van meerpeil waarbij voor het gegeven talud van de pilot (1:25 tot 1:30) het grootste deel van de vegetatie-ontwikkeling plaatsvindt in droge bodem d.w.z. niet direct wordt beïnvloed door grondwater in de wortelzone.
- Opgebrachte holoceen materiaal heeft geen invloed op de grondwaterstand maar vergroot wel het vochtvasthoudend vermogen in de wortelzone.

5 Vegetatie-ontwikkeling

De vegetatieontwikkeling is zowel middels satellietbeelden, als ook middels veldbezoeken gemonitord. Met de satellietbeelden is ook een analyse gemaakt van de oeverlijn ontwikkeling op de pilot. Deze morfologische ontwikkeling is in de paragraaf over de analyse van de satellietbeelden opgenomen, gezien de directe link met ook de andere analyses vanuit de satellietbeelden.

5.1 Zandafslag en vegetatie-ontwikkeling uit satellietbeelden

5.1.1 Gebruikte remote sensing-data

Om de erosie van de oeverlijn en de biomassa ontwikkeling van de proefvakken (met verschillende bodem en aanplant) te monitoren is gebruikt gemaakt van satellietbeelden uit het Nationaal Satelliet Dataportaal (satellietbeeld.nl). Mits het onbewolkt is, zijn deze beelden vrijwel maandelijks beschikbaar.

In de periode 2014-2016 is voor deze studie gebruik gemaakt satellietbeelden van de Spot satelliet. Deze heeft de beschikking over 4 spectrale banden in het blauw, groen, rood en nabij-infrarode (NIR) licht met een ruimtelijke resolutie van 6 m en één panchromatische band die zwartwit opnames maakt met een ruimtelijke resolutie van 1.5 m.

In 2017 is Spot vervangen door de RapidEye en TripleSat satellieten. Daarnaast zijn beelden van de Sentinel satelliet vrij beschikbaar gekomen. Triplesat heeft dezelfde spectrale banden als Spot, maar de resolutie is beter: 0.8 m voor de panchromatische band en 3.2 m voor de multispectrale banden. RapidEye heeft net als Spot een resolutie van 6 m en naast de spectrale banden in het blauw, groen, rood en NIR ook nog een spectrale band in het Red Edge bereik. De panchromatische band met hogere resolutie ontbreekt bij RapidEye. Sentinel-2 heeft veel meer spectrale banden, maar ook de voor vegetatie belangrijke reflectiebanden in het rode en nabij-infrarode licht met een lagere resolutie van 10 m. Voordeel is wel dat deze satelliet elke 5 dagen overkomt, dus veel meer beelden over de tijd oplevert. Voor de volledigheid is de veel gebruikte (maar niet in deze studie) en vrij beschikbare Landsat-8 satelliet ook opgenomen in dit overzicht (tabel 5.1).

De hoge resolutie panchromatische banden van Spot en TripleSat zijn gebruikt om zo gedetailleerd mogelijk de zandoppervlakte van de vooroever te bepalen. De omtrek van het zandlichaam wordt gedigitaliseerd en de oppervlakte berekend. Zo kon meerdere keren per jaar de zandafslag (of toename) worden bepaald van de vooroever.

Tabel 5.1 Kenmerken van de satellieten uit het Nationaal Satelliet Dataportaal en de twee vrij beschikbare satellietsystemen (Sentinel en Landsat)

Satelliet	Databron	Periode	Temporele resolutie	Spectrale banden	Ruimtelijke resolutie
Spot	Satelliet-dataportaal	2014-2016	Maandelijks	Panchromatisch	1.5 m
				Blue, Green, Red, NIR	6 m
RapidEye	Satelliet-dataportaal	2017	Twee-maandelijks	Blue, Green, Red, NIR, Red Edge	6 m
TripleSat	Satelliet-dataportaal	2017	Elk kwartaal	Panchromatisch	0.8 m
				Blue, Green, Red, NIR	3.2 m
Sentinel-2	Vrij beschikbaar	Vanaf Nov-2015	5 dagen	Blue, Green, Red, NIR	10 m
				Red Edge, SWIR, MIR	20 m
				Deep blue, Water vapour, Cirrus	60 m
Landsat-8	Vrij beschikbaar	Vanaf Mei-2013	16 dagen	Panchromatisch	15 m
				Blue, Green, Red, NIR, SWIR, MIR	30 m
				TIR-1, TIR-2	100 m

De spectrale banden in het rood en nabij-infrarode licht van Spot en RapidEye worden gebruikt om de Normalised Difference Vegetation Index (NDVI; 'groenindex') te berekenen. Deze index berust op het principe dat planten, of beter gezegd groene biomassa, grotendeels het rode zonlicht absorberen middels de fotosynthese en het merendeel van het nabij-infrarode licht reflecteren. Bij kale bodems (rotsen, zand, geploegd land) is dit verschil veel kleiner. Dit principe wordt gebruikt om vegetatie-indicatoren te berekenen. De NDVI is het verschil in reflectie van het nabij-infrarode en rode licht, genormaliseerd naar de som van beide reflecties:

$$NDVI = (NIR - Rood) / (NIR + Rood)$$

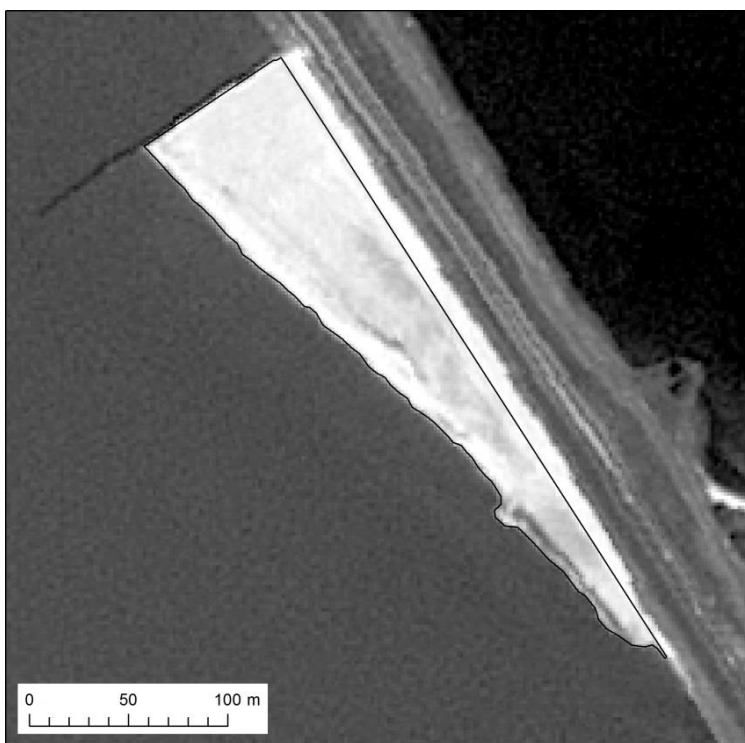
De NDVI is een indicator van de hoeveelheid groene biomassa met een waarde tussen de 0 en 1. Veranderingen in NDVI waardes kunnen "vertaald" worden naar gewas- of vegetatie-ontwikkeling over de seizoenen en jaren. Voor de pilot Houtribdijk betekent dit dat de biomassa ontwikkeling van de verschillende aanplantingen in de verschillende proefvakken kwantitatief is gevolgd.

5.1.2 Veranderingen in zandoppervlak door erosie

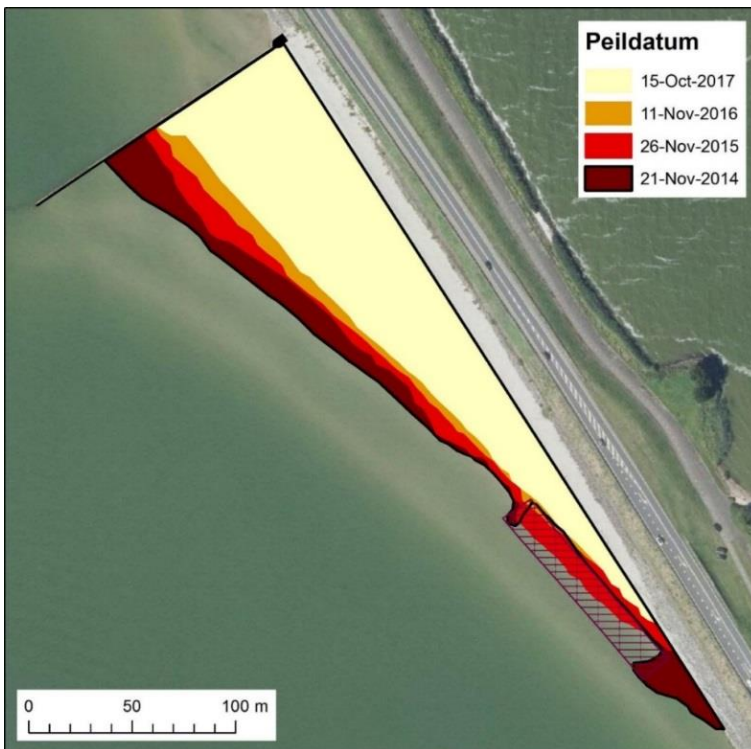
Figuur 5.5.1 is een voorbeeld van een panchromatische satellietbeeld en de gedigitaliseerde omtrek van het zandlichaam. De boven- en rechterkant van het zandlichaam zijn vast begrensd middels de aangelegde damwand en de oude grens tussen water en Houtribdijk, zodat variaties in zand op het oude dijklichaam niet worden meegenomen.

De dynamiek van de zandafslag en toename is gevisualiseerd door verschillende gedigitaliseerde polygonen een kleur geven en over elkaar heen te projecteren. Dit is gedaan in figuur 5.2 voor de oppervlaktes in de maand november van de jaren 2014 t/m 2017. De oorspronkelijke omtrek van de vooroever op 21 november 2014 is als zwarte polygoon eroverheen geprojecteerd. Duidelijk is dat er overal zandafslag plaatvond in de loop van deze 3 jaren. In eerste instantie heeft de aanleg van de wilgenmatten nog een remmend effect op de zandafslag gehad. Echter in november 2016 is vrijwel de gehele zuidelijke punt van het zandlichaam afgeslagen. In 2017 is dit proces in de zuidelijke punt van het zandlichaam tot stilstand gekomen. Op het grote noordelijke zandlichaam heeft de zandafslag zich echter voortgezet. Het oppervlak in november 2017 was nog 68% van het totale aangelegde oppervlak in november 2014.

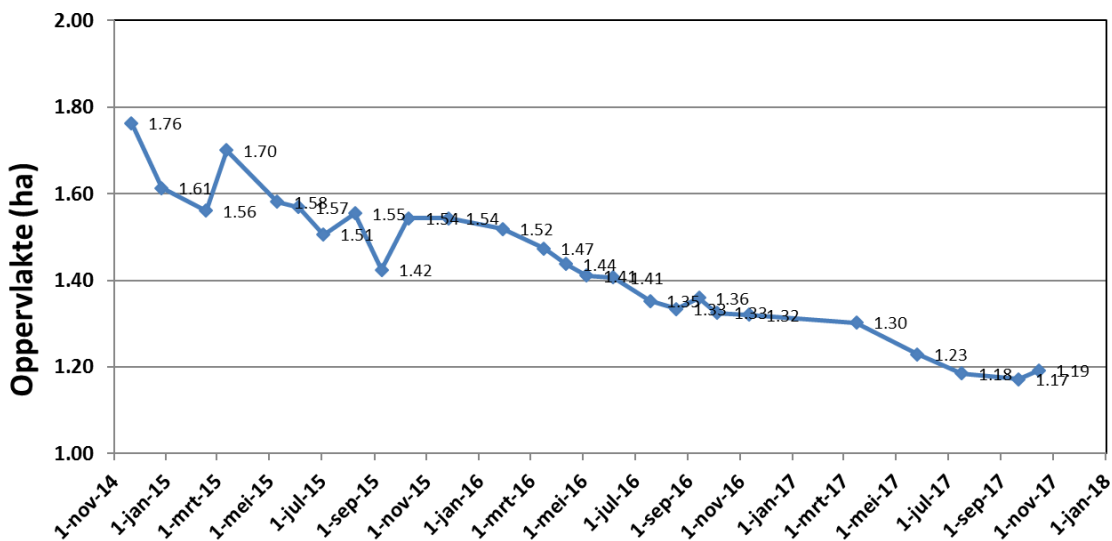
De gemeten oppervlaktes van het zandlichaam, bepaald uit de maandelijkse satellietopnames zijn uitgezet tegen de tijd in figuur 5.3. Na een eerste, grillig verlopen jaar van zandafslag en soms ook zandtoename (mogelijk als gevolg van veranderingen in waterpeil) is vanaf najaar 2015 de zandafslag meer geleidelijk gegaan en lijkt deze af te vlakken naar een waarde van rond de 1.2 ha in het najaar van 2017.



Figuur 5.1 Het satellietbeeld van 4 juni 2015 met de gedigitaliseerde omtrek van de vooroever als zwarte polygoon eroverheen geprojecteerd.



Figuur 5.2 De zandafslag en toename van de zandige vooroever aan de pilot Houtribdijk in het najaar van de jaren 2014-2017. De zwarte polygoon geeft de oorspronkelijke vorm weer van de vooroever, zoals aanwezig op 21 november 2014. De rijsmatten zijn gearceerd weergegeven.



Figuur 5.3 De oppervlakte van de vooroever aan de Houtribdijk vanaf het moment van oplevering in november 2014 tot eind 2017. Fluctuaties in deze grafiek zijn waarschijnlijk te koppelen aan waterpeilfluctuaties.

5.1.3 Ontwikkeling van de biomassa (groenindex)

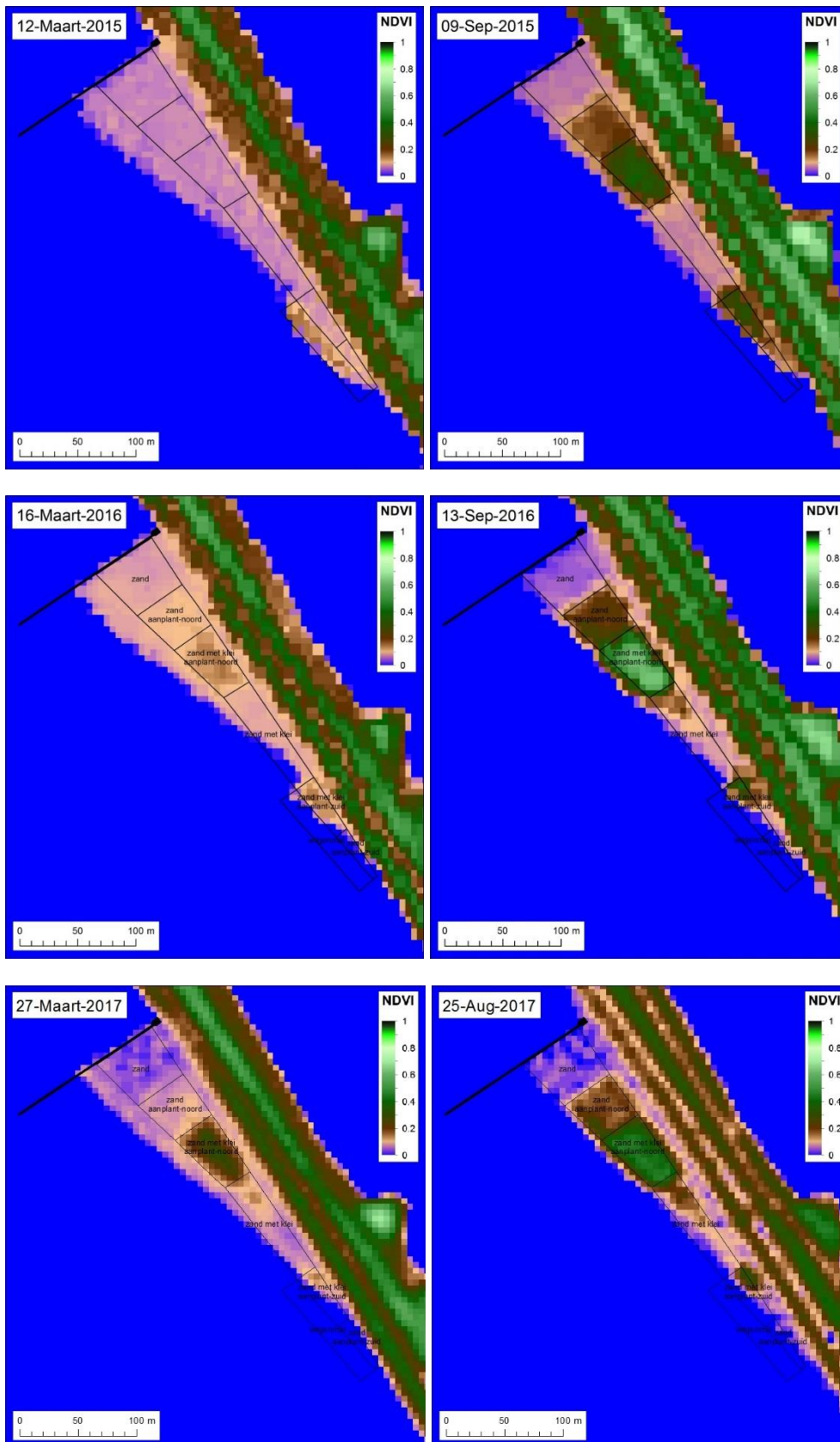
De biomassa ontwikkeling van de proefvakken op de vooroever is gevolgd vanaf november 2014. Daarnaast is de biomassa ontwikkeling van loofbomen op de Houtribdijk gebruikt als een referentie.

De resolutie waarmee de satellietbeelden beschikbaar komen is geresampled naar 5 m (van oorspronkelijk 6 m resolutie van Spot en RapidEye en de 10 m resolutie van Sentinel-2). Om mixeffecten aan de randen van de proefvakken te voorkomen zijn de proefvakken met 5 m gekrompen. Figuur 5. geeft de kaarten van de groenindex (NDVI) weer aan het eind van de winterperiode (lage biomassa) en aan het eind van de zomer (maximale biomassa) voor de jaren 2015, 2016 en 2017. In maart 2015 is er nog geen onderscheid te zien tussen de verschillende proefvakken. Alleen de rijsmatten hebben een iets hogere waarde, doordat ze een andere kleur hebben dan zand. Op 9 september 2015 zijn de verschillende vegetatie-aanplantingen tussen de proefvakken duidelijk waarneembaar. En ook het verschil in grondsoort wordt weerspiegeld door de biomassa ontwikkeling: waar de bodem alleen bestaat uit zand groeit de vegetatie niet zo goed als in vakken waar de bodem bestaat uit een mengsel van zand en klei.

Een jaar later (maart 2016) zijn de verschillen in de proefvakken minder geworden, maar nog steeds waarneembaar. In de zuidelijke punt is de afslag zover gevorderd dat gedeeltes van de zuidelijke proefvakken verdwijnen onder water. In september is dat proces nog verder gevorderd. De noordelijke aanplant op zand met kleibijmenging (vak 2) is op dat moment een stuk groener dan in dezelfde periode een jaar eerder. Aan de noordkant is de aanplant dus goed tot ontwikkeling gekomen. Dit is ook het geval voor de niet afgeslagen zuidelijke stukken zand/klei met aanplant (vak 3).

De noordelijke aanplant op zand (vak 1) laat een veel mindere biomassa ontwikkeling zien, ongeveer gelijk aan het jaar ervoor. Blijkbaar is de grond te weinig vruchtbaar voor een goede vegetatie ontwikkeling, of biedt de grond te weinig houvast voor de aanplant. Op de vakken zonder aanplant is de eerste spontane vegetatiegroei waarneembaar op zand met kleibijmenging (vak 3 en 4). De zandige vakken zonder aanplant laten vrijwel geen vegetatieontwikkeling zien.

Het jaar 2017 laat een vergelijkbaar beeld zien als 2016. De noordelijke aanplant op zand met klei (vak 2) doet het goed, en heeft zich inmiddels ook in de winter permanent gevestigd. De noordelijke aanplant op puur zand (vak 1) doet het slechter, de biomassa lijkt zelfs minder dan in 2016. Het restant van de zuidelijke aanplant op zand met klei (vak 3) weet zich in 2017 te handhaven. Er is een duidelijk waarneembaar verschil te zien tussen 2016 en 2017 voor het proefvlak zand met klei zonder aanplant (vak 3 en 4): op deze ondergrond begint zich nu duidelijk vegetatie te vestigen. Dit in tegenstelling tot de stukken met puur zand zonder aanplant (vak 1), waarop ook in 2017 nog steeds geen spontane vegetatie-ontwikkeling te zien is.



Figuur 5.4 De groenindex op het einde van de winter en zomer in de jaren 2015, 2106 en 2017.

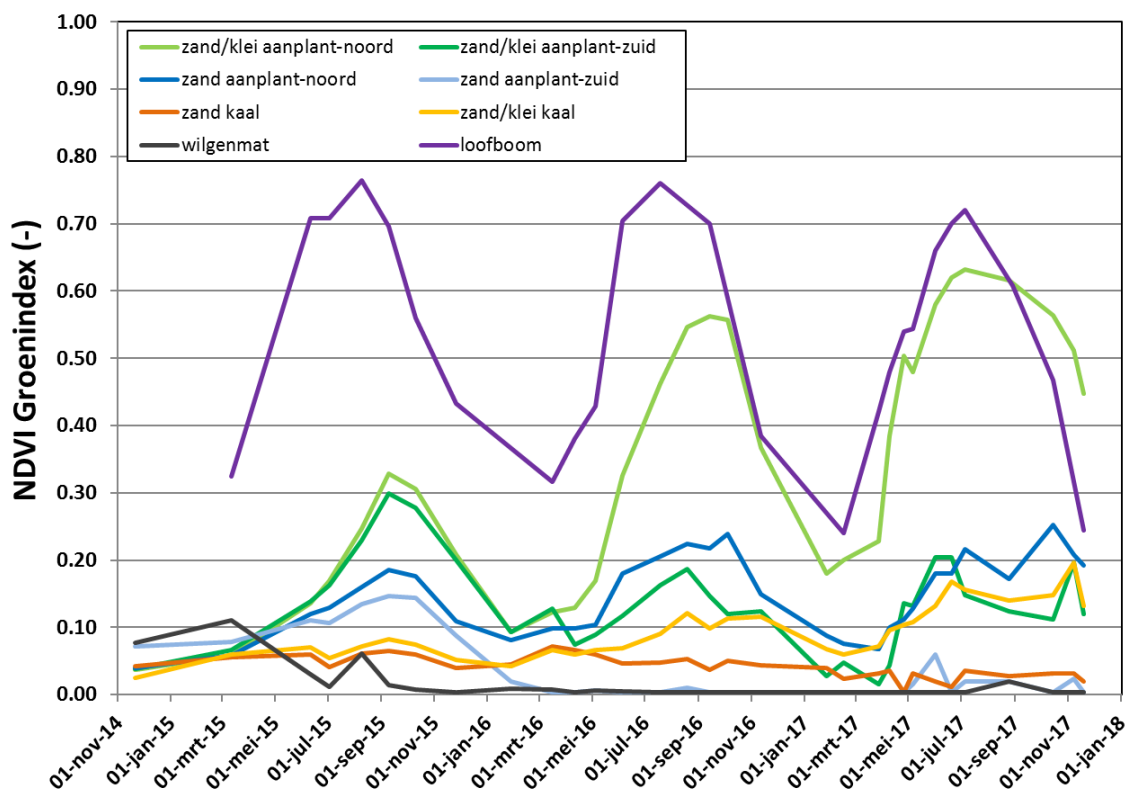
In Figuur 5.5 worden de NDVI waarden per proefvak weergegeven voor alle dagen met satellietopnames; de loofboomcurve is toegevoegd ter referentie. Duidelijk is weer het verschil tussen aanplant op zand versus aanplant op zand/klei. Maar ook kleinere verschillen tussen de proefvakken worden nu goed waarneembaar, zoals het verschil tussen de noordelijke aanplant en de zuidelijke aanplant in 2015. De noordelijke aanplant heeft in 2015 net iets hogere waarden dan de zuidelijke aanplant, zowel op zand als op zand/klei.

In de winter van 2015/2016 is een tweetal vakken verzwolgen door het water, terwijl de andere zuidelijk vakken gedeeltelijk afgeslagen zijn. Hierdoor kan het dat de aanplant op zand met klei in het zuiden een gemiddeld lage waarde heeft; het is de optelsom van een stuk groene aanplant en een stuk water met nul-waarden. De noordelijke aanplant op zand met klei bereikt veel hogere waarden in 2016 dan in 2015; ook komt de vegetatie veel eerder op in 2016. Dit is het gevolg van de relatief late aanplant in het voorjaar van 2015.

In 2017 is deze aanplant weer groener geworden dan het jaar ervoor. Zowel de maximale waarde als de lengte van het groeiseizoen zijn groter geworden. Dit, terwijl de noordelijke aanplant op alleen zand in 2017 ongeveer hetzelfde patroon laat zien als in 2016; relatief weinig vegetatie is in staat om op zand een permanente habitat te vinden.

Op het proefvlak van kaal zand zonder aanplant is nog steeds geen vegetatie-ontwikkeling te zien. Echter, op het proefvlak van zand met kleibijmenging zonder aanplant is de vegetatie wel toegenomen in 2017 ten opzichte van 2016. Dit duidt erop dat de kleibijmenging essentieel is voor een goede vegetatieontwikkeling op de vooroever.

Als laatste is nog even gekeken naar het signaal van loofbomen ter referentie. In de zomer is dit een gesloten gewas met meerdere bladlagen en NDVI waarden tussen 0.7 en 0.8. Dit houdt in dat de aangeplante vegetatie in 2015 nog geen gesloten gewas vormt. De maximale NDVI waarde in 2016 van de aanplant is bijna 0.6; dit is ongeveer de NDVI waarde waarbij we kunnen spreken van een gesloten vegetatie.



Figuur 5.5 De groenindex per proefvak over de tijd. Aanduidingen van de vakken (vergelijk tabel 4.2.1): zand kaal=deelvak 1; zand aanplant-noord=deelvak 2; zand/klei aanplant-noord=deelvak 3; zand/klei kaal =deelvak 4+5; zand/klei aanplant-zuid=deelvak 6; zand aanplant-zuid=deelvak 7. Loofboom: kronen van loofbomen op Houtribdijk als referentie.

5.1.4 Conclusies satelliet-analyses

- Hoge resolutie satellietbeelden, zoals afkomstig uit het Nationaal Satelliet Dataportaal (www.satellietbeeld.nl), bieden goede mogelijkheden tot het in detail monitoren van de dynamiek van een zandlichaam zoals de vooroever Houtribdijk en de ontwikkeling van de biomassa erop.
- Vanaf november 2014 zijn er tientallen beelden beschikbaar gekomen en geanalyseerd tot eind 2017. Deze beelden laten een in het begin grillige, maar later geleidelijke afname van het zandoppervlak zien tot november 2017 (68% van de oorspronkelijke omvang). De zandafslag lijkt af te vlakken in 2017.
- De biomassa ontwikkeling binnen de vakken met een zand/klei mengsel verloopt veel sneller dan in de vakken met alleen zand als grondsoort. Gedurende 2016 en 2017 is de vegetatie ontwikkeling binnen de vakken met aanplant op zand met klei goed tot wasdom gekomen, terwijl op zandgrond de aanplant niet echt is aangeslagen. Op de overige zandbodems ontstaat ook geen spontane vegetatie, dit in tegenstelling tot de zand/klei bodems waar zich wel spontaan vegetatie vestigt. Dit duidt erop dat de kleibijmenging essentieel is voor een snelle vegetatieontwikkeling op de vooroever.

5.2 Vegetatie-ontwikkeling uit veldgegevens

5.2.1 Opzet proef en inwinning veldgegevens

Om de ontwikkelingen van de vegetatie in detail te volgen zijn, zoals eerder aangegeven in hoofdstuk 2, 58 proefvlakken vastgelegd (permanente kwadraten, oftewel PQ's). In alle PQ's is de bedekking van alle aanwezige plantensoorten bepaald volgens de Braun-Blanquet-methode, waarbij de schaal van Barkman, Doing en Segal is gehanteerd (zie tabel 5.2). Dit gebeurde zowel in het voorjaar (mei) als aan het eind van het groeiseizoen (september). Veldwerk werd in 2015 en 2016 uitgevoerd door Rik Huiskes en in 2017 door John Janssen, Rienk-Jan Bijlsma en Franziska Hauch. De data waarop de vegetatie is opgenomen waren:

2015: 8 mei, 9 en 11 september
 2016: 12 mei, 23 en 30 september
 2017: 2 mei en 5 september

De vegetatiegegevens zijn opgeslagen in de database Turboveg (Hennekens & Schaminée 2001). Van daaruit zijn ze uitgevoerd naar EXCEL (tabellen) en CANOCO. In dit laatste programma zijn PCA-analyses uitgevoerd (Ter Braak & Šmilauer 2012). Gekeken is naar de vegetatieontwikkeling op verschillend substraat (zand versus holoceen), bij al dan niet aanplant van struweel, en de ontwikkeling van rietvegetatie in de exclusures.

Tabel 5.2 Gehanteerde opnamenschaal voor vegetatieopnamen in PQ's.

Code	Betekenis
5	Bedekking > 75%
4	Bedekking 50-75%
3	Bedekking 25-50%
2b	Bedekking 12,5-25%
2a	Bedekking 5-12,5%
2m	Bedekking < 5%, zeer veel exemplaren
1	Bedekking < 5%, veel exemplaren
+	Bedekking < 5%, weinig exemplaren
r	Bedekking < 5%, zeer weinig exemplaren
()	Net buiten proefvlak voorkomend

5.2.2 Erosie en watervegetatie

Het proefproject ondervond al vanaf het eerste jaar een sterke erosie, zodat de voorste raai van PQ's al snel erodeerde en onder water kwam te staan. De tweede raai lag in het voorjaar van 2017 aan de rand van de erosieklif, die dwars door PQ's 34, 35, 36, 37 en 38 heen liep. De verder zuidwaarts gelegen PQ's 28 t/m 33 waren al verdwenen (kaal of in het water gelegen). In het najaar was een deel van deze plots helemaal geërodeerd en kaal. Het nog meer zuidelijk gelegen deel van de derde raai (dichtst langs de dijk; PQ's 22 t/m 27) was in 2017 eveneens geheel verdwenen of in het water gelegen (figuur 5.6). PQ 57 was toen vrijwel helemaal kaal door erosie en overstuiving. PQ's 55 en 56 liggen op holoceen materiaal, maar waren door hun ligging aan de rand van de klif en de daarbij optredende overstuiving erg zandig.

Watervegetatie is slechts zeer sporadisch waargenomen, waarbij het alleen ging om los drijvende planten, die waarschijnlijk afkomstig waren van elders.



Figuur 5.6 PQ-nummer 24 in 2017.

5.2.3 Rietontwikkeling

Riet was aangeplant zoals beschreven in hoofdstuk 2 langs de toenmalige oeverlijn op de aan te planten delen. De sterke golfwerking heeft veel jonge rietaanplant weggeërodeerd. Daarnaast was ganzenvraat een aanvullende druk op het zich ontwikkelende riet. Met name de gegevens van de exclusies van PQ35 en PQ53 (figuur 4.6.2) zijn relevant om de effecten van graas op rietontwikkeling te beoordelen. De exclusie van PQ50 ligt in het struweel, waar geen begrazing plaatsvindt door ganzen, de exclusie van PQ 32 is in 2017 weg geërodeerd.



Figuur 5.7 PQ-nummer 53 gelegen in een exclusie in 2015 (links) en 2017 (rechts). Op de foto's is goed te zien dat de exclusie begrazing door ganzen tegen gaat, waardoor rietgroei kan plaatsvinden. Op de omringende delen, waar ook Riet is aangeplant, is het Riet in 2015 lager (deels afgegeten) en in 2017 door begrazing grotendeels verdwenen.

In tabel 5.3 zijn de vegetatiegegevens van PQ35 en PQ53 weergegeven, alsmede twee opnames die in 2015 en 2016 net buiten de exclusie zijn gemaakt. Met name uit deze laatste blijkt dat de rietontwikkeling in de exclusie veel beter gaat dan daarbuiten. In PQ35 trad minder ontwikkeling van Riet (en Rietgras) op, doordat de PQ sterk overzand raakte en in 2017 deels erodeerde.

Exclusies helpen om begrazing door ganzen tegen te gaan en daarmee rietontwikkeling op gang te krijgen. Mogelijk kunnen bij een bepaalde omvang van de rietvegetatie de exclusies op den duur verwijderd worden. Om hierover conclusies te trekken is de proef echter van te korte duur, en te kleinschalig. Bovendien zijn de omstandigheden in het gebied waarschijnlijk niet optimaal om rietontwikkeling op gang te krijgen: de oever loopt te steil af, is te zandig en is te veel geëxponereerd (vergelijk Coops et al. 1994).

Tabel 5.1 Vegetatieopnames in twee exclosures (PQ35 en PQ53) in september 2015, 2016 en 2017 en net daarbuiten in september 2015 en 2016 (PQ 53a).

PQ-nummer	35	35	35	53	53	53	53a	53a
Jaar	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016
Maand	sep	sep	sep	sep	sep	sep	sep	sep
Bodem	zand	zand	zand	holo	holo	holo	holo	holo
Aanplant	riet	riet	riet	riet	riet	riet	riet	riet
Exclosure	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nee	nee
Bedekking totaal (%)	0	30	5	0	0	90	0	1
Bedekking kruidlaag (%)	0	30	5	0	0	70	0	1
Bedekking moslaag (%)	0	0	0	0	0	60	0	0
Aantal soorten	5	2	4	6	7	15	2	3
KRUIDEN								
Phragmites australis	2b	2b	2a	1	3	4		
Phalaris arundinacea		+	+					
Senecio inaequidens				r	1	2a		
Senecio vulgaris				1			+	r
Conyza canadensis					+	+		
Poa pratensis					2a			
Rumex maritimus	+				1			
Poa annua						+		+
Poa trivialis				2m				
Epilobium tetragonum						1		
Matricaria maritima						1		
Polypogon viridis						1		
Sonchus asper				+			r	
Sonchus oleraceus					1			
Cirsium arvense			+					
Epilobium hirsutum	r					r		
Matricaria chamomilla (= recutita)					+			
Sonchus arvensis v. arvensis						+		
Chenopodium rubrum	r							
Hippophae rhamnoides (juv)			r					
Lolium perenne	r							
Sedum acre								r
Typha latifolia				r				
MOSSEN								
Bryum barnesii						3		
Barbula convoluta						2a		
Barbula unguiculata						+		
Bryum argenteum						+		
Ceratodon purpureus						+		
Funaria hygrometrica						+		

5.2.4 Vegetatieontwikkeling in relatie tot inrichting

In tabel 5.4 zijn de PQ's weergegeven uit raai 3 waarvoor de ontwikkeling op zandige en holocene bodem wordt vergeleken. Dit betreft deels PQ's die niet zijn ingeplant (lichtgele en donkergele PQ-nummers) en een deel PQ's die zijn ingeplant met struweel (oranje en bruine PQ-nummers).

De struiklaag is in 2017 iets dichter ontwikkeld in de PQ's op holoceen materiaal (bruin), dan in de PQ's op zand (oranje). Waar geen struiken zijn aangeplant (lichtgeel, donkergeel) is nog helemaal geen vestiging van struweelsoorten opgetreden. De ontwikkeling van de kruidlaag en moslaag vertoont echter veel grotere verschillen: zowel bij de niet-ingeplante delen als in de met struiken ingeplante delen is de bodem na twee jaar dichter begroeid in de situatie met holoceen materiaal. Dit effect is overigens groter bij de niet-aangeplante delen. Met name de moslaag ontwikkelt zich veel sneller op het holocene materiaal, wat zorgt voor een betere vastlegging van het zand en betere bestendigheid tegen erosie.

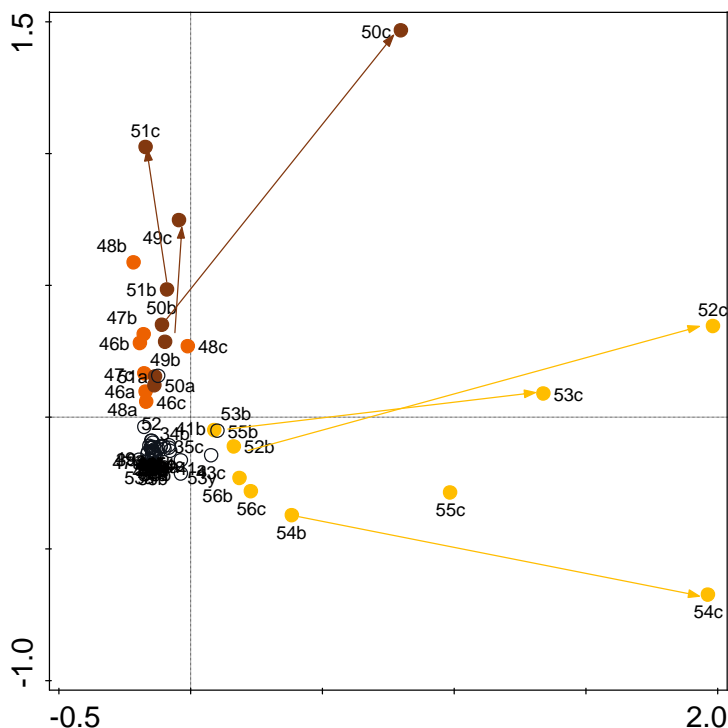
Van de aangeplante struiken is het met name Duindoorn (*Hippophae rhamnoides*) die zich sterk ontwikkeld, en ook – via vegetatieve uitbreiding – buiten het aangeplante vak weet te komen. Merkwaardig is de aanplant van Grijsze wilg (*Salix elaeagnos*), een niet-inheemse soort, en Geoorde wilg (*Salix aurita*), want lijkt geen heel geschikte soort voor dit milieu.

Tabel 5.2 Vegetatieopnames september 2017 in PQ's die niet zijn ingeplant, op zand (lichtgeel) en holoceen (donkergeel), en in PQ's die wel zijn ingeplant, op zand (oranje) en holoceen (bruin). De PQ's 55 en 56 zijn sterk overzand (bodem = ho²).

Opnamenummer	43	44	45	55	56	52	53	54	46	47	48	49	50	51
Jaar	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Maand	sep	sep	sep	sep	sep	sep	sep	sep	sep	sep	sep	sep	sep	sep
Pqnr	43	44	45	55	56	52	53	54	46	47	48	49	50	51
Bodem	Z	Z	Z	ho ²	ho ²	ho	ho	ho	Z	Z	Z	ho	ho	ho
Aanplant	-	-	-	-	-	-	-	-	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Exclosure	-	-	-	-	-	-	ja	-	-	-	-	-	-	-
Bedekking totaal (%)	5	1	1	30	10	50	90	70	5	10	80	80	90	80
Bedekking struiklaag (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	80	80	90	80
Bedekking kruidlaag (%)	5	1	1	30	10	40	70	30	0	0	1	1	1	1
Bedekking moslaag (%)	0	0	0	2	0	20	60	40	0	0	1	1	70	80
Raai	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Aantal soorten	3	2	2	14	9	17	15	22	3	5	8	9	17	8
STRUIKEN														
Hippophae rhamnoides									()	1	5	3	5	3
Salix aurita									+	+	1	2a	2a	2b
Salix alba									+	+	+	2a	+	2a
Salix eleagnos									1	1	+	+	+	+
Prunus spinosa										r	()	+		
Cornus sanguinea									()		()		+	()
Hippophae rhamnoides (juv)						r							+	+
Salix aurita (juv)														r
Frangula alnus (juv)														r
KRUIDEN *														
Senecio inaequidens	2a	+	+	1	+	2m	2a	+			+		r	
Matricaria maritima	+	r		2a	+	2b	1	2a			r			
Epilobium hirsutum				2a	+	1	r	+					1	
Poa annua	+			+	+	1	+	1						
Phragmites australis							4	1						
Epilobium tetragonum				r		2m	1	+						
Conyza canadensis						+	+	+					1	
Polypogon viridis				+		r	1	+						
Epilobium parviflorum				+		+		+						
Sedum acre					+	+		+						
Atriplex prostrata				+	r			+						
Rumex maritimus						+		+						
MOSSEN *														
Bryum barnesii				1		2a	3	3				+	2b	
Ceratodon purpureus						2a	+	+			+	1	+	
Barbula unguiculata				+		2a	+						2a	
Funaria hygrometrica							+	2m			+		2b	
Barbula convoluta							2a	+						
Aloina aloides				+				+						
Bryum argenteum							+						+	

* kruiden en mossen die slechts één keer in een PQ zijn aangetroffen zijn uit de tabel weggelaten

In figuur 5.8 is in feite hetzelfde patroon te zien als in tabel 5.4 (de PQ-groepen zijn in beide illustraties zo goed mogelijk in dezelfde kleur weergegeven). Vanuit de vrijwel onbegroeide plots (zwarte cluster linksonder) vindt de snelste ontwikkeling plaats in de onbegroeide PQ's op holoceen materiaal (donkergeel) en de ingeplante PQ's op holoceen materiaal (bruin). Dit komt overeen met de resultaten van het biomassa-onderzoek (paragraaf 5.1). De ingeplante PQ's op zand zijn in oranje aangegeven. Ook hier is te zien dat op de holocene bodem de aanplant van struweel (bruin) tot een minder snelle totale vegetatieontwikkeling leidt (kortere pijlen) dan zonder de aanplant van struweel (donkergeel).



Figuur 5.8 PCA-diagram gemaakt in CANOCO van vegetatieopnamen van dezelfde PQ's als in Tabel 5.4. De soortensamenstelling van de PQ's in verschillende jaren is onderling uitgezet in een tweedimensionaal plaatje (biplot). PQ's zijn weergegeven met hun nummer en een letter voor het jaartal (a=2015, b=2016, c=2017). PQ's waarvan de vegetatie het meest verschilt worden door de PCA ver uit elkaar geplaatst, opnamen waarvan de soortensamenstelling sterk op elkaar lijkt worden dicht bij elkaar geplaatst. De horizontale as verklaart de meeste variatie tussen opnamen, daarna volgt de verticale as. Aan de hand van (niet gepubliceerde) PCA-diagrammen van de locatie van het optimum van de plantensoorten is de horizontale as te interpreteren als een ontwikkeling van de moslaag en een toenemende soortenrijkdom, en de verticale as als de ontwikkeling van de struiklaag.

5.3 Conclusies en aanbevelingen met betrekking tot de vegetatieontwikkeling

5.3.1 Rietontwikkeling

Op de *oeverlijn* is het niet gelukt om de gewenste Rietzone te laten ontstaan. De belangrijkste oorzaak hiervan is de snelle erosie van de oever, ook op plekken waar rijsmatten zijn aangelegd. Op de meest geëxponeerde en daardoor erosiegevoelige delen zijn niet alleen het aangebrachte Riet, maar ook rijsmatten en houten staken weggeslagen. De pogingen tot rietontwikkeling zijn dan ook weinig succesvol gebleken, wat aansluit bij elders opgedane inzichten dat rietvegetatie niet bestand is tegen dagelijkse golven hoger dan grofweg 20 cm (Steenbergen, 2016). Rietontwikkeling maakt dan ook alleen kans in luwe deelgebieden of achter aangebrachte vooroeververdediging.

Ook iets hoger op het talud, op plekken waar geen erosie is opgetreden, weet het Riet zich niet te handhaven. Hier is begrazing de oorzaak, naar we mogen aannemen: door ganzen. Alleen in één enclosure, op het lagere deel van het talud, weet Riet een enigszins dichte vegetatie te vormen. Het effect van 'graas' (door ganzen) op de vitaliteit van de aangebrachte helofyten-bepanting is dus duidelijk negatief. Indien er een wens bestaat om rietontwikkeling op gang te krijgen, is het zinvol om dit vanuit een bij elkaar gelegen netwerk van enclosures te starten. Het valt overigens te betwijfelen of de omstandigheden geschikt zijn voor brede rietzones (inclusief waterriet). Waarschijnlijk is ook de onderwater-oever daarvoor te steil.

De beste kansen voor het duurzaam ontwikkelen van rietoevers bestaat daarom wel op locaties waar de oever niet te snel afloopt of op plekken waar een vooroeververdediging wordt aangebracht. Het realiseren van een rietkraag op de oeverlijn lijkt dan ook alleen succesvol bij een combinatie van relatief luwe oevers (bijvoorbeeld door vooroeververdediging, of mogelijk aan de IJsselmeerzijde van de Houtribdijk) en het tegengaan van begrazing door ganzen (door – al dan niet tijdelijke – enclosures).

5.3.2 Spontane vegetatieontwikkeling

In de niet-ingeplante, met holoceen materiaal gemengde vakken treedt een snelle vastlegging van de bovenste bodemlaag op, waarbij een vrijwel aaneengesloten spontaan ontwikkelde moslaag ontstaat; dit gebeurt zowel in de vakken zonder aanplant als onder het aangeplante struweel.

De ontwikkeling op de zandige delen is voornamelijk niet ver genoeg gegaan, om te kunnen beoordelen welke vegetatie hier op langere termijn ontstaat. Echter, de mogelijkheid van een schrale grasmatt is hier aanwezig, indien er op termijn (bij het ontstaan van voldoende biomassa) een maaibeheer of begrazingsbeheer (bijvoorbeeld met schapen) wordt ingevoerd. Om op een zandig talud op langere termijn een voor de flora en fauna waardevolle begroeiing te krijgen is het van belang dat er gemaaid wordt (met afvoeren van maaisel) of vrij intensief beweid wordt (bijvoorbeeld met schapen). Dit biedt op langere termijn mogelijk perspectief voor schrale graslanden die van betekenis zijn voor de insectenfauna. Ook kan zo bosvorming worden tegengegaan.

De vegetatie van het hele talud is erg schraal, doordat het proefgebied relatief steil is, en daardoor droog blijft, en de zandige bodem weinig voedsel biedt. Slechts weinig planten wortelen zo diep dat ze bij het oppervlaktewater komen. Het aanslaan van de vegetatie is waarschijnlijk mede te danken aan de in de initiatie-fase ingezette beregening.

Een vlakker talud biedt beter perspectief voor vegetatie-ontwikkeling, waarbij een enigszins golvend maaiveld ook nog kansen biedt voor meer variatie, inclusief het ontstaan van schrale, natte duinvallei-begroeiingen (zoals in het besproken voorbeeld van de Stichtse Brug). De kalkrijkdom van het zand is in ieder geval hoog genoeg.

De inmenging van holoceen materiaal in de zandige toplaag heeft een positief effect op de snelheid van de vegetatie-ontwikkeling, wat verklaard kan worden uit de hogere voedselrijkdom en het betere vochtvasthoudende vermogen van dit type bodem. Inmiddels ontstaat er een steeds dichtere vegetatie op de met klei gemengde bodem, ook op de initieel niet beplante delen van de proefsectie. Behalve voor een snelle vegetatie-ontwikkeling, is het ook zinvol om de toplaag van een zandige versterking door te mengen met wat holoceen materiaal om verstuiving van zand te voorkomen.

5.3.3 Aanplant struweel

Al met al heeft de aanplant van struiken gezorgd voor het ontstaan van een open struweel op de zandige bodem, en een gesloten, hoger struweel op de met klei doorgemengde, voedselrijkere bodem. Opmerkelijk is dat vooral Duindoorn (*Hippophae rhamnoides*), een soort die in dit deel van het land niet algemeen is, het vooral goed doet. Dit is waarschijnlijk te danken aan de – eerder genoemde – droge en relatief arme (zandige) maar kalkhoudende bodem. Alleen deze soort breidt zich vanuit de aanplant uit naar de aangrenzende vakken. Opmerkelijk is verder dat ook niet-autochtone planten in de aanplant zijn aangetroffen, waaronder *Salix eleagnos* en enkele 'vreemde' struiken, te weten een exoot (Grijze wilg (*Salix cinerea*)) en een soort die niet bij dit milieu past (Geoorde wilg (*Salix aurita*)). Mogelijk is er bij de kweker vermenging van de aan te planten soorten opgetreden. Het gebruik van autochtone soorten die op de huidige oevers van Markermeer en IJsselmeer algemeen zijn, wordt in dit soort situaties aangeraden.

De struweel-aanplant lijkt beperkt bij te dragen aan het vastleggen van zand in vergelijking met de maatregel van het doormengen met holocene klei; het ingeplante struweel op puur zandige bodem ontwikkelt zich namelijk nauwelijks, en de onderlaag blijft vrijwel kaal, terwijl op de kleiige bodems overal een moslaag ontstaat met een ijle kruidlaag van (vooral) ruigtesoorten; Vanuit het oogpunt van 'behoud van zichtlijnen' is ontwikkeling van struweel in feite ook ongewenst, met name als het doorschiet richting bos.

Al met al is de aanplant van struiken op dit type zandig talud alleen zinvol als dit vanuit een directe noodzaak tot stuifvermindering gewenst is.

5.3.4 Lange termijn ontwikkeling

Helaas was de duur van de monitoring van ecologische processen erg kort (na 4 jaar is slechts het beginstadium van ontwikkeling doorlopen), waardoor de vegetatieontwikkeling op langere termijn onzeker is.

Voor de daadwerkelijke aanleg van de zandige versterking langs de dijk is het zeer interessant om de vegetatie op het zandige substraat langer te volgen. Het is niet duidelijk wat voor begroeiing zal ontstaan op dit soort zandig substraat in deze zoete wateren, met name indien er beheerd (gemaaid of beweid) gaat worden om het ontstaan van hoog opgaand bos en struweel tegen te gaan. In theorie kan zich op de voedselarme, zandige bodem een schraal grasland ontwikkelen, dat de mogelijkheid biedt voor de vestiging van zeldzame plantensoorten. Ook kan dit in potentie bloemrijk zijn en dan een functie hebben door middel van waardplanten van rupsen en als voedselbron voor vlinders, bijen en andere insecten.

6 Referenties

- Bakker, H. d. & J. Schelling, 1989. *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus*. Wageningen, Pudoc.
- Bakker, P., 2016. *Natuurwaarde van het Voorland bij de Stichtse Brug*. <http://www.vriendenvanhetgooi.nl/media/pdf/20160318%20Natuurwaarde%20van%20het%20Voorland%20bij%20de%20Stichtse%20Brug.pdf>
- Beets, C. P., P. W. F. M. Hommel & R. W. de Waal, 2000 t/m 2005. *Selectie van referentiepunten t.b.v. het Staatsbosbeheer-project terreincondities : resultaten inventarisatie 1999 t/m 2004*. Wageningen, Alterra.
- Buurman, P., T. Pape, J.A. Reijneveld, F. de Jong, & E. van Gelder. 2001. *Laser-diffraction and pipette-method grain sizing of Dutch sediments: Correlations for fine fractions of marine, fluvial, and loess samples*. *Netherlands Journal of Geosciences* 80(2): 49-57.
- Coops, H., N. Geilen & G. van der Velde, 1994. *Distribution and growth of the helophyte species Phragmites australis and Scirpus lacustris in water depth gradients in relation to wave exposure*. *Aquatic Botany* 48: 273-284.
- Hennekens, S.M. & J.H.J. Schaminée, 2001. *TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data*. *Journal of Vegetation Science* 12: 589-591.
- Penning en de Lange nov. 2014. *Pilot Voorlandoplossingen Houtribdijk – Monitoringsprogramma*. Deltares rapport 1209013-000-ZWS-0019
- Cate, J. A. M. t., A. F. van Holst, H. Kleijer & J. Stolp, 1995. *Handleiding bodemgeografisch onderzoek; Richtlijnen en voorschriften; Deel A: Bodem*. Wageningen, SC-DLO. Technisch document 19A.
- Delft, B. van, R. Kemmers & R. de Waal (2002). *"Ecologische typering van bodems onder korte vegetaties : Het humusprofiel als graadmeter voor standplaatsontwikkeling."* *Landschap* 19(3): 152-164.
- Delft, B. van, R. de Waal, R. Kemmers, P. Mekking & J. Sevink, 2006. *Field guide Humus Forms; Description and classification of humus forms for ecological applications*. Wageningen, Alterra.
- Delft, B van., R. de Waal, R. Kemmers, P. Mekking & J. Sevink, 2006. *Field guide humus forms. Description and classification of humus forms for ecological applications*. Alterra WUR, Wageningen
- Longuet-Higgins, Cartwright en Smith (1963). *Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy*. *Ocean Wave Spectra*, Prentice-Hall, 111 - 136.
- McCall R, Van der Lugt M, Gawehn M, Vuik V (2018) *Aanvullende metingen en modelering pilot Houtribdijk*. Deltares rapport 1209013-006.

- Shore Monitoring & Research 2014-2018. Veldrapportages Morfologische Monitoring Pilot Houtribdijk nummer 1 tot en met 23.
- Steenbergen A 2015. Foreshores with reed vegetation as a resilient lake shore defence. Modelling of the incoming wave height at the reed-water boundary. MSc. Thesis Open Universiteit.
- Ten Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer & J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Richtlijnen en voorschriften. Deel A: Bodem. Technisch document 19A, SC-DLO, Wageningen.
- Ter Braak, C.J.F. & P. Šmilauer, 2012. CANOCO reference manual and user's guide. Software for ordination (version 5.0). Biometris, Wageningen/České Budějovice.
- Tucker M.J. & Pitt E.G. (2001) Waves in ocean engineering. Elsevier ocean engineering book series vol. 5, Elsevier, Amsterdam, 521 p.
- Waal, R. W. de & P. W. F. M. Hommel, 2010. Humus- en vegetatiereeksen als hulpmiddel voor het natuurbeheer; Enkele voorbeelden op basis van de SBB-referentiepunten. Wageningen, WUR-Alterra. Alterra-rapport 2049.
- Waal, R. W. de & P. W. F. M. Hommel, 2013. Provinciaal meetnet verdroging Overijssel; Beschrijving en beoordeling van 56 meetpunten. Wageningen, WUR-Alterra. Alterra-rapport 2457.

A Beschrijving meetopstelling

A.1 Meteorologie

De monitoringsmast is geplaatst op 3 september 2014. De monitoringsmast bevat instrumenten voor het meten van:

- Wind: akoestische windmeter
- Neerslag: kantelbak regenmeter:
- Barometrische luchtdruk: barometer
- Waterstand: drukopnemer
- Luchttemperatuur: Indicatie met opnemer in meetkast

Overzicht geplaatsten instrumenten:

Regenmeter	Campbell 52203	s/n TB11942
Windmeter	Windsonic opt1	s/n 14170036
Telecamera	Campbell CC5MPXWD	s/n 1886
Widcamera	Campbell CC5MPXWD	s/n 1887
Drukopnemer (waterstand)	UNIK 5000 1.3 bar	s/n 4206772
Nortec Vector	Nortec Vector	s/n P27240 (per 02-10-2014)
Huawei 8683	06 46911991 sim 0524 sim nr. 8931440300499229839	
Logger CR1000	06-54357195	

De datalogger bemonstert deze instrumenten met een interval van 1 seconde. Elke 60 seconden registreert de datalogger de gemiddelde waarden van de verzamelde meetwaarden.

Windmeter

Op 22 januari 2015 is de windmeter vervangen omdat de windmeter gedurende verschillende periodes (dagen / weken) geen meetdata produceerde. De windmeter op de monitoringsmast bevindt zich op NAP + 9.98 m.

Regenmeter

De regenmeter (kantelbak principe) is op 22 januari 2015 verplaatst van boven in de mast naar een plek op een paal naast de meetmast. Dit was nodig omdat de regenmeter (vermoedelijk) tijdens perioden met harde wind spontaan regenval rapporteerde, waarschijnlijk veroorzaakt door beweging van de kantelbak als gevolg van schudden van de meetmast, bovendien rapporteerde de regenmeter tijdens regenval te weinig regen (in vergelijking met regenmeters in de omgeving). Bij inspectie van de regenmeter is gebleken dat deze grotendeels geblokkeerd was door zand en algen-bacteriën aangroei. Op de positie naast de mast is er geen sprake van hinderlijk schudden. De data voor 22 januari 2015 moet met enige scepsis worden beschouwd. Ook bij de volgende onderhoudsbeurten is vervuiling (fijn materiaal en slijmerige biofilm laag) in de regenmeter gevonden, welke steeds is verwijderd (Figuur A.1).



Figuur A.1 Vervuiling in de regenmeter

Barometer

De drukopnemer voor barometrische luchtdruk is in de loggerkast ingebouwd. De drukopnemer staat met een slang in verbinding met de buitenlucht. In de opening naar de buitenlucht is vochtwerend element geplaatst.

Thermometer

In de datalogger in de meetkast is een temperatuuropnemer ingebouwd, deze temperatuur wordt beïnvloed door de temperatuur van de buitenlucht met daarop een verhoging als gevolg van het energiegebruik in de datalogger. De temperatuurmeting valt niet onder de gewenste parameters maar voor allerlei toepassingen is een indicatie van de temperatuur nuttig, daarom wordt de sowieso gemeten temperatuur toch geregistreerd.

De gaten in het begin van de meteorologiemetingen zijn te wijten aan communicatieproblemen met de Vodafone server (begin periode september-november 2014) en een kapotte windmeter (december 2014).

A.2 Waterstand

Op 09 december 2014 is een drukopnemer voor registratie van de waterstand bij de damwand geïnstalleerd. De opnemer bevindt zich in een verticaal opgestelde buis, de bodem van de buis is met een geperforeerd 'deksel' afgesloten. De perforatie bestaat uit enkele gaatjes in het deksel, de gaatjes zijn voldoende groot om ophoping van zand in de opening te vermijden.

De drukopnemer meet absolute druk, dus luchtdruk plus waterdruk. Vermindering met de barometrische luchtdruk (gemeten met de barometer in de meetmast) geeft een meetwaarde voor waterstand t.o.v. de drukopnemer. De verschuiving van drukopnemer gerelateerde waterstand naar waterstand t.o.v. NAP is -1.138 m (1.138 m te verminderen op de gemeten druk). Verondersteld wordt dat de dichtheid van het water 1000 kg/m^3 is.

Op 22 januari 2015 is om 14h30 met behulp van een GPS installatie een waterstand gemeten van -0.254 m t.o.v. NAP.

A.3 Golven

Metingen

De inkomende golven worden gemeten met een Nortek Vector (ADV) geplaatst in een onderwaterframe. Het onderwater meetframe is op 02-10-2014 geplaatst en bevindt zich op $(x,y) = (156445.280, 516524.292)$ (RD coördinaten) en met een richting van het frame van 335° . Ter plaatse van de ADV is de waterdiepte (zomerpeil) orde 2.5 m. De hoogte van het meetpunt van de snelheidsmeting (onder de meetkop) is ongeveer 1.0 m boven de bodem op een hoogte van NAP -1.64 m. De drukopnemer bevindt zich ongeveer 1.20 m boven de bodem. De bodem bevindt zich op -2.75 m + NAP.

Verwerking ruwe data

Voor het bepalen van de golfparameters uit de data worden de variaties van de watersnelheidsvector gecombineerd met de variaties van de gemeten waterdruk.

Het werkproces voor het bepalen van de golfparameters is als volgt:

- data inlezen
- outliers wegfilteren
- laagfrequente componenten beneden 0.18+Hz wegfilteren (dit zijn geen windgolven meer)
- waterdruk vertalen naar variaties van het vrije oppervlak. Hiervoor wordt lineaire golftheorie gebruikt, met een maximale drukversterkingsfactor van 25. Dit betekent, gegeven de verticale positie van de druksensor en de totale waterdiepte (veelal orde 2.55 m, omdat de waterstand vaak ongeveer -0.20 m + NAP is), dat de bovengrens van het spectrum zich rond de 0.77 Hz bevindt. Alle energie hierboven wordt niet meegenomen (op nul gesteld).
- het 1D spectrum wordt gladgestreken om het gebruikelijke 'gras' te verwijderen en binnen het genoemde frequentiebereik worden de volgende golfparameters bepaald:
 - significante golfhoogte
 - piekperiode
- daarnaast worden de snelheidsgegevens gebruikt om, middels de techniek van Longuet-Higgins et al. (1963), de golfrichting bij de piek van het spectrum te bepalen.

We hebben in bovenstaande werkproces de gevoeligheden voor enkele min of meer subjectieve keuzes onderzocht. Zowel het omlaag brengen van de ondergrens naar 0.10 Hz als de maximale versterkingsfactor naar 10 heeft slechts marginale effecten op de golfparameters. Met andere woorden, de resultaten zijn voldoende ongevoelig voor de gemaakte keuzes.

Van belang is het volgende. Indien men de gemeten golfhoogte met die van een golfmodel als SWAN wil vergelijken, kan men niet zomaar de door het model weggeschreven golfhoogte gebruiken. Dit komt omdat laatstgenoemde bepaald is over een (veel) groter frequentiebereik. De correcte werkwijze is dan om het door het model berekende golfspectrum te gebruiken om daaruit, door integratie over het frequentiebereik [0.18 Hz, 0.77 Hz], de golfhoogte te bepalen. Deze golfhoogte kan dan wel vergeleken worden met de gemeten golfhoogte, omdat de golfhoogte dan op identieke wijze gedefinieerd is.

A.4 Validatie golfmetingen

De golfmetingen zijn gevalideerd middels een directe vergelijking met de winddata en waterstandsdata voor golfhoogte en golfrichting. De metingen zijn qua ordegrrootte en richting realistisch bevonden na 22 januari 2015. Ze correleren vanaf dat moment goed met de veranderingen in windrichting en windsnelheid. Ook is er in april 2015 een additionele pomptest uitgevoerd om de richtingscomponent ook te valideren middels een geforceerde stroming uit een bekende richting. Een totaaloverzicht van de golfdata resultaten staat in paragraaf 3.4.

A.5 Overwegingen m.b.t. aangroei van ADV

Tijdens de onderhoudsbezoeken is gevonden dat het meetframe en de daarop bevestigde meetkop bedekt waren met een forse baard 'roodwier'. Hieronder volgt een aantal overwegingen met betrekking tot mogelijke verstoring van de metingen.

De meetkop van de ADV bevat vier akoestische transducenten: een transducent in het centrum van de meetkop en drie op pootjes om het centrum heen. De centrale transducent dient als zender en de drie transducenten op de drie pootjes dienen als ontvanger. De bundels van de zender en de ontvanger snijden elkaar op ongeveer 15 cm afstand van de meetkop. Dat snijpunt is het meetvolume. Deeltjes die door het meetvolume bewegen verstrooien het akoestische signaal, o.a. in de richting van de ontvang transducenten. De snelheid (grootte en richting) van de verstrooiende deeltjes veroorzaakt een 'Doppler-verschuiving' van de ontvangen akoestische puls. Die Doppler-verschuiving op de drie ontvangers bevat informatie van de deeltjesnelheid (grootte en richting). De informatie zit in de frequentie van het ontvangen signaal en niet in de amplitude. Vanwege deze eigenschap is de snelheidsmeting niet afhankelijk van de sterkte van het signaal. Vanzelfsprekend moet het signaal wel voldoende sterk zijn om de Doppler-verschuiving te kunnen afleiden.

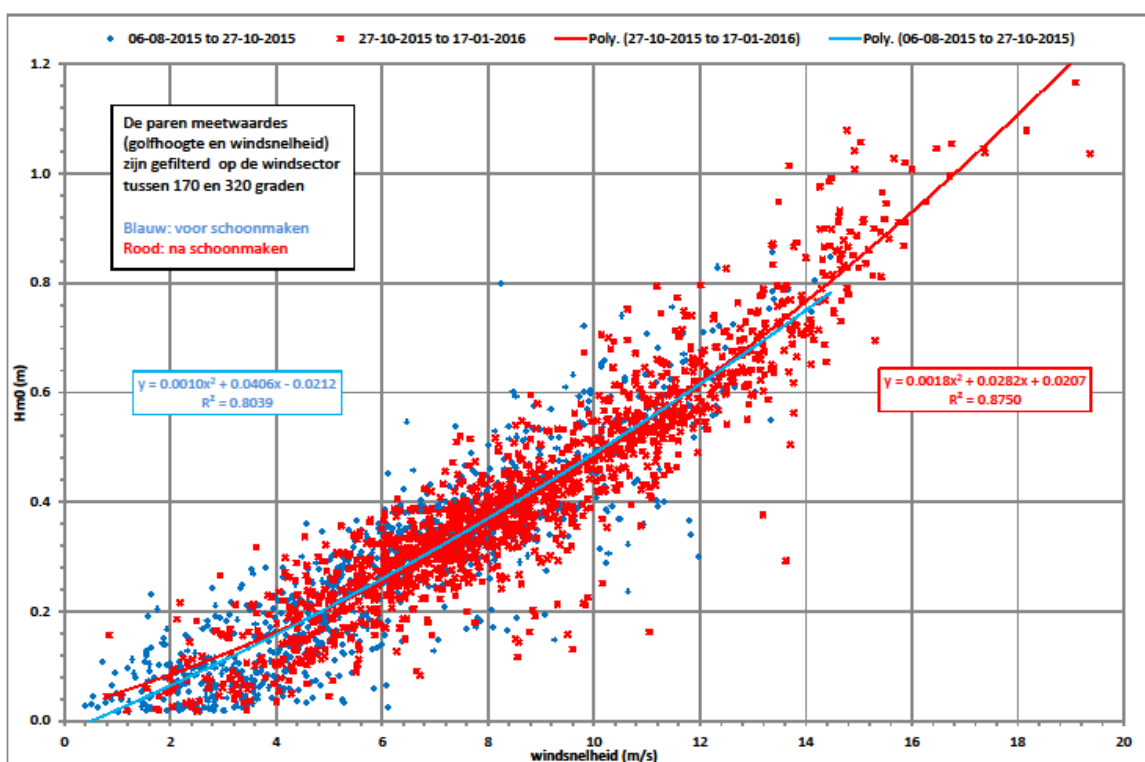
Het ontvangen signaal kan door verschillende oorzaken te zwak zijn, enkele belangrijke oorzaken zijn hieronder opgesomd.

- 1) Er zijn onvoldoende verstrooiende deeltjes in het meetvolume (in water zonder deeltjes/belletjes kan de ADV niet functioneren).
- 2) De deeltjesconcentratie is zo hoog dat het akoestische signaal onderweg naar het meetvolume en weer 'terug' naar de akoestische transducenten zo sterk verstrooid wordt dat de signaalamplitude onder het detectieniveau van de elektronica komt, er kan dan geen accurate Doppler-verschuiving bepaald worden.
- 3) De transducenten zijn zo sterk bedekt met verstorend materiaal (begroeiing door scheldieren, wier, slakken e.d. dat het akoestische signaal te sterk verzwakt wordt.

Mislukte metingen als gevolg van boven genoemde verzwakkingsoorzaken manifesteren zich in de meetdata als foutcodes, niet als een kleine of grote verschuiving in de meetwaarde. De hierboven beschreven drie oorzaken van meetuitval hebben zich niet voorgedaan.

Een ander mogelijk effect van de begroeiing is beïnvloeding van de watersnelheid (orbitaal, stroming) door obstructies in of nabij het meetvolume. Dergelijke fouten zijn over het algemeen klein (substantieel kleiner dan de gemeten maximum snelheid) en daardoor moeilijk vast te stellen. Vergelijking van een tijdreeksgrafiek van de waargenomen snelheden van voor de servicebeurt met soortgelijke grafiek erna (Figuur A2) geeft niet de indruk dat zich een waarneembare verandering in de gevoeligheid van de snelheidsmeting heeft voorgedaan. Ook een vergelijking van het verband tussen windsnelheid en berekende golfhoogte (H_{m0}) duidt niet op een meetbare beïnvloeding van de stroming (zie bijgaande figuur). Meetdata van direct voor het schoonmaken zijn blauw gekleurd, ook de bijbehorende best-fit terwijl rood betrekking heeft op data na het schoonmaken. De meetdata 'voor' en 'na' hebben een iets verschillende fitlijn. Een van de oorzaken is dat in de periode na het schoonmaken hogere golven zijn waargenomen. Een tweede oorzaak zou kunnen liggen in het schoonmaken, het gaat echter niet om een significante verandering.

Conclusie: de ADV raakt in de loop van een jaar bedekt met een substantiële hoeveelheid wier e.d. Een significante invloed op de meetresultaten is niet gevonden. Aanbevolen wordt het schoonmaak interval niet langer te maken dan een jaar.



Figuur A.2. Vergelijking van gemeten waarden in golfhoogte voor en na het schoonmaken van de ADV meetkop

B Datalogger programma

Het programma in de datalogger heeft een aantal taken, hieronder een overzicht van de belangrijkste taken.

1) Timing en besturing van de meetprocessen, inclusief besturing van de voeding
De herhalingscyclus van het programma beslaat een uur.

2) Registratie van de verzamelde meetwaarden
De meetwaarden worden in het online geheugen van de datalogger geregistreerd. De meetdata in het online geheugen zijn direct toegankelijk. Het online geheugen van de datalogger is aangevuld met een CF-kaart. Deze kaart heeft een groter capaciteit dan de logger, en kan meer dan een maand aan meetwaarden bevatten, inclusief gemaakte foto's (JPG).. De toegang en organisatie van het CF-geheugen is echter complexer dan het loggeergeheugen, en het is praktisch moeilijk uitvoerbaar de CF-kaart via het GSM-modem uit te lezen. Deze CF-kaart wordt daarom alleen handmatig uitgelezen als er problemen zijn met het ophalen van de foto's via de GSM-modem. Hiervoor is een veldbezoek noodzakelijk

3) Overdracht van de meetdata naar Deltares
Via de GSM modem kunnen de meetwaarden vanuit Deltares worden uitgelezen. Dit wordt elk uur (24/7) gedaan om continu de beschikking te hebben over de meest recent ingewonnen meetdata. Bovendien houdt dit de communicatie duur per uitlezing beperkt tot een paar minuten. De datasnelheid van de GSM verbinding is orde 1000 bytes per seconde. Door overhead en handshaking is de effectieve snelheid niet meer dan enkele honderden bytes per seconde.

B.1 Meetproces per instrument in de datalogger

B.1.1 ADV

Elk uur, op het halve uur (xxh30m08s), wordt de ADV gestart. Na initialisatie van de ADV worden de ingewonnen meetwaarden via een RS485 verbinding (kabel) naar de datalogger gestuurd. De datalogger buffert de meetwaarden, converteert ze naar ASCII (tekst) en schaaft de snelheidswaarden naar m/s. De geschaalde meetwaarden worden in de datalogger geregistreerd. Elke tijdstapregistratie omvat: Vx, Vy, Vz en druk. Bovendien worden nog huishoudelijke data geregistreerd zoals: helling (pitch en roll), richting (heading). Zodra de datalogger de 4096 tijdstappen ontvangen en geregistreerd heeft (met een frequentie van 8 Hz) wordt de ADV gestopt en vervolgens de voeding uitgeschakeld.

B.1.2 Camera

Op het hele uur wordt de groothoek camera (wide) geactiveerd. Na opstarten neemt de camera een opname en verstuurt die naar de FTP site van Deltares. Als back-up wordt de opname in de datalogger geregistreerd. Bovendien bevat de camera een SD-kaartje waar de opnames ook op worden geregistreerd. De SD-kaart is vanuit Delft niet toegankelijk

Nadat de groothoek camera gereed is gaat hij over in 'sleep' mode, de camera met de telelens wordt dan opgestart. Opnieuw wordt het bij 'wide' beschreven proces doorlopen.

De groothoekopnamen staan op ongeveer twee minuten over het hele uur op de FTP site en de tele-opnames om 8 minuten over het hele uur. Er worden alleen bij daglicht opnames gemaakt, geprogrammeerde uren zijn: 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 en 16hr.

Na het nemen van een foto verstuurt de camera de foto naar de FTP-site van Deltares. Dit proces heeft een variabele tijdsduur, o.a. afhankelijk van de kwaliteit van de verbinding. De datalogger monitort het stroomverbruik van de camera en schakelt de camera uit (om energie te besparen) zodra het stroomgebruik onder een geprogrammeerde waarde komt (de camera is dan klaar met de uploaden van de foto naar de FTP site).

B.1.3 Waterstand en meteo

De instrumenten voor barometrische luchtdruk, windsnelheid en -richting, neerslag en waterstand zijn continu actief. Verder worden de voedingsspanning van de logger (accuspanning) en de loggertemperatuur gemeten. De meetwaarden worden elke seconde uitgelezen. Elke minuut worden de gemiddelde waardes (en totaal voor neerslag) geregistreerd.

B.1.4 Wireless gateway

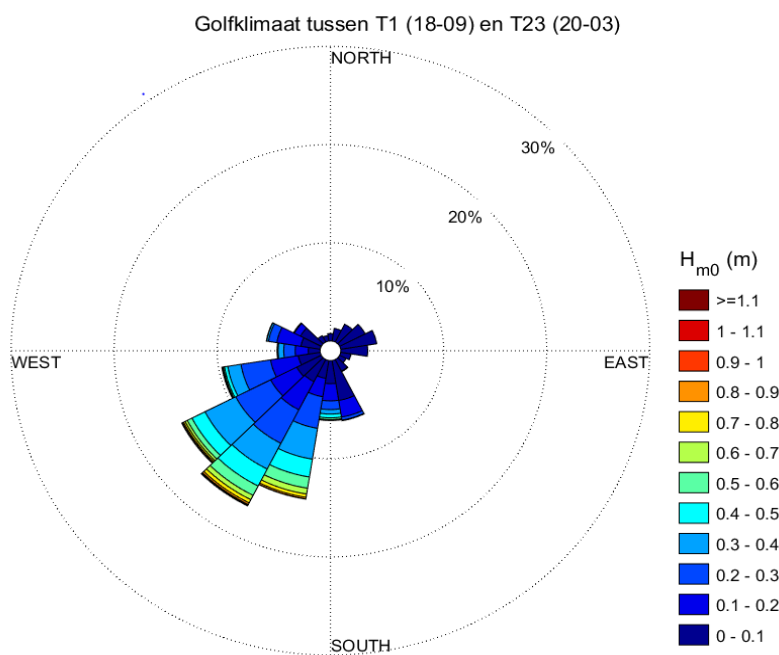
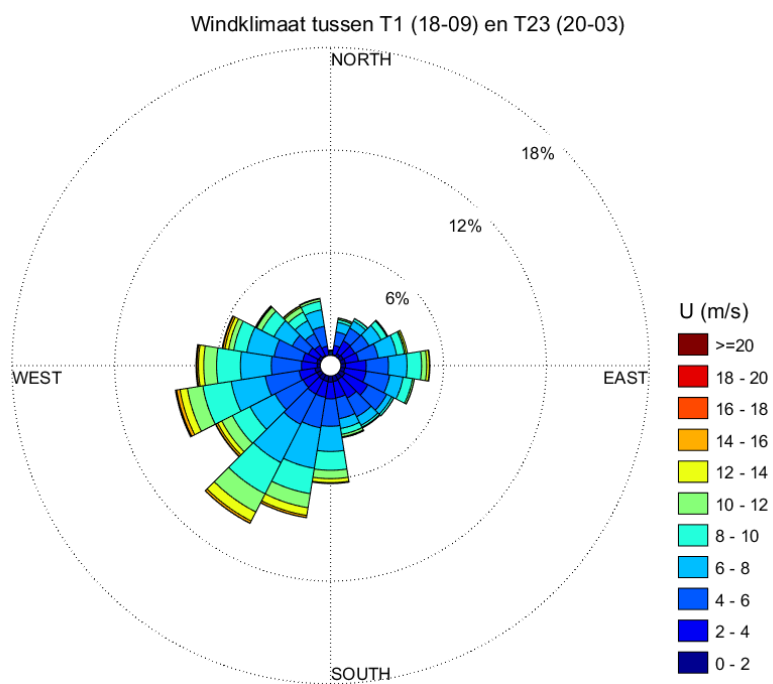
De Wireless gateway is alleen actief als de camera's actief zijn. Tijdens een service bezoek kan de operator de Wireless gateway handmatig activeren voor communicatie met Deltares en gebruik van internet. Foto-data worden via de Wireless gateway op een FTP server gezet, vanwaar ze worden ge-upload naar de ruwe data repository.

B.1.5 GSM-modem

Elke zes uren (op het hele uur), wordt de GSM-modem gereset, dit om eventueel 'vastlopen' te voorkomen. Het resetten duurt slechts enige tientallen secondes. Op dat moment lopende communicatie wordt dan onderbroken. Nb. Vanwege veiligheidsredenen is het niet mogelijk om een continue open internetverbinding tussen de datalogger en Deltares te maken. Wel is het mogelijk data naar een FTP site te 'pushen'. De internet modem in combinatie met de camera's is daartoe in staat.

C Karakterisering hydrodynamica per periode

Deze bijlage beschrijft per periode tussen opeenvolgende morfologische metingen de karakteristieken van het meteorologische en hydrodynamische klimaat bij de pilot. Een event is gedefinieerd als het overschrijden van de 95% percentielwaarde van windsnelheid en/of golfhoogte uit Tabel 3.2. Boxplots, windrozen en golfrozen zijn voor elke periode beschikbaar als losse figuren. Waterstanden en golfhoogtes, hoger dan de 99% percentielwaarden, zijn vetgedrukt en rood weergegeven. Hetzelfde geldt voor events met een windsnelheid van 8 Bft of hoger (17 m/s), en/of een windrichting buiten de sector tussen 180 en 270 graden.



Figuur C.1 Windroos (boven) en golfroos (onder) voor de complete meetperiode

C.1 T1-T2 (18-9-2014 tot 25-10-2014)Beschikbaarheid data

Geen lokaal gemeten hydrodynamische of meteorologische data beschikbaar. Resultaten van operationele model (WAQUA/SWAN) bij Rijkswaterstaat verloren gegaan t/m 12-10. Golfkarakteristieken en waterstanden voor de periode 18-9 t/m 12-10 zijn gebaseerd op de winddata van het KNMI, en voor de periode 13-10 tot 25-10 op de resultaten van het operationele model.

Windklimaat

Voornamelijk wind vanuit richtingen tussen ZO en ZW. Windsnelheden tot 12 m/s vanuit ZO sector, tot 15 m/s vanuit ZW sector, en tot 17 m/s vanuit NW sector. Gemiddelde windsnelheid 5.8 m/s, iets onder het jaargemiddelde.

Waterstanden

Waterstanden zijn grotendeels gebaseerd op een schatting van het meerpeil en een schatting, vanwege het ontbreken van lokaal gemeten data en resultaten van het operationele model. In deze periode wordt normaal gesproken het zomerpeil (-0.2 m+NAP) in het winterpeil (-0.4 m+NAP) gewijzigd. De gemiddelde waterstand in deze periode is geschat op -0.3 m+NAP.

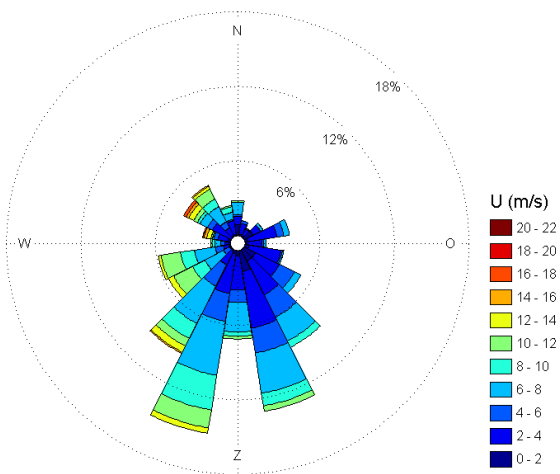
Golven

Door refractie draaien golven bij windrichtingen tussen ZO tot W bij naar ZZW richting. Het overgrote deel van de tijd kwamen de golven in deze periode dan ook binnen vanuit Z, ZZW en ZW richting. Tijdens de NW storm waren de golven aanzienlijk lager dan tijdens meer gematigde winden vanuit ZW sector. Het grootste deel van de tijd vielen de golven in onder een hoek (ca. 180 graden) ten opzichte van de oorspronkelijke oriëntatie van de oeverlijn van de pilot (ca. 225 gr).

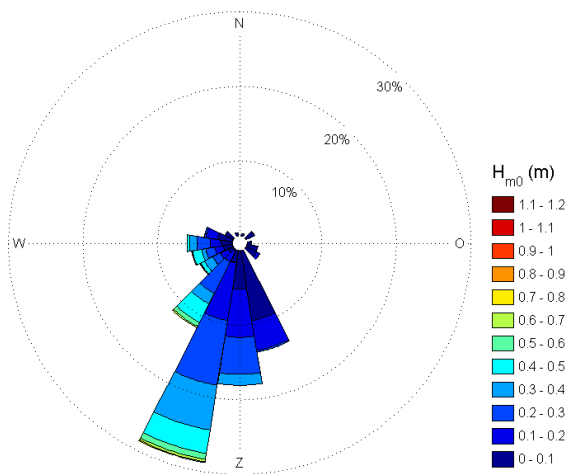
Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0} (golfr.)
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
7-10-2014	210	15.2	-0.24	0.72 (200)
19-10-2014	240	12.7	-0.25	0.47 (215)
21-10-2014	200 → 300	14.0 → 16.5	-0.18 → -0.33	0.62 (215) → 0.46 (260)

Windklimaat tussen T1 (18-09) en T2 (25-10)



Golfklimaat tussen T1 (18-09) en T2 (25-10)



C.2 T2-T3 (25-10-2014 tot 19-11-2014)

Beschikbaarheid data

In deze gehele periode is de hydrodynamische data gebaseerd op de resultaten van het operationele model.

Windklimaat

De wind kwam in deze periode voornamelijk uit de ZO-sector. De gemiddelde windrichting was 200 graden (ZZW) van 25-10 tot 29-10 met een gemiddelde windsnelheid van 5.7 m/s, daarna gemiddeld 145 graden (ZO) van 29-10 tot 19-11 met een bijbehorende gemiddelde windsnelheid van 5.5 m/s. Met een gemiddelde windsnelheid van 5.6 m/s lag de windsnelheid in deze periode duidelijk onder het gemiddelde van 6.3 m/s.

Waterstanden

De gemiddelde waterstand was -0.36 m+NAP, met een maximum van -0.22 m+NAP.

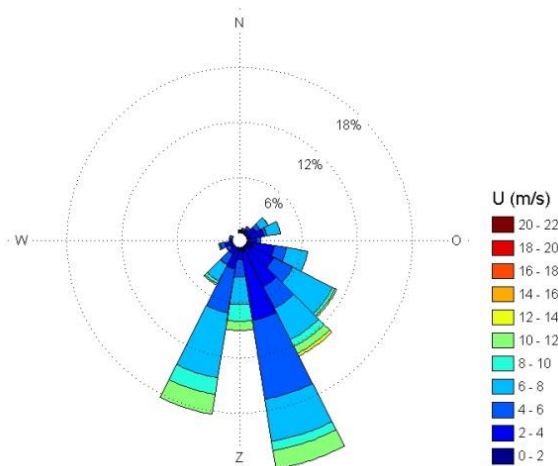
Golven

Door refractie draaien de golven die vanuit ZO sector komen bij naar Z richting. Vrijwel alle golven hadden een windrichting tussen ZZO en ZZW, met de hoogste golven (0.5-0.6 m) vanuit Z en ZZW richting. De volledige periode was er sprake van schuine golfval ten opzichte van de oorspronkelijke oriëntatie van de oeverlijn van de pilot (ca. 225 graden).

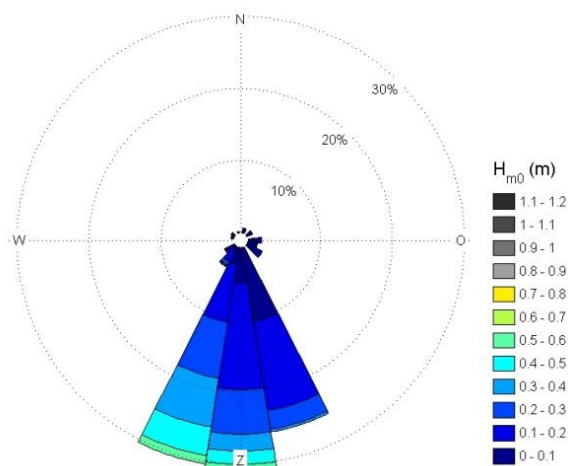
Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H_{m0} (golfr.)
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
3-11-2014	170	11.4	-0.23	0.58 (185)
7-11-2014	150	12.7	-0.29	0.50 (180)

Windklimaat tussen T2 (25-10) en T3 (19-11)



Golfklimaat tussen T2 (25-10) en T3 (19-11)



C.3 T3-T4 (19-11-2014 tot 28-12-2014)

Beschikbaarheid data

Vanaf deze periode is er lokaal gemeten meteorologische en hydrodynamische data beschikbaar, behalve in de periode 29-11, 18:00 tot 3-12, 13:00. Voor deze periode is de hydrodynamische data gebaseerd op het operationele model van Rijkswaterstaat. De meteorologische data kende behalve deze periode nog enkele andere gaten. Deze zijn opgevuld o.b.v. data van KNMI-station Schiphol.

Windklimaat

Deze periode kende een tweedeling: een kalme periode (19-11 t/m 5-12, gem. windsnelheid 5.8 m/s, OZO) en een periode met veel wind (6-12 tot 28-12, gem. windsnelheid 9.3 m/s, ZW).

Waterstanden

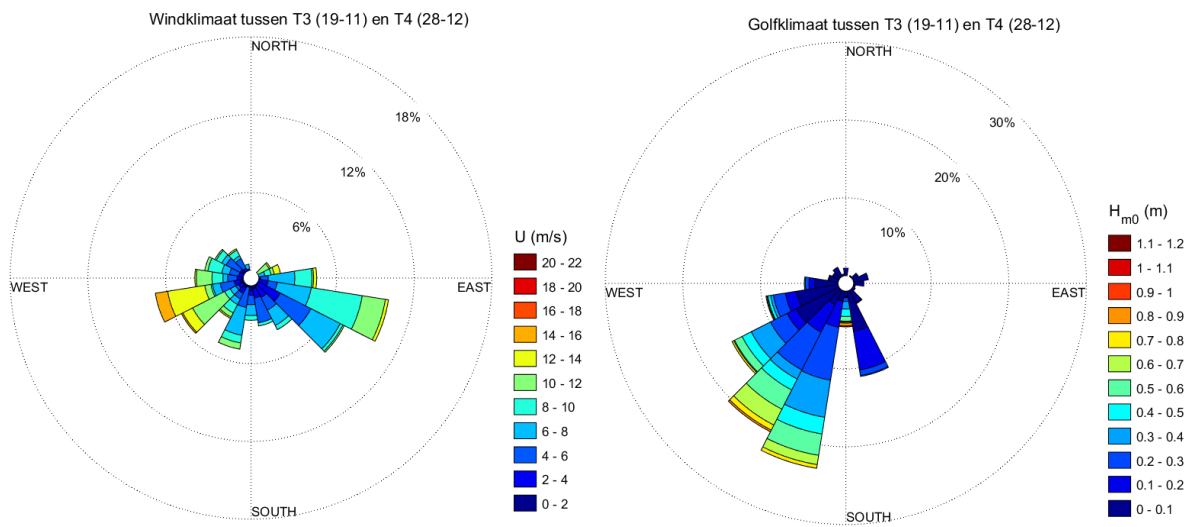
Gemiddelde waterstand -0.40 m+NAP (19-11 t/m 5-12) en -0.29 m+NAP (6-12 tot 28-12).

Golven

In de periode met OZO wind (19-11 t/m 5-12) waren de golven laag (gemiddeld 0.07 m) vanwege het gebrek aan strijklengte en de lage windsnelheden. In de tweede periode, met ZW wind, zijn er verschillende events opgetreden, en kwamen de golven voortdurend uit richtingen tussen Z en WZW. De gemiddelde significante golfhoogte in deze tweede periode was 0.32 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0} (golfr.)
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
10-12-2014	200	15.2	-0.19	0.73 (200)
11-12-2014	250	16.5	-0.28	0.56 (240)
12-12-2014	210	20.3	+0.01	0.90 (180)
18-12-2014	240	19.1	-0.13	0.67 (220)
20-12-2014	270	16.5	-0.14	0.59 (240)
22 t/m 24-12	240	15.4	-0.02	0.81 (220)
27-12-2014	100	13.4	-0.41	0.23 (160)



C.4 T4-T5 (28-12-2014 tot 23-01-2015)Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar voor de hydrodynamica. De tijdreeks voor de meteorologie bevatte een gat (14-1 tot 22-1), wat is gedicht op basis van data van KNMI-station Schiphol.

Windklimaat

Met een gemiddelde windsnelheid 8.0 m/s duidelijk boven het gemiddelde van 6.3 m/s. Diverse perioden met harde wind uit richtingen tussen ZZW en WNW.

Waterstanden

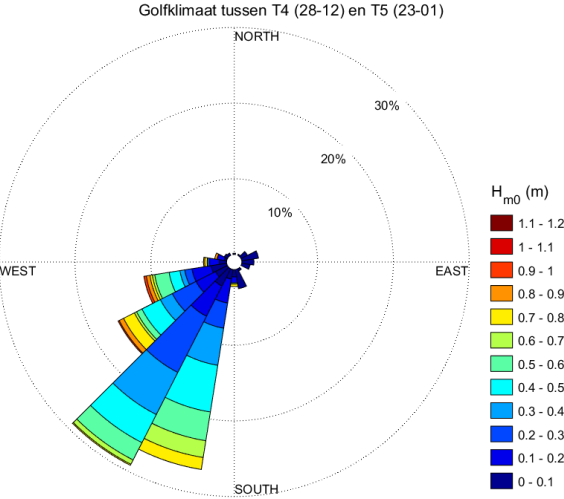
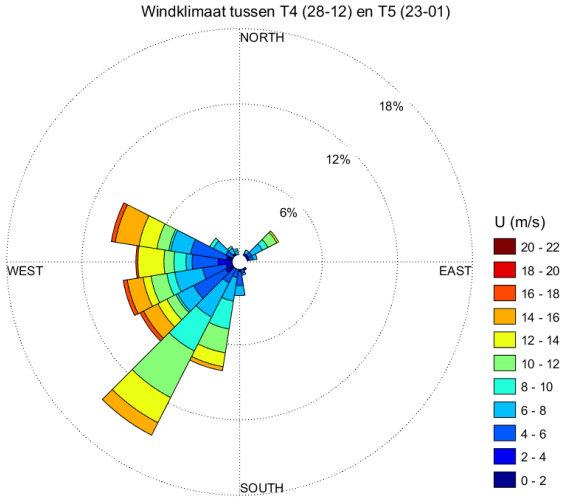
Lokale waterstanden gemiddeld (-0.24 m+NAP) aanzienlijk boven het streefpeil in het gehele Markermeer van -0.4 m+NAP. Hoogst gemeten waterstand 0.11 m+NAP.

Golven

Golfrichtingen tussen ZZW en WZW, gemiddelde significante golfhoogte 0.31 m, maximaal 0.99 m significante golfhoogte.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0} (golfr.)
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
2-1-2015	210	15.3	-0.08	0.75 (200)
8-1-2015	200	13.6	-0.17	0.59 (200)
9-1-2015	240	16.6	0.07	0.94 (260)
10-1-2015	260	17.1	0.11	0.99 (230)
11-1-2015	280	15.9	-0.19	0.59 (250)
12-1-2015	230	14.3	-0.07	0.81 (250)
15-1-2015	200	17.8	-0.04	0.80 (200)



C.5 T5-T6 (23-01-2015 tot 15-02-2015)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Relatief rustige periode na de dynamische periode tussen T4 en T5. Gemiddelde windsnelheid 5.8 m/s. Dit is onder het gemiddelde van 6.3 m/s over de periode september 2014 – september 2015. Windrichting afwisselend vanuit alle richtingen, maar voornamelijk vanuit de ZW en NW sector.

Waterstanden

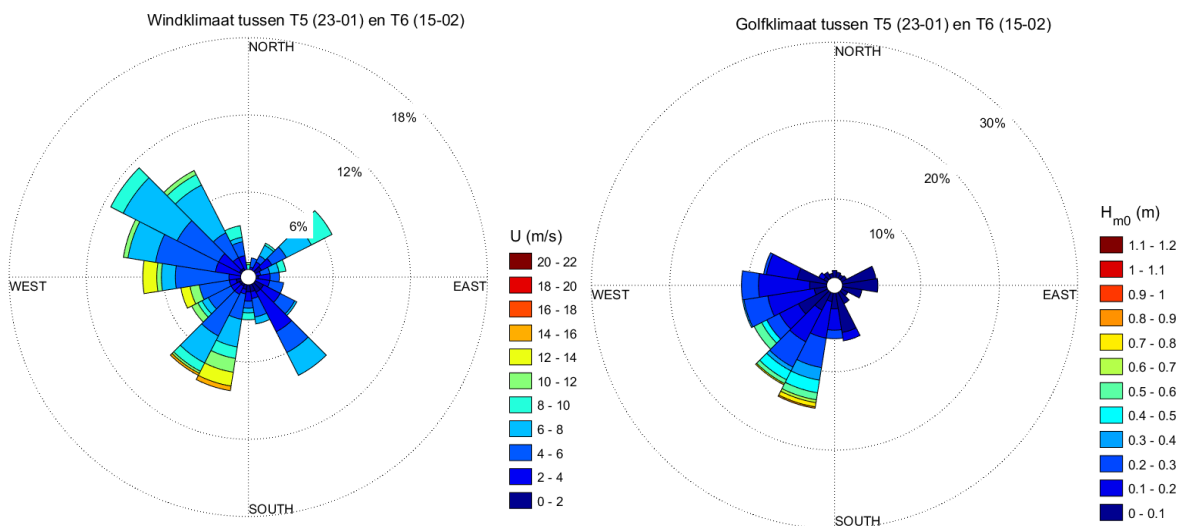
Gemiddelde waterstand -0.24 m+NAP. Dit is ruim boven het winterpeil van -0.40 m+NAP.

Golven

Golven voortdurend vanuit richtingen tussen ZZW en W, golven hoger dan 0.4 m alleen vanuit richtingen tussen ZZW en WZW. Gemiddelde significante golfhoogte in deze periode 0.15 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H_{m0} (golfr.)
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
24-1-2015	190	13.1	-0.11	0.62 (200)
28-1-2015	200	15.2	-0.01	0.81 (200)



C.6 T6-T7 (15-02-2015 tot 18-03-2015)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Grootste deel van de periode wind uit ZW sector, laatste paar dagen van de periode ook wind uit oostelijke sectoren. Gemiddelde windsnelheid 6.7 m/s; dit is rond het gemiddelde.

Waterstanden

In deze periode daalde de gemiddelde waterstand van het verhoogde meerpeil uit de voorgaande waarde naar een meer gebruikelijke waarde voor in de winter van -0.36 m+NAP.

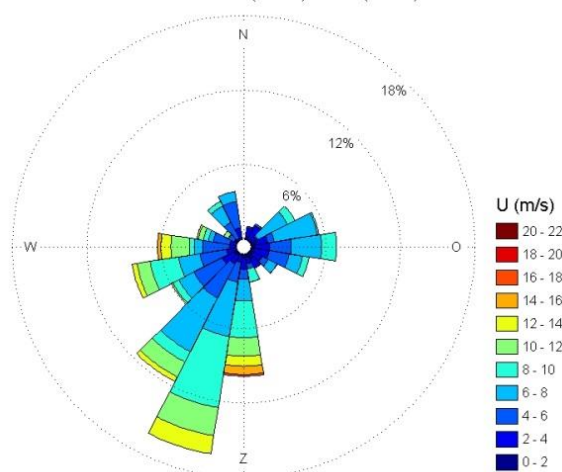
Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.20 m. Golven met noemenswaardige energie alleen vanuit richtingen rond ZZW en ZW.

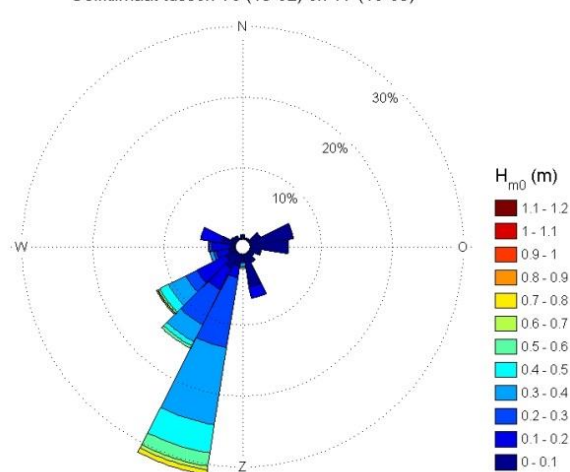
Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H_{m0} (golfr.)
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
23-2-2015	180	16.0	-0.17	0.79 (190)
24-2-2015	200	13.5	-0.25	0.58 (200)
1-3-2015	185	13.4	-0.24	0.59 (200)
2-3-2015	270	14.9	-0.16	0.73 (235)

Windklimaat tussen T6 (15-02) en T7 (18-03)



Golfklimaat tussen T6 (15-02) en T7 (18-03)



C.7 T7-T8 (18-03-2015 tot 06-04-2015)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Relatief veel wind voor deze tijd van het jaar, inclusief twee stormen eind maart vanuit WZW en WNW richting. Gemiddelde windsnelheid 7.9 m/s. Dit is ruimschoots hoger dan het gemiddelde van 6.3 m/s.

Waterstanden

Gemiddelde waterstand -0.26 m+NAP. Aan het eind van deze periode werd het winterpeil weer gewijzigd in het zomerpeil. Het samenvallen met de stormen in deze periode leidde tot zeer hoge waterstanden tot 0.21 m+NAP, de hoogste gemeten waarde voor de periode september 2014 tot september 2015.

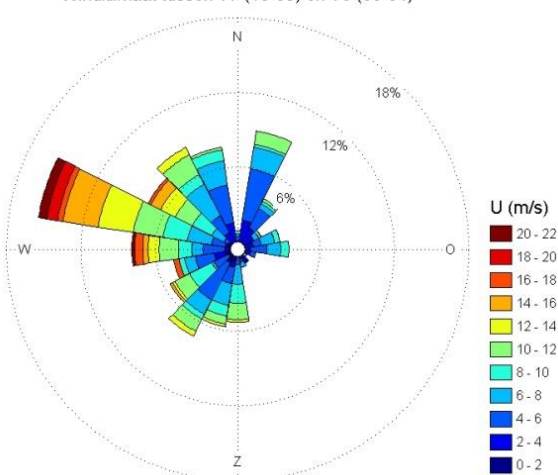
Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.26 m. Zware golven vanuit richtingen tussen ZW en WZW tijdens enkele events. Maximale significante golfhoogte 1.07 m.

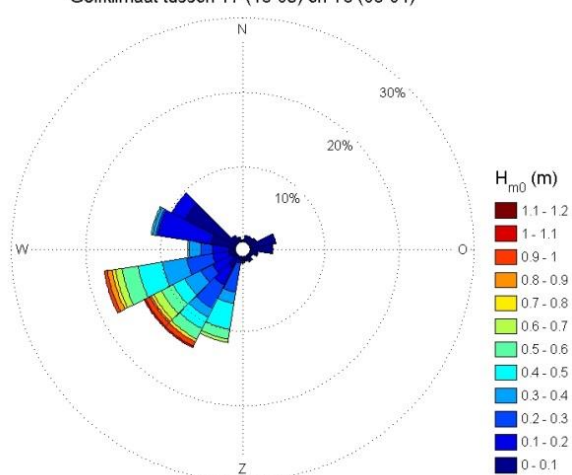
Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0} (golfr.)
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
29-3-2015	250 → 300	16.5 → 14.8	0.14 → -0.15	0.99 (215) → 0.58 (250)
31-3-2015	270-290	20.6	0.21	1.07 (220)
1-4-2015	290	16.1	-0.10	0.69 (250)

Windklimaat tussen T7 (18-03) en T8 (06-04)



Golfklimaat tussen T7 (18-03) en T8 (06-04)



C.8 T8-T9 (06-04-2015 tot 21-08-2015)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 6.2 m/s. Dit is iets lager dan het gemiddelde van 6.3 m/s. Gedurende deze periode zijn enkele, voor zomerse begrippen, hoge windsnelheden opgetreden, zoals op 5-7 mei en 2 juni en de zomerstorm vanuit NW op 25 juli. In Nederland was de storm van 25 juli de zwaarste zomerstorm sinds het begin van de metingen in 1901.

Waterstanden

Gemiddelde waterstand -0.20 m+NAP. Dit is gelijk aan het streefpeil in de zomer.

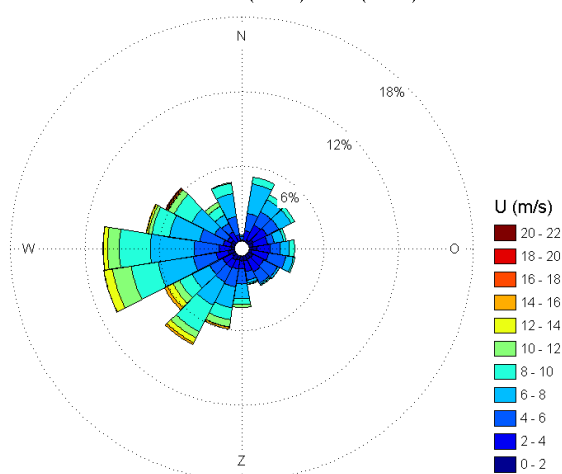
Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.24 m. Zware golven vanuit richtingen tussen ZW en WZW tijdens enkele events. Maximale significante golfhoogte 1.15 m. Dit is de hoogste golfhoogte die werd gemeten sinds het plaatsen van de meetopstelling.

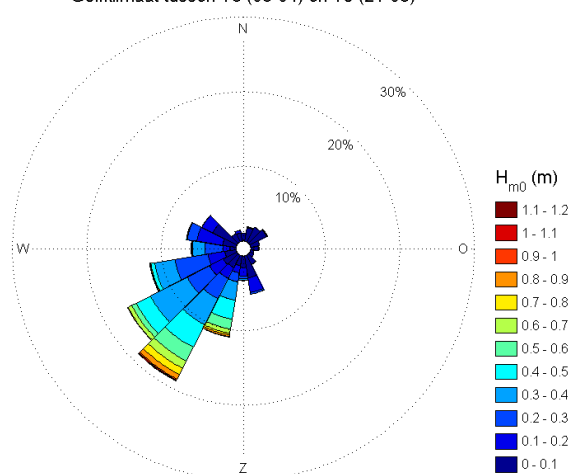
Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
5-5-2015	240	15.1	0.16	1.15
6-5-2015	230	15.6	0.15	1.02
18-5-2015	210	14.2	0.04	0.89
2-6-2015	210	15.6	0.05	0.93
7-7-2015	215	13.3	-0.01	0.93
25-7-2015	310	21.9	0.05	0.90

Windklimaat tussen T8 (06-04) en T9 (21-08)



Golfklimaat tussen T8 (06-04) en T9 (21-08)



C.9 T9-T10 (21-08-2015 tot 15-01-2016)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 7.0 m/s. Dit is iets hoger dan het gemiddelde van 6.3 m/s. Diverse events in najaar en winter, vrijwel allemaal vanuit ZW richting.

Waterstanden

Gemiddelde waterstand -0.28 m+NAP. In deze periode heeft de overgang van zomerpeil naar winterpeil plaatsgevonden.

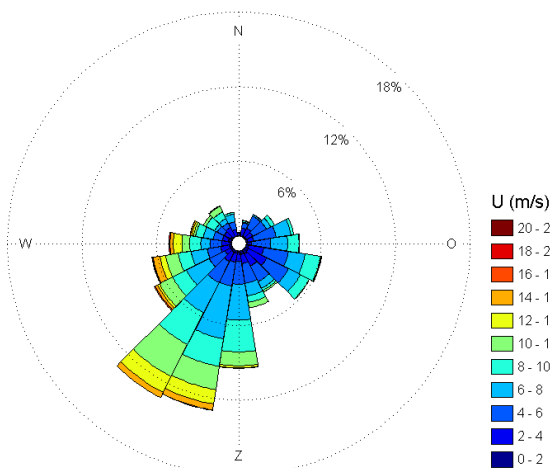
Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.27 m. Zware golven vanuit ZZW-ZW tijdens enkele events. Maximale significante golfhoogte 1.27 m. Dit is de hoogste golfhoogte die gedurende de gehele meetperiode werd gemeten. Golven zijn relatief hoog ten opzichte van de windsnelheid, door de relatief hoge waterstand.

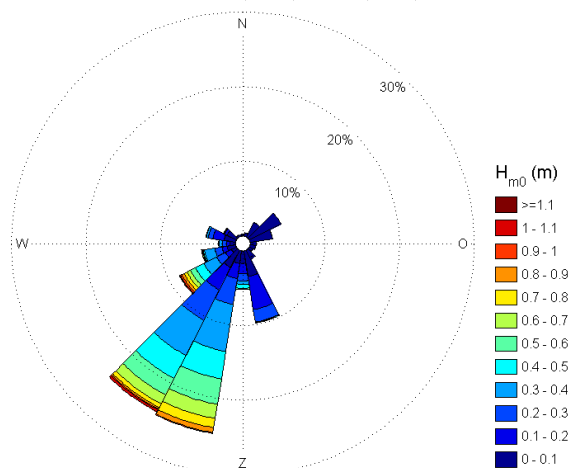
Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H_{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
15-11-2015	250	15.9	-0.05	1.02
17-11-2015	250	19.4	0.16	1.27
24-11-2015	200	15.4	-0.08	0.91
28-11-2015	205	16.3	0.01	0.95
29-11-2015	270	17.4	0.14	1.05
30-11-2015	260	15.5	0.07	0.95
05-12-2015	210	15.0	0.01	0.90
12-12-2015	235	16.0	0.16	1.06
21-12-2015	220	15.6	0.02	1.01

Windklimaat tussen T9 (21-08) en T10 (15-01)



Golfklimaat tussen T9 (21-08) en T10 (15-01)



C.10 T10-T11 (15-01-2016 tot 28-02-2016)Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 6.8 m/s. Dit is rond het gemiddelde van 6.3 m/s. Enkele perioden met harde wind vanuit ZW, maar niet bijzonder zwaar voor deze tijd van het jaar.

Waterstanden

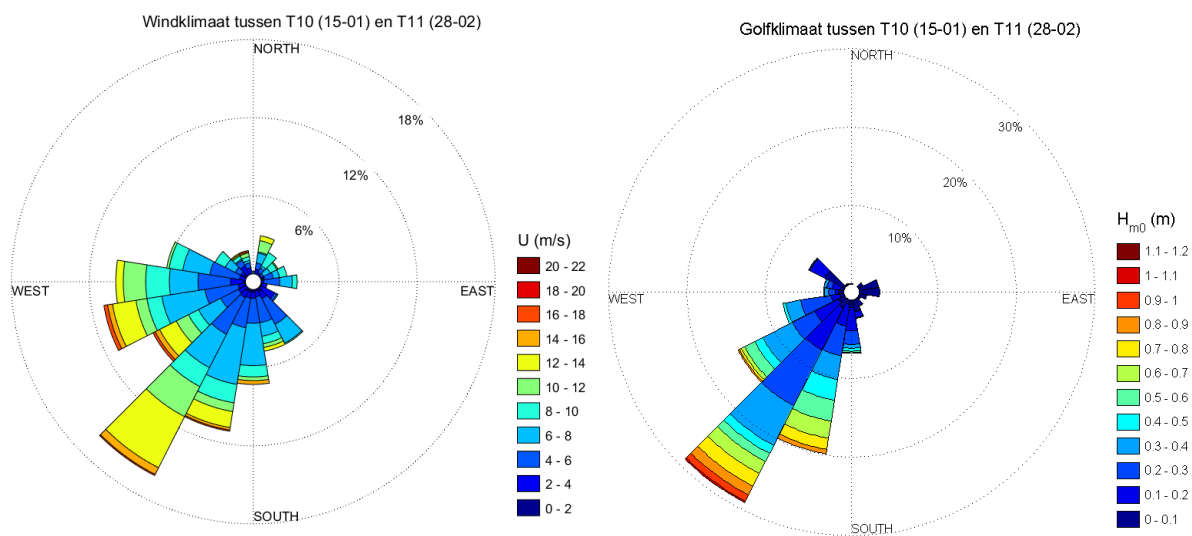
Gemiddelde waterstand NAP – 0.26 m.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.24 m. Maximale golfhoogte 1.02 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H_{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
01-02-2016	220	14.2	-0.05	0.84
07-02-2016	210	17.3	0.09	1.02
21-02-2016	235	14.8	0.01	0.88



C.11 T11-T12 (28-02-2016 tot 27-05-2016)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 6.0 m/s. Dit is iets lager dan het gemiddelde van 6.3 m/s.

Waterstanden

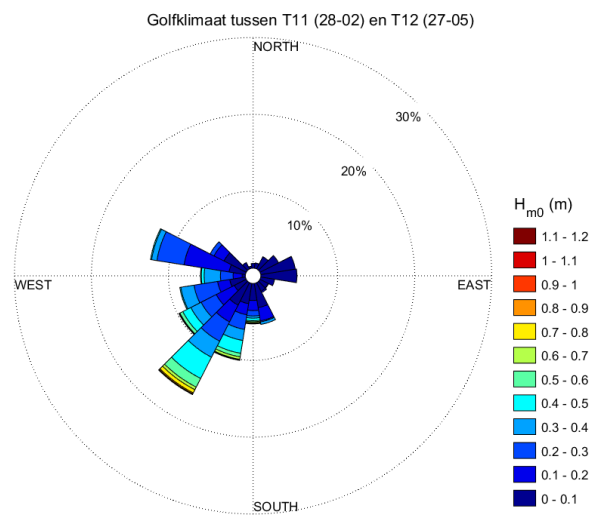
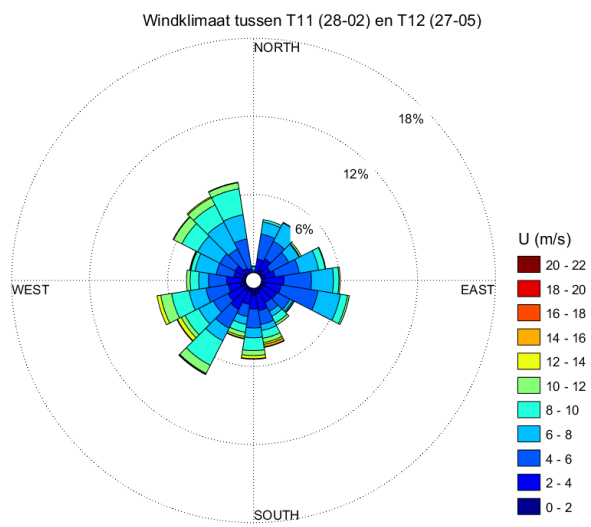
Gemiddelde waterstand NAP – 0.25 m.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.18 m. Maximale golfhoogte 0.94 m. Geen stormen in de periode tussen 28 februari en 27 mei 2016.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
28-03-2016	190	16.0	0.09	0.94
16-04-2016	210	13.0	0.02	0.94
26-04-2016	300	14.1	-0.18	0.50



C.12 T12-T13 (27-05-2016 tot 23-08-2016)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 5.8 m/s. Dit is lager dan het gemiddelde van 6.3 m/s. Dit komt doordat de periode tussen T12 en T13 in de zomerperiode valt wanneer het weer over het algemeen rustig is.

Waterstanden

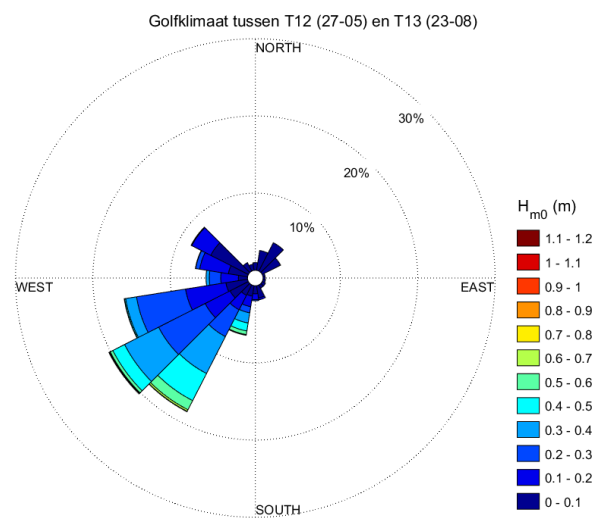
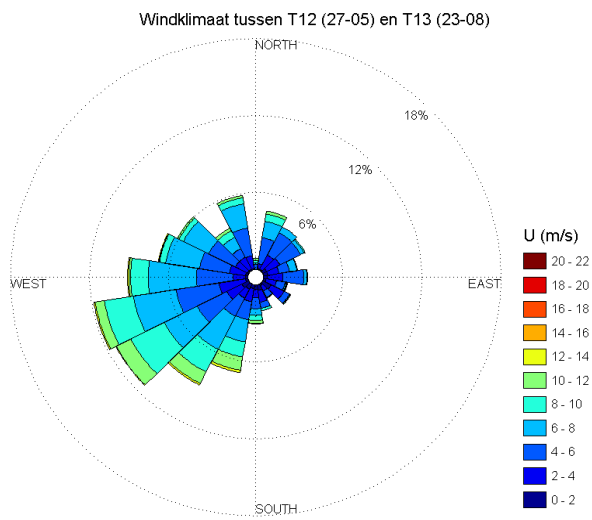
Gemiddelde waterstand NAP – 0.21 m. Dit komt vrijwel overeen met het zomerpeil van -0.20 m.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.19 m. Maximale golfhoogte 0.81 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
05-07-2016	270	13.1	-0.06	0.75
11-07-2016	227	13.4	0.02	0.81



C.13 T13-T14 (23-08-2016 tot 23-11-2016)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 5.4 m/s. Dit is lager dan het jaargemiddelde van 6.3 m/s. Hoewel er een zuidwesterstorm is opgetreden op 20 november met windsnelheden tot 18.8 m/s, is de rest van de periode relatief rustig verlopen. De gemiddelde windrichting was 171 graden.

Waterstanden

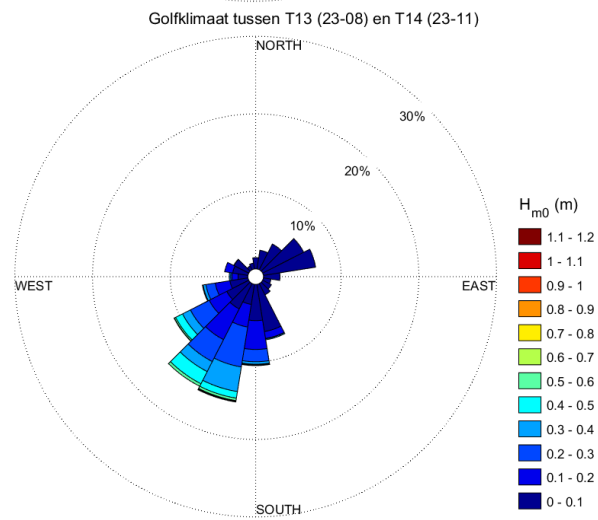
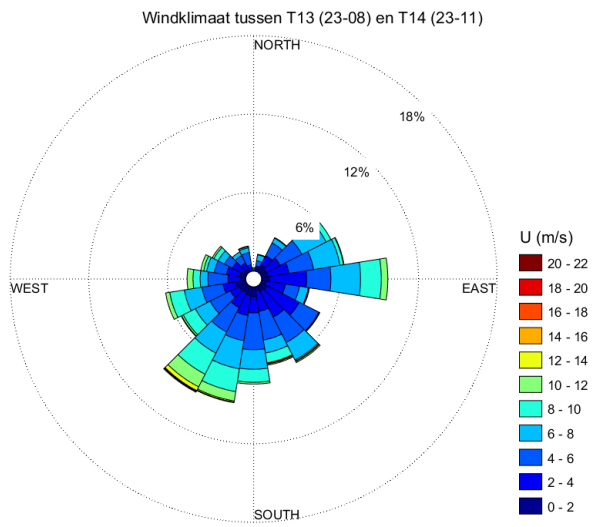
Gemiddelde waterstand NAP -0.33 m. Het winterpeil is correct gehandhaafd in deze periode.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.13 m. Maximale golfhoogte 1.07 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
28-08-2016	250	10.3	-0.14	0.62
29-09-2016	220	12.7	-0.17	0.59
20-11-2016	210	18.8	0.16	1.07



C.14 T14-T15 (23-11-2016 tot 06-03-2017)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 5.9 m/s. Dit is lager dan het jaargemiddelde van 6.3 m/s. In deze periode zijn verschillende events opgetreden. Hiervan was de storm van 23 februari 2017 het heftigst met windsnelheden tot 19.3 m/s. De gemiddelde windrichting was 192 graden.

Waterstanden

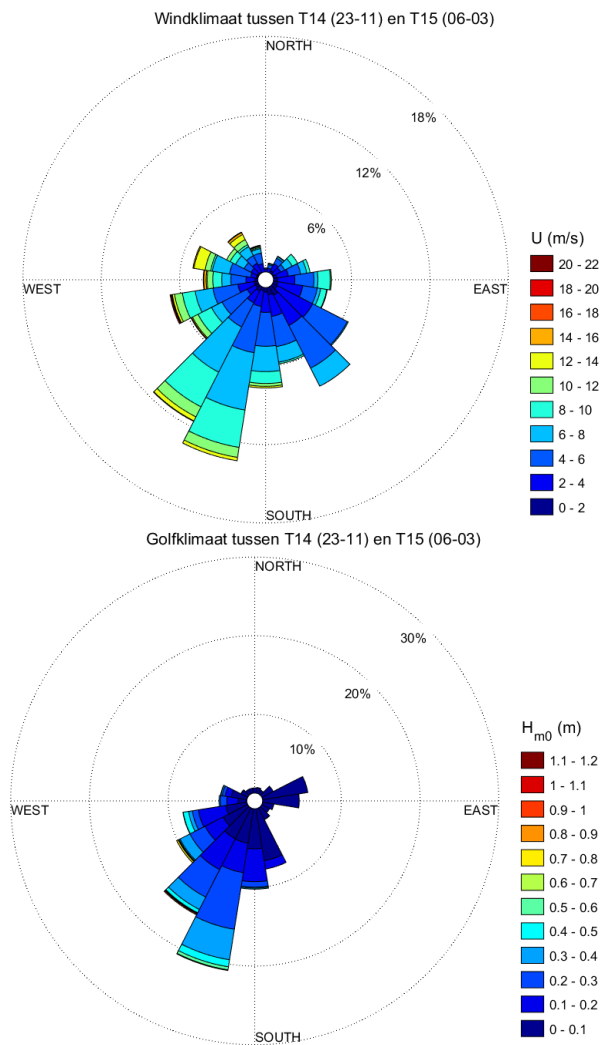
Gemiddelde waterstand NAP -0.39 m. Het winterpeil is correct gehandhaafd in deze periode.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.14 m. Maximale golfhoogte 0.99 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
23-12-2016	200	13.8	-0.21	0.63
18-01-2017	210	16.7	-0.37	0.03
23-02-2017	250	19.3	0.18	0.99
02-03-2017	260	16.0	-0.03	0.77



C.15 T15-T16 (06-03-2017 tot 17-05-2017)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 5.8 m/s. Dit is lager dan het jaargemiddelde van 6.3 m/s. Dit was een vrij rustige periode met weinig uitschieters in windsnelheid en golfhoogte. De gemiddelde windrichting was 204 graden.

Waterstanden

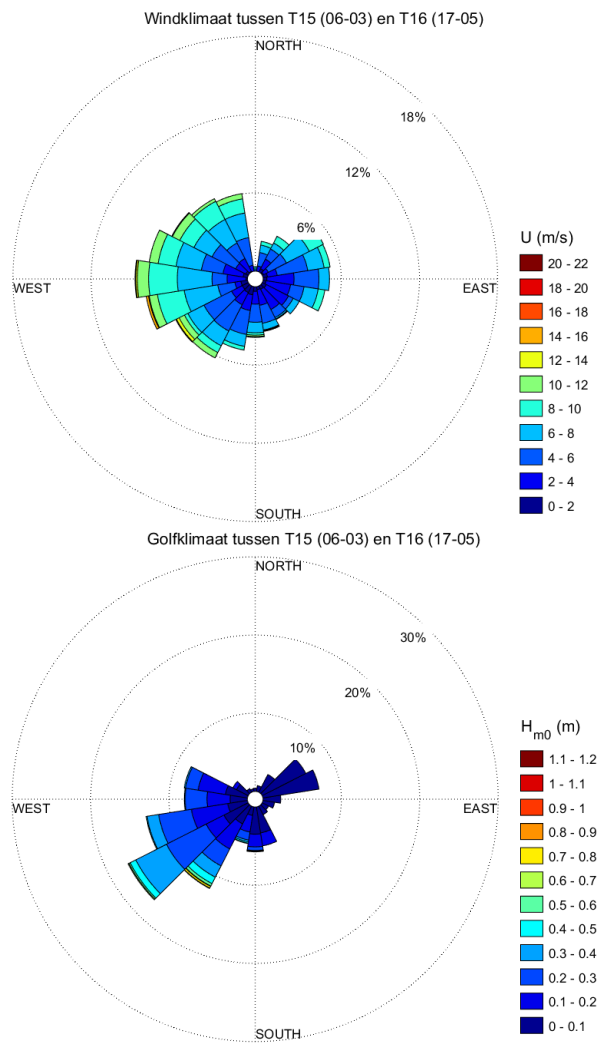
Gemiddelde waterstand NAP -0.26 m. Dit is de overgang van het winterpeil (-0.40 m) naar het zomerpeil (-0.20 m).

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.14 m. Maximale golfhoogte 0.86 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
18-03-2017	250	14.9	-0.10	0.73
20-03-2017	230	14.4	0.02	0.86



C.16 T16-T17 (17-05-2017 tot 01-09-2017)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 5.6 m/s. Dit is lager dan het jaargemiddelde. De gemiddelde windrichting was 207 graden.

Waterstanden

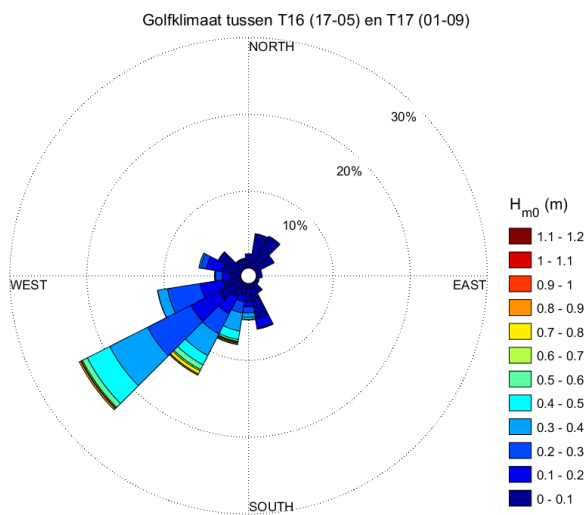
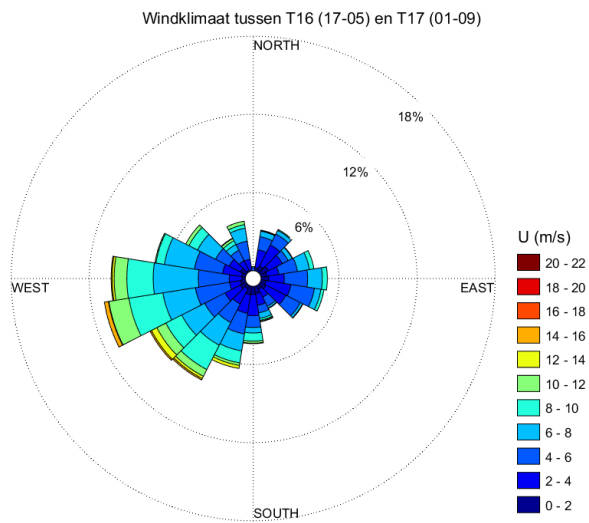
Gemiddelde waterstand NAP –0.21 m.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.18 m. Maximale golfhoogte 0.98 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
19-05-2017	205	12.8	-0.09	0.67
06-06-2017	216	15.4	0.14	0.98
03-08-2017	237	13.5	0.04	0.84



C.17 T17-T18 (01-09-2017 tot 19-10-2017)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 6.3 m/s. Dit is ook het jaargemiddelde. In deze periode zijn twee stormen opgetreden. Hiervan was de storm van 13 september 2017 het heftigst met een windsnelheid van 19.7 m/s. De gemiddelde windrichting was 208 graden.

Waterstanden

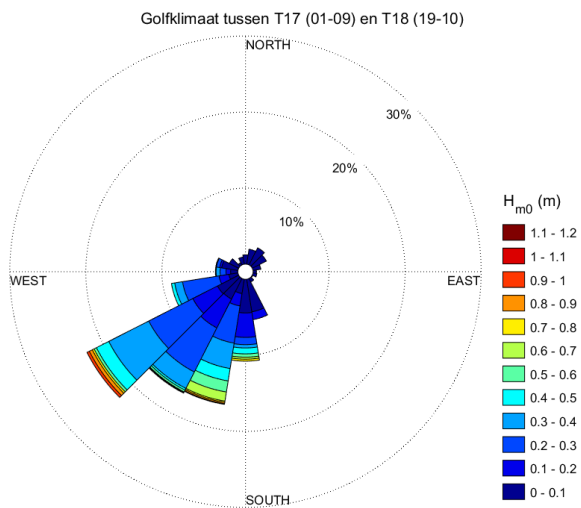
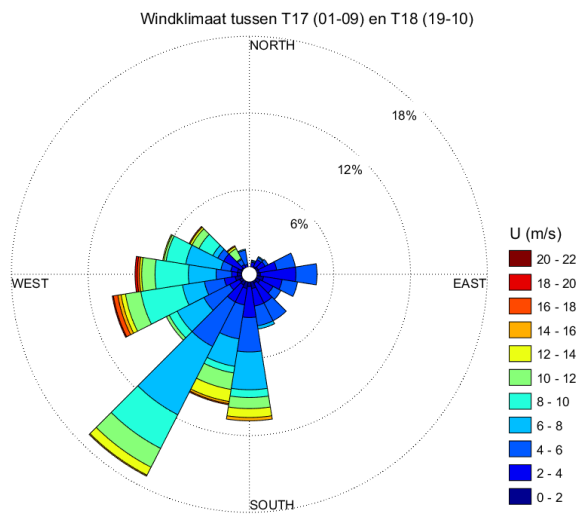
Gemiddelde waterstand NAP –0.23 m.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.21 m. Maximale golfhoogte 0.99 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
13-09-2017	263	19.7	0.34	0.99
05-10-2017	242	17.7	-0.17	0.88



C.18 T18-T19 (19-10-2017 tot 01-12-2017)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 6.8 m/s. Dit is hoger dan het jaargemiddelde van 6.3 m/s. De gemiddelde windrichting was 239 graden.

Waterstanden

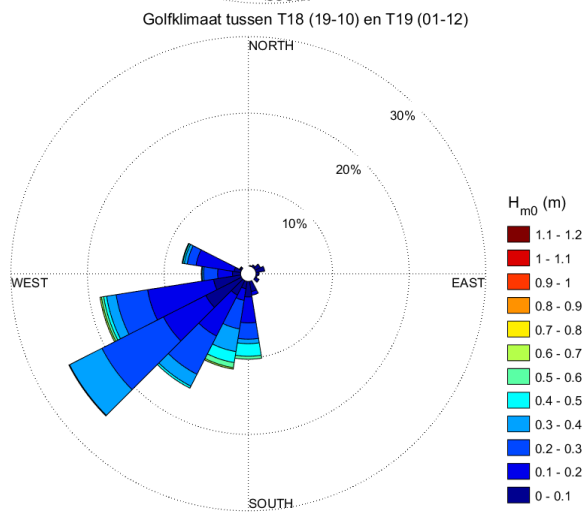
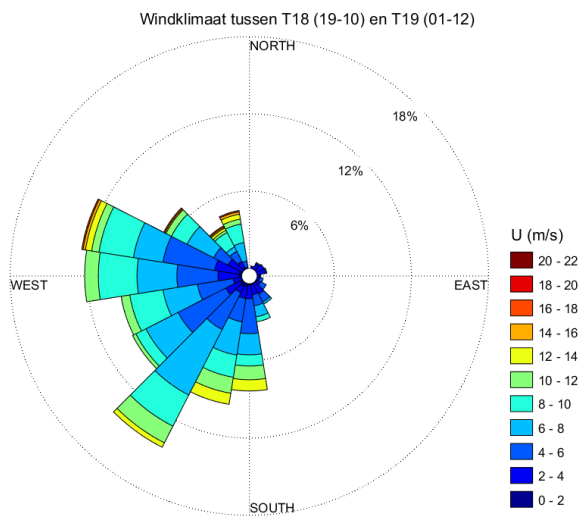
Gemiddelde waterstand NAP -0.37 m. Het winterpeil van -0.40 m is correct gehandhaafd.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.20 m. Maximale golfhoogte 0.65 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
29-10-2017	295	16.0	-0.22	0.65
27-11-2017	201	13.5	-0.21	0.63



C.19 T19-T20 (01-12-2017 tot 22-12-2017)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 6.3 m/s. Dit is ook het jaargemiddelde. De gemiddelde windrichting was 229 graden.

Waterstanden

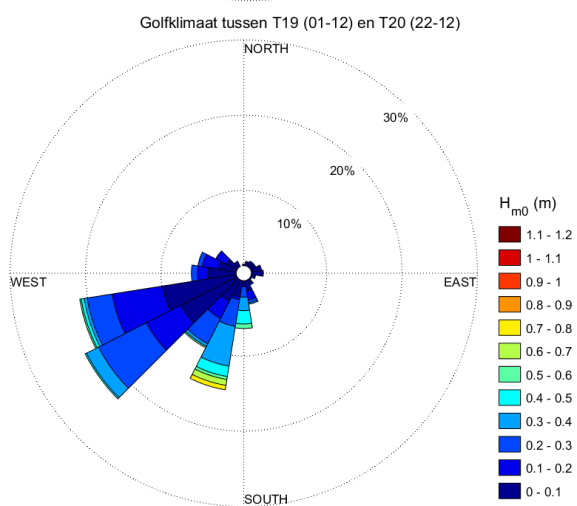
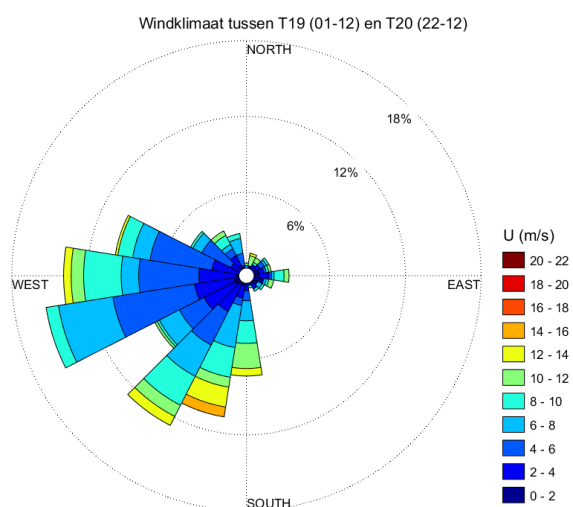
Gemiddelde waterstand NAP -0.11 m. Dit is ruim boven het winterpeil van -0.40 m.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.17 m. Maximale golfhoogte 0.74 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
07-12-2017	196	13.5	-0.11	0.74



C.20 T20-T21 (22-12-2017 tot 06-01-2018)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 8.4 m/s. Dit is veel hoger dan het jaargemiddelde van 6.3 m/s. In deze periode zijn twee events opgetreden, waaronder een storm op 3 januari 2018, met windsnelheden tot 20.1 m/s. De gemiddelde windrichting was 223 graden.

Waterstanden

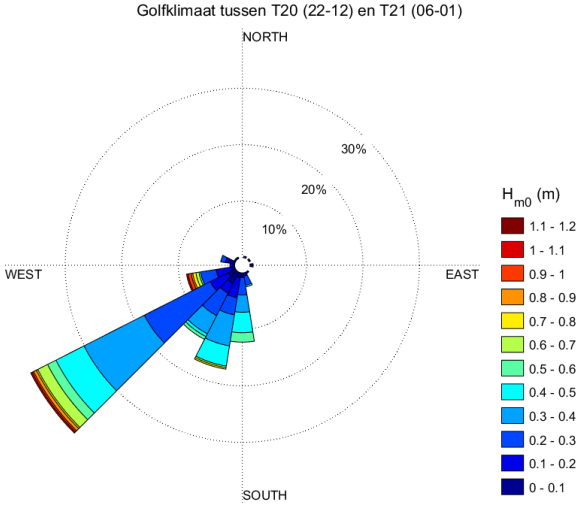
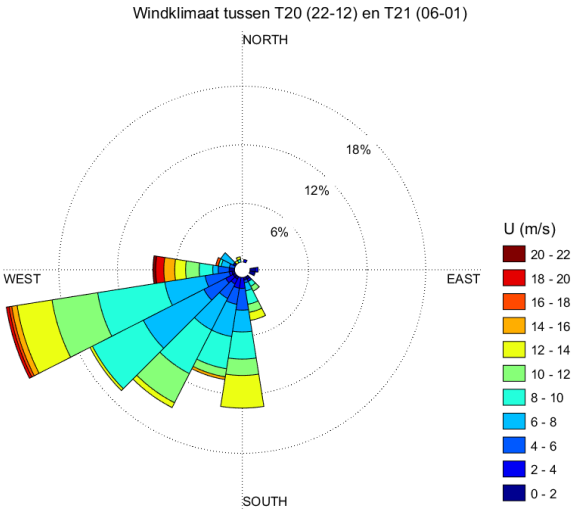
Gemiddelde waterstand NAP-0.07 m. Dit is ruim boven het winterpeil van NAP-0.40 m. De waterstand van NAP+0.43 m op 3 januari is de hoogste waterstand die opgetreden is gedurende de gehele meetperiode.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.31 m. Maximale golfhoogte 1.05 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
26-12-2017	240	12.9	0.03	0.75
03-01-2018	273	20.1	0.43	1.05



C.21 T21-T22 (06-01-2018 tot 20-02-2018)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 6.7 m/s. Dit is hoger dan het jaargemiddelde van 6.3 m/s. Op 18 januari 2018 is een storm gemeten, met windsnelheden tot 22.9 m/s. Dit is de hoogste windsnelheid die gemeten is gedurende de hele meetperiode. De gemiddelde windrichting in deze periode was 187 graden.

Waterstanden

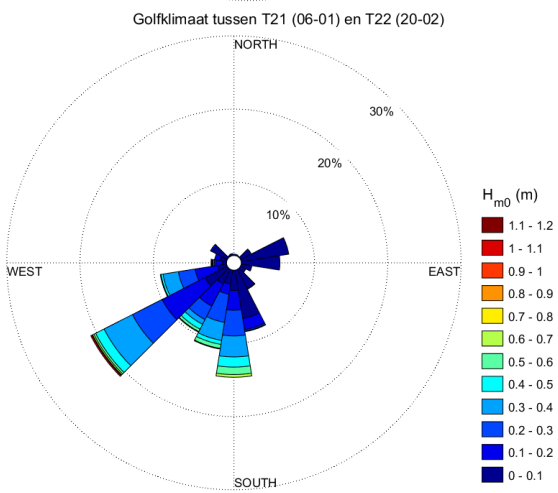
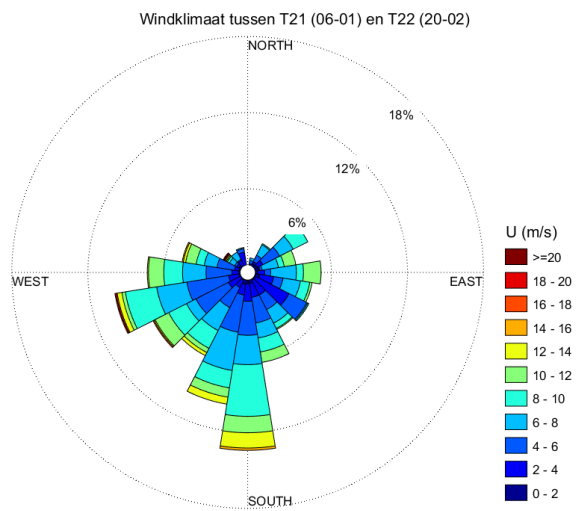
Gemiddelde waterstand NAP -0.16 m. Dit is ruim boven het winterpeil van NAP -0.40 m.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.17 m. Maximale golfhoogte 1.07 m.

Belangrijkste events

Datum	Windrichting	Max. windsnelheid	Max. waterstand	Max. H _{m0}
	gr. N.	m/s	m+NAP	m
18-01-2018	270	22.9	0.38	1.07
27-01-2018	210	12.7	0.01	0.64



C.22 T22-T23 (20-02-2018 tot 20-03-2018)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar.

Windklimaat

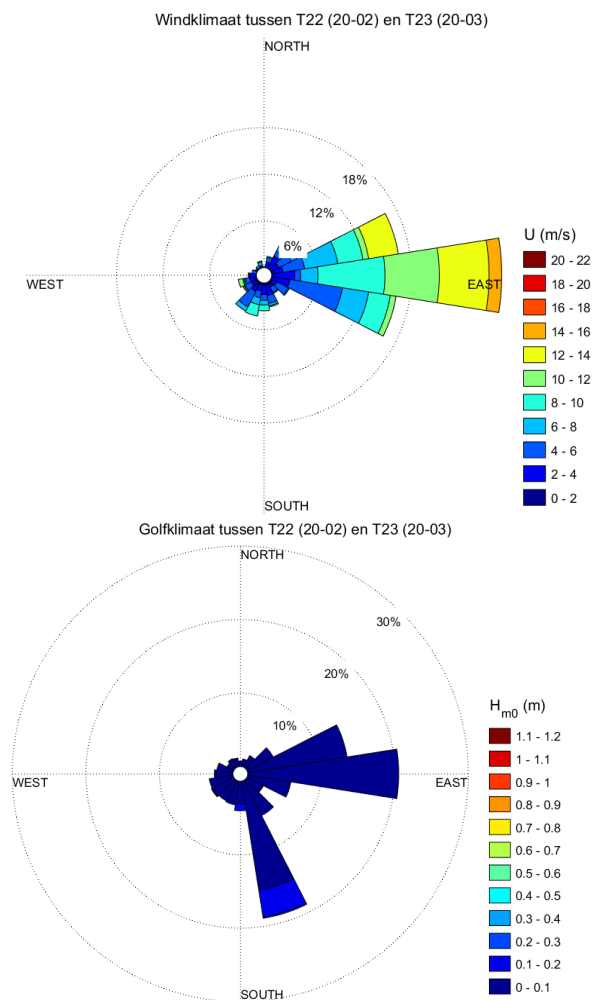
Gemiddelde windsnelheid 7.2 m/s. Dit is een stuk hoger dan het jaargemiddelde. Toch zijn in deze periode geen hoge golven of waterstanden gemeten. Dit komt vanwege ijsvorming door de strenge vorst en dominante wind uit het oosten in deze periode. De gemiddelde windrichting was 117 graden.

Waterstanden

Gemiddelde waterstand NAP -0.42 m. Het winterpeil is correct gehandhaafd in deze periode.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0.04 m. Maximale golfhoogte 0.20 m.

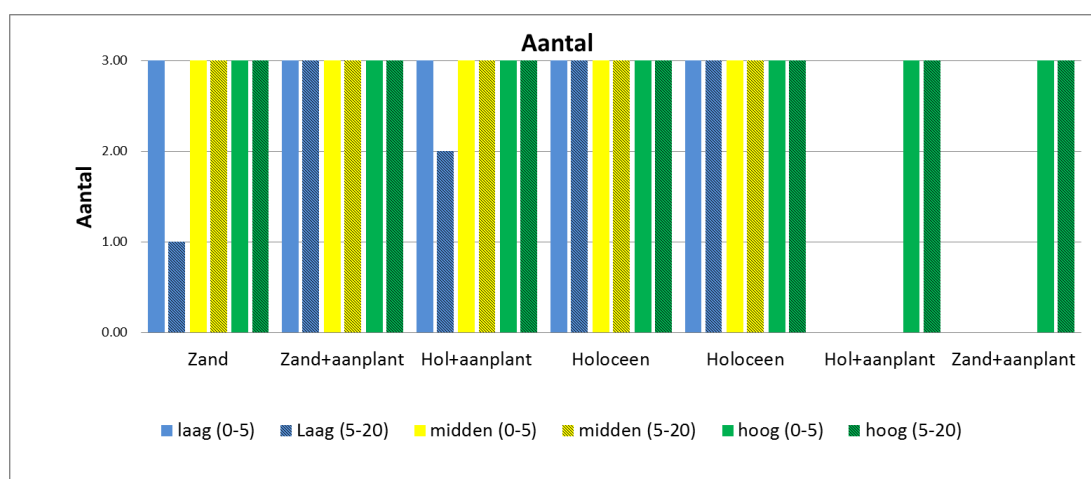


D Aanvullende resultaten bodemkarakteristieken 2015

(met tekstbijdragen van Gerard Jagers op Akkerhuis en Rein de Waal, Alterra)

D.1 Materiaal en methoden 2015

In dit hoofdstuk wordt een uitgebreide beschrijving gegeven van de resultaten van de bodemkarakteristieken in 2015. In totaal zijn 99 monsters onderzocht op de volgende variabelen: korrelgrootte verdeling (hier gepresenteerd als D10, D50 en D90), N-totaal, P-totaal, organische stof gehalte, vochtgehalte en pH. De korrelgrootte verdeling is volgens de zelfde methode uitgevoerd (zie hoofdstuk 4). De overige bodemvariabelen zijn geanalyseerd door het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB) volgens hun standaardmethoden.



Figuur D.1. Aantallen monsters per behandeling en locatie. Locaties van links naar rechts, wanneer bekeken vanaf het water (zie ook Figuur 5.6). 'Laag'=monsters langs de oeverlijn. 'Midden'=monsters in de rietzone. 'Hoog'=monsters in de struweelzone. Monsterdiepte is aangegeven als 0-5 cm en 5-20 cm. De monsterlocaties corresponderen van links naar rechts met de behandelingen zoals besproken in de tekst.

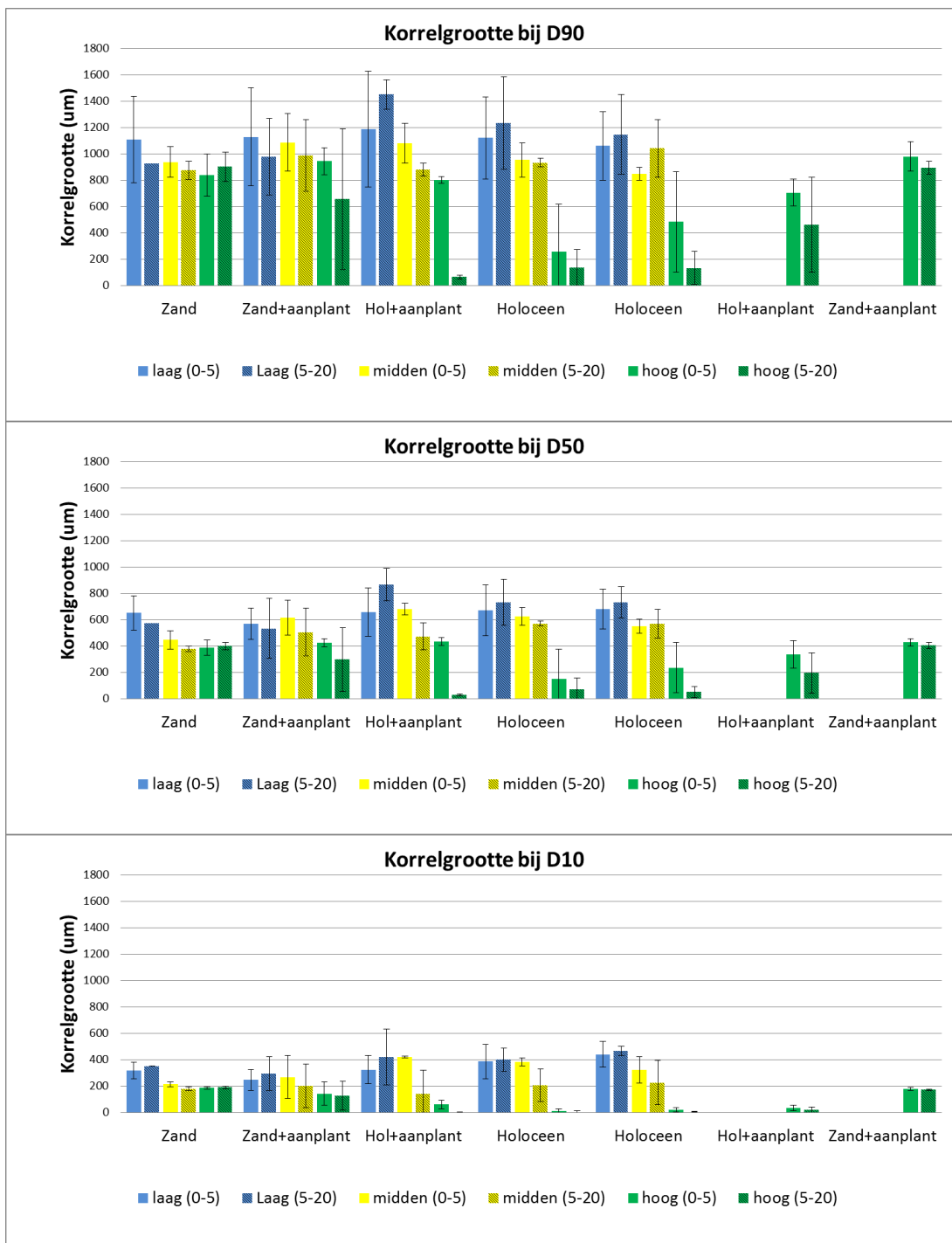
D.2 Detailresultaten bodemkarakteristieken 2015

D.2.1 Resultaten korrelgrootte

Zoals Figuur D2 laat zien, bevat het kleiige holocene materiaal dat is opgebracht in de vakken 3 t/m 6 veel fijnkorrelig materiaal. De hoger op het strand gelegen bodemmonsters van raai 3 hebben lage waarden van de D10, D50 en D90. In deze raai komt de korrelgrootte van alle monsters zelden boven de 400 µm. Ook laten de metingen in raai 3 een gradiënt zien waarbij tussen vak 3 en 7 de waarden van D10, D50 en D90 sterk oplopen.

Het is verder opvallend dat de bodemmonsters van de raaien 1 en 2 in de deelvakken 3 t/m 5 juist wél relatief grof zand bevatten. Als wordt gekeken naar de D10 en D50, is het zand in deelvak 3, 4 en 5 (met holocene klei bijgemengd) gemiddeld zelfs iets grover dan het zand in de deelvakken 1 en 2 (aangelegd met alleen zand).

De metingen laten ook zien dat de monsters langs de oeverlijn (raai 1) een groter aandeel grofkorrelig materiaal bevatten dan de monsters van raai 2 en 3 hoger op het strand.

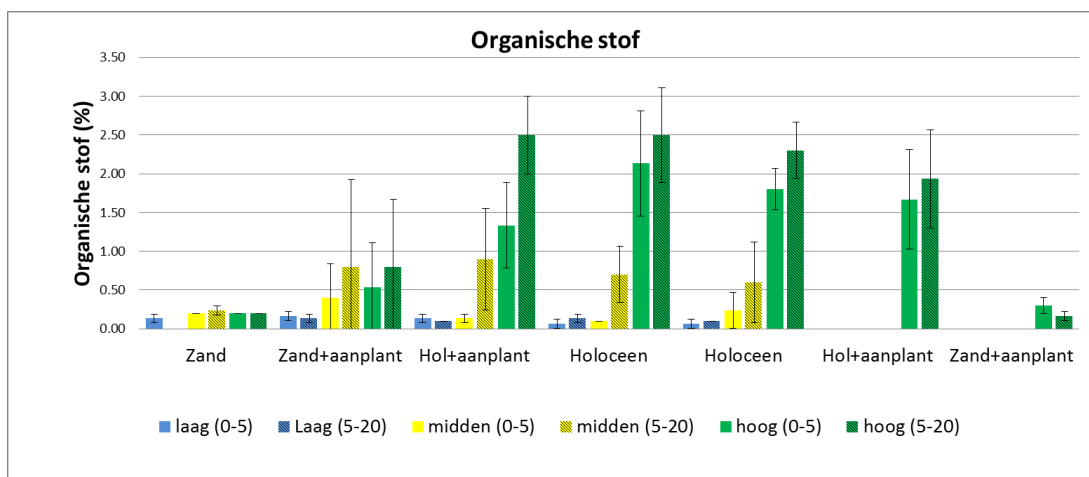


Figuur D.2 Korrelgrootteverdeling van de bodem. De D10, D50 en D90 zijn weergegeven in volgorde van toenemende korrelgrootte (van beneden naar boven). Deelvak 1 t/m 7 zijn weergegeven van links naar rechts. 'Laag', 'midden' en 'hoog' verwijzen naar de drie hoogteliggingen op de pilot, en de aanduiding (0-5) en (5-20) verwijst naar de monsterdiepte. Kolommen geven het gemiddelde en standaardafwijking.

D.2.2 Resultaten organische stof

De metingen van het gehalte aan organische stof vertonen verschillende trends (Figuur D3):

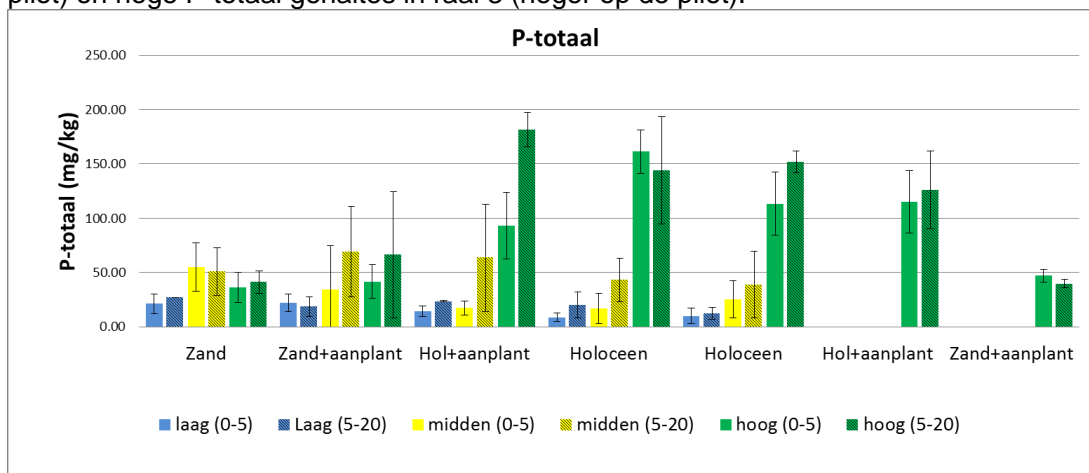
1. Het organische stof gehalte is laag langs de oeverlijn (raai 1), en neemt toe hoger op de pilot (raai 2 en 3).
2. In bijna alle deelvakken is het gehalte aan organische stof laag in de oppervlakte monsters, en hoger in de diepere bodemlaag.
3. Het organische stof gehalte in deelvak 2 is iets hoger dan in deelvak 1.



Figuur D.3 Organische stofgehalte van de bodem. Deelvak 1 t/m 7 zijn weergegeven van links naar rechts. 'Laag', 'midden' en 'hoog' verwijzen naar de drie hoogteliggingen op de pilot, en de aanduiding (0-5) en (5-20) verwijst naar de monsterdiepte. Kolommen geven het gemiddelde en standaardafwijking.

D.2.3 Resultaten P-totaal gehalte

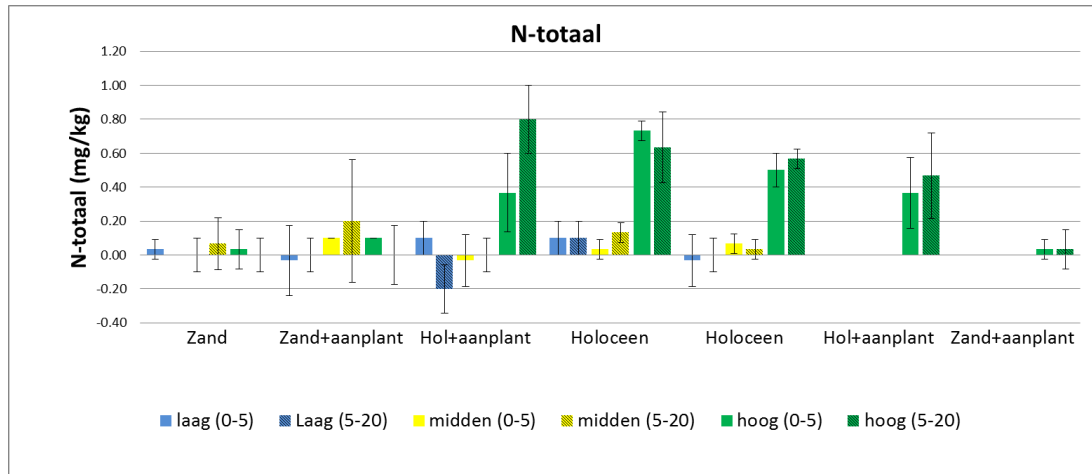
Het P-totaal gehalte in raai 1 (de oeverlijn) is in alle deelvakken (1 t/m 5) het laagst (Figuur D.4). Vaak zijn daarbij de gehalten in de ondergrond gemiddeld iets hoger dan in de bovengrond. In de deelvakken 1 en 2, de vakken met alleen zand, is er geen duidelijk verschil tussen het P-totaal van raai 2 en raai 3. In de deelvakken met holocene klei bijgemengd, is juist wel een duidelijk verschil te zien tussen lage P-totaal gehalten in raai 2 (midden op de pilot) en hoge P-totaal gehalten in raai 3 (hoger op de pilot).



Figuur D.4 P-totaal gehalte van de bodem. Deelvak 1 t/m 7 zijn weergegeven van links naar rechts. 'Laag', 'midden' en 'hoog' verwijzen naar de drie hoogteliggingen op de pilot, en de aanduiding (0-5) en (5-20) verwijst naar de monsterdiepte. Kolommen geven het gemiddelde en standaardafwijking.

D.2.4 Resultaten stikstofgehalte (N-totaal)

Het stikstofgehalte is over het algemeen onder de 0.1 mg/kg (Figuur D.5). Hoge waarden werden gemeten bij de hoger op de pilot gelegen monsters (raai 3) van de deelvakken met holocene klei.

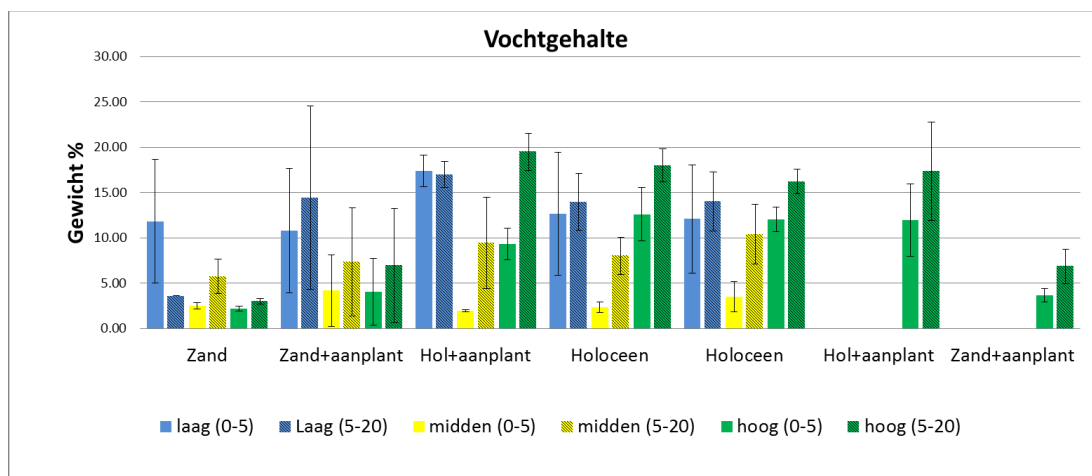


Figuur D.5 Stikstofgehalte van de bodem. Deelvak 1 t/m 7 zijn weergegeven van links naar rechts. 'Laag', 'midden' en 'hoog' verwijzen naar de drie hoogteliggingen op de pilot, en de aanduiding (0-5) en (5-20) verwijst naar de monsterdiepte. Kolommen geven het gemiddelde en standaardafwijking.

D.2.5 Resultaten vochtgehalte

Van de monsters van locaties langs de oeverlijn (raai 1) is een groot aantal aangemerkt als 'waterbodem'. Deze monsters bevatten in alle gevallen veel vocht. Ook de monsters van raai 3 (hoger op de pilot) in de deelvakken met holocene klei bevatten veel vocht (deelvak 3 t/m 6). De monsters van raai 3 in deelvak 2 (zand met aanplant) nemen een tussenpositie in (Figuur D.6).

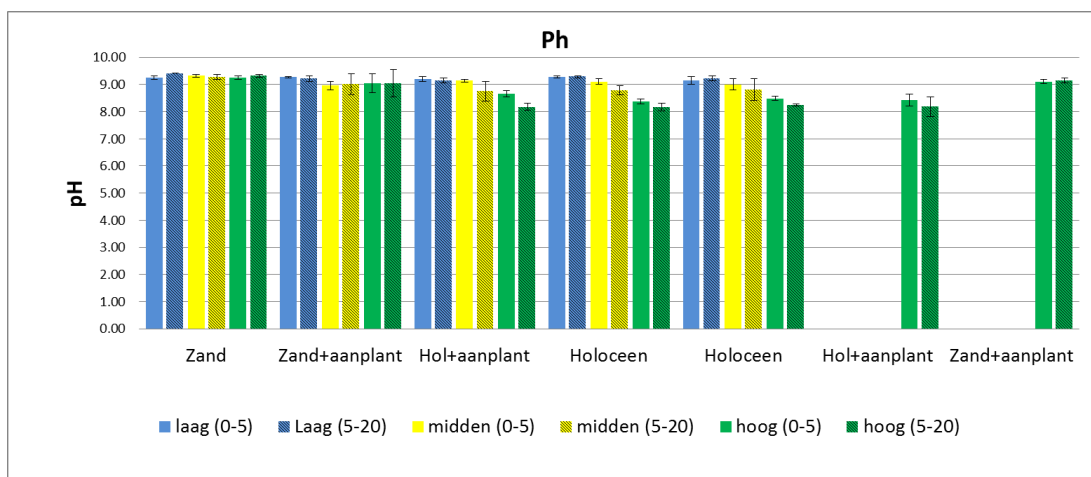
Verder is er een algemene tendens dat het vochtgehalte van de bodemmonsters toeneemt van raai 2 naar raai 3, waarbij oppervlakkige monsters minder vocht bevatten dan de diepe monsters.



Figuur D.6 Vochtgehalte van de bodem. Deelvak 1 t/m 7 zijn weergegeven van links naar rechts. 'Laag', 'midden' en 'hoog' verwijzen naar de drie hoogteliggingen op de pilot, en de aanduiding (0-5) en (5-20) verwijst naar de monsterdiepte. Kolommen geven het gemiddelde en standaardafwijking.

D.2.6 Resultaten zuurgraad (pH)

De pH waarden van alle monsters zijn in het algemeen zeer hoog (Figuur D.7). pH Waarden tussen 8 en 9 zijn een indicatie van een sterk basisch milieu. De monsters van de deelvakken met holocene klei vertonen twee trends: 1) hoger op het strand wordt de grond zuurder, en 2) dieper in de grond is de bodem iets zuurder dan aan het oppervlak. Bij de monsters van de deelvakken met alleen zand (proefvak 1, 2 en 7) is geen sprake van deze trends.



Figuur D.7 Zuurgraad van de bodem. Deelvak 1 t/m 7 zijn weergegeven van links naar rechts. 'Laag', 'midden' en 'hoog' verwijzen naar de drie hoogteliggingen op de pilot, en de aanduiding (0-5) en (5-20) verwijst naar de monsterdiepte. Kolommen geven het gemiddelde en standaardafwijking.

E Aanvullingen theoretisch kader vegetatieontwikkeling

Deze bijlage geeft aanvullende overwegingen en een theoretisch kader voor vegetatieontwikkeling en is geschreven in het najaar van 2014 ter ondersteuning van de te maken keuzes in de aanplant-strategie.

E.1 Standplaatsfactoren als conceptueel denkmodel

Met “standplaatsfactoren” wordt in de ecologie bedoeld de eisen die een plantensoort stelt aan de omgeving waar deze groeit. Belangrijke standplaatsfactoren zijn type bodem (bijv. zand, klei), grondwaterstand (nat of droog) en grondwaterkwaliteit (bijv. pH, voedingsstoffen, zout). Voor aquatische vegetatie zijn belangrijke standplaatsfactoren de waterkwaliteit, de diepte waarop de plant wortelt, en de mate van hydrodynamiek (door stroming, getij, wind).

Kennis van standplaatsfactoren van individuele soorten wordt vaak gebruikt om aan de hand van aanwezige planten de standplaats te beschrijven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van indicatiewaarden: het voorkomen van een bepaalde soort geeft informatie over bijvoorbeeld de grondwaterstand of pH van die plek. Hiervoor zijn veel verschillende kennissystemen ontwikkeld, bijvoorbeeld indicatiewaarden van Ellenberg, zie voor meer informatie de website van OB+N (www.natuurkennis.nl).

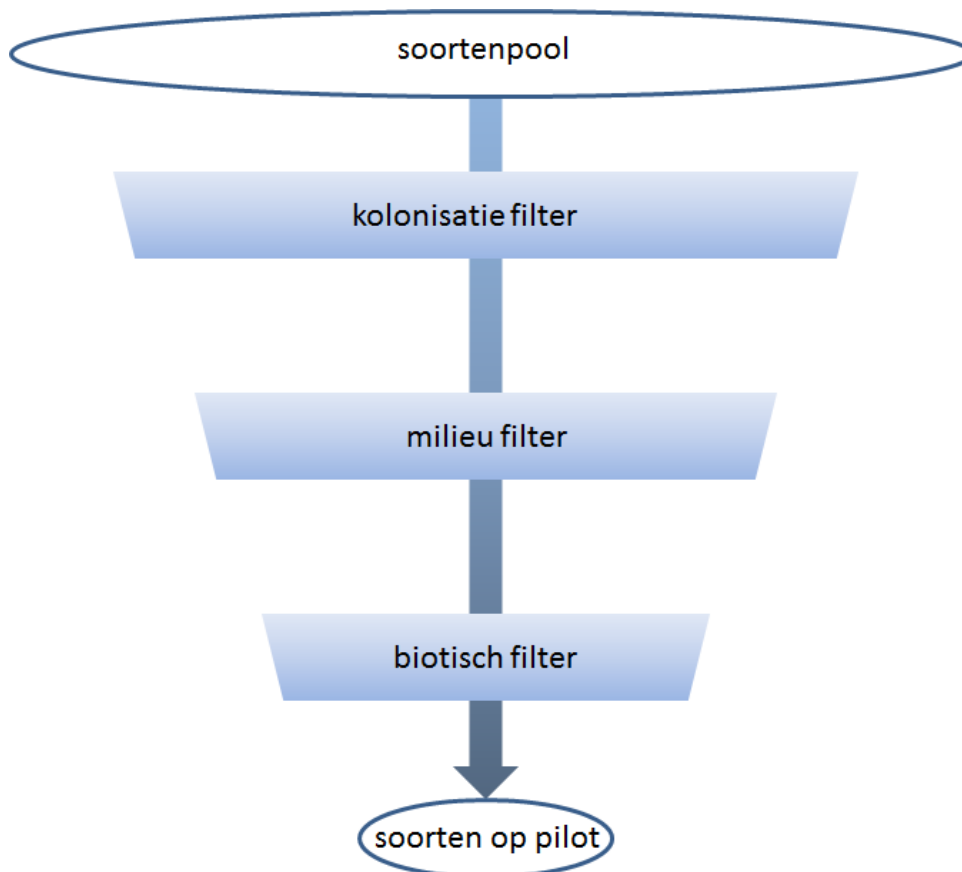
In deze pilot is de kennis over standplaatsfactoren vanuit de andere aanvliegroute gebruikt. Met een wensbeeld van welke soorten op de pilot moeten gaan groeien, is gekeken naar welke standplaats daarvoor gecreëerd moet worden. Om de keuzes te onderbouwen is in april 2014 een workshop gehouden met een aantal Nederlandse experts.

De standplaats is dus een essentiële factor die bepaalt of een soort ergens voor kan komen. Maar voor de succesvolle vestiging van een soort zijn er nog twee factoren van belang. De drie factoren werken als het ware als drie opeenvolgende filters die gepasseerd moeten worden: het kolonisatiefilter, het milieufilter en het biotisch filter (Figuur E.1).

- Vanuit een regionale soortenpool (in deze studie het IJsselmeergebied) moet een soort een gebied (de pilot Houtribdijk) eerst kunnen bereiken. Dispersie eigenschappen van een soort zijn hiervoor bepalend, en de afstand die overbrugd moet worden.
- Het tweede filter is het milieufilter, is het lokale milieu (standplaatscondities) geschikt voor de plantensoort? Bodemtype en hydrodynamiek zijn hier belangrijke variabelen. In dit filter wordt de aanwezige standplaats (milieu) gekoppeld met de vereisten en voorkeuren van een soort.
- Het derde filter beschrijft de biotische interacties, is er competitie om licht of voedingsstoffen met andere plantensoorten, is er graas door herbivoren (bijvoorbeeld ganzen).

In de opeenvolgende filters worden steeds de functionele eigenschappen van een soort gekoppeld aan een locatie (gedefinieerd als habitat of standplaats). Dit standplaats-filter model is gebaseerd op het habitat template model van Southwood (1988). In de ecologie worden dit type eigenschappen “response traits” genoemd. Een soort heeft ook een effect op zijn omgeving, in de ecologie wordt dat beschreven met “effect traits”. Relevante voorbeelden zijn het vasthouden van sediment door plantenwortels, het dempen van golven, en het zuiveren van water. Deze nuttige effecten worden gewoonlijk als ecosysteemdiensten (“ecosystem services”) beschreven.

Voor de pilot Houtribdijk is het standplaats-filter model in omgekeerde volgorde doorlopen (van onder naar boven). De plantenkeuze is gericht geweest op soorten die een nuttig effect hebben (paragraaf E2). Van deze soorten zijn de optimale standplaatscondities bekend (paragraaf E.3). In het ontwerp van de pilot zijn die standplaatscondities zo goed mogelijk gerealiseerd (gewenste standplaatsen E4). De gevolgde aanpak moet leiden tot een gewenst eindbeeld (paragraaf E5).



Figuur E1 Standplaats-filter model als conceptueel denkmodel voor succesvolle vestiging van soorten.

E.2 Wensbeeld vegetatie

Voorafgaand aan de aanleg van de proefsectie is in april 2014 een workshop met experts georganiseerd om de mogelijkheden voor vegetatie te bespreken. In deze workshop is een wensbeeld van de vegetatie vastgesteld, welke standplaatsfactoren daar bij horen, en op welke manier de proefsectie aangelegd zou kunnen worden om het wensbeeld te realiseren. De keuze voor de soorten is bepaald door twee sporen: 1) passend op de locatie; 2) verwachte ecohydraulische bijdrage aan golfremming en erosiebestendigheid. In het wensbeeld worden verschillende vegetatietypen beschreven voor verschillende zones: de oeverlijn, het lage deel van het talud, en het hogere deel van het talud.

Oeverlijn (-0,4 m tot -0,2 m NAP):

Wensbeeld: vegetatie die water in loopt (Riet).

Hypothese: deze vegetatie kan zich niet ontwikkelen zonder rijsmat vanwege tegennatuurlijk peil met hoge golfdynamiek.

Maatregel: zodra talud geplaatst is wordt 1 grote rijsmat (16 m x 100 m) geplaatst met rietstekken van ca 40 cm hoogte. De rijsmat komt half in het water, half op zand, op grens van vak 3 en vak 4. Vergelijking met: vak 1 + 2 zonder rijsmat is mogelijk.

Lage deel talud (-0,2 m tot + 0,4 m NAP)

Wensbeeld: Riet met Kleine lisdodde en Rietgras

Hypothese: inplanten is nodig voor snelle ontwikkeling biomassa

Maatregel: inplanten in voorjaar 2015

Vergelijken met: kale stroken, en vergelijk tussen zand en zand + holoceen gemengd

Exclosures om graas op land buiten te sluiten

Hoge deel talud (> 0,4 m NAP)

Wensbeeld: gemengd struweel, Wilgen met Rode kornoelje, Sleedoorn, Duindoorn, Vlier.

Hypothese: inplanten is nodig voor snelle ontwikkeling biomassa

Maatregel: inplanten in voorjaar 2015

Vergelijken: kale stroken, en vergelijk tussen zand en zand + holoceen gemengd

Exclosures om graas op land buiten te sluiten

E.3 Beschrijving standplaatsen gewenste vegetatie

E.3.1 Algemene groeiomstandigheden Riet

Riet (*Phragmites australis*) is een meerjarige grassoort die gekenmerkt wordt door forse bovengrondse stengels (tot > 3 m) en een uitgebreid ondergronds stelsel van wortelstokken (rhizomen). De bovengrondse delen sterven in het najaar af en worden in het voorjaar opnieuw gevormd. Riet kan kiemen uit zaad, of in het voorjaar weer spruiten uit aanwezige ondergrondse wortelstokken. Riet komt in Nederland zeer algemeen voor in de oeverzone van voedselrijk water zoals sloten, moerassen, laagveen, ondiepe meren en op kwelders. Riet gedijt optimaal in oeverzones van water dat voedselrijk maar niet extreem voedselrijk is, een diepte heeft van 0 tot ca. 1 meter met een zekere mate van peilfluctuatie of golfslag, maar zonder extreme golfbeweging. Riet kan op de meest uiteenlopende bodems groeien, van vrijwel puur zand (duinvalleien) tot bijna 100% organisch (veenmosrietland) of zware klei, zolang het niet te droog is. Begrazing door ganzen en zwanen is met name voor jonge kiemplanten en de wortelstokken in onderwaterbodems (tot 0.5 m diep) een belangrijke schadepost.

E.3.2 Algemene groeicondities Kleine lisdodde

De Kleine lisdodde (*Typha angustifolia*) is een algemeen voorkomende meerjarige plant die langs oevers, op drijftillen en in rietlanden in voedselrijke zoete wateren voorkomt (Soortenbank). De Kleine lisdodde heeft een voorkeur voor zandige grond, maar is verder weinig kritisch wat betreft bodemtype zolang de grond vochtig is. De Kleine lisdodde kan tot een waterdiepte van ca. 50 cm groeien, en groeit dus minder diep dan Riet. De plant kan zich onder gunstige omstandigheden door middel van zijn wortelstokken snel verspreiden. De plant kan tot 2 m hoog groeien. Begrazing door ganzen kan vooral voor jonge spruiten een belangrijke schadepost zijn. In de winter blijft het wortelstelsel in stand. De invloed van golfslag op groei van Kleine lisdodde is niet goed bekend. Het is in het algemeen een plant van stilstaand of langzaam stromend water.

E.3.3 Algemene groeicondities Rietgras

Rietgras (*Phalaris arundinacea*) is een meerjarige plant behorend tot de grassenfamilie, die in vegetatieve toestand op riet lijkt. De plant komt voor op vochtige tot natte, voedselrijke grond aan waterkanten en moerasbossen. De plant wordt 0,5-2 m lang met rechtopstaande stengels en dikke kruipende wortelstokken. Hij komt vaak voor op plekken met een sterk wisselende waterstand. (www.wilde-planten.nl).

E.3.4 Algemene groeicondities Wilg

Wilgen zijn pioniersoorten die zich snel en goed vanuit zaad ontwikkelen op een vochtige bodem met enige voedingswaarde. Er komen in Nederland verschillende wilgensoorten voor, die in vier ecologische groepen te verdelen zijn (info T. Vulink).

1. Smalbladige boomvormige wilgen willen een voedselrijke standplaats met slibaanvoer, een (zeer) hoge waterstand (tot ruim boven maaiveld) van maart tot ruwweg eind juni en diep uitzakkend grondwater in de zomer en de herfst. Soorten *Salix alba* en *S. fragilis*.
2. Smalbladige struikvormige wilgen horen bij dezelfde slibrijke dynamische habitats als de smalbladige boomvormers. Soorten *S. triandra*, *S. viminalis* en *S. purpurea*.
3. Breedbladige wilgen horen thuis in voedselarmere en / of permanentere natte bodems dan de smalbladige wilgen. Het zijn allemaal struikvormers, want hun te natte en te voedselarme habitat laat geen stevige beworteling toe. Als boom zouden ze omwaaien. Zandige oevers in het IJsselmeergebied (= met een vast buitenwater- en grondwaterpeil) zijn een optimaal habitat voor deze soorten, maar klei met een permanente waterverzadiging biedt ook een goede standplaats. Soorten *S. cinerea* en hybriden van *S. cinerea x aurita*.
4. De Boswilg is een breedbladige soort. De soort hoort als pionier thuis in goed ontwaterd bos dus aan bosranden, in heggen en op kapvlakten. De boom is het meest op pleistocene zandgronden aan te treffen. Soort *S. caprea*.

Voor de pilot is gekozen voor een gemengd struweel bestaande uit Schietwilg (*Salix alba*), Grijs wilg (*S. eleagnos*), Boswilg (*S. caprea*), Sleedoorn (*Prunus spinosa*), Rode kornoelje (*Cornus sanguinea*), Duindoorn (*Hippophae rhamnoides*) en Gewone vlier (*Sambucus nigra*)

E.4 Gewenste standplaatsen

In het wensbeeld voor de pilot is omschreven welke type vegetatie aangeplant zal worden. Uit de combinatie van soorten met de vereiste standplaatsen, volgt een beeld van de gewenste standplaatsen. Dit is hieronder in Tabel E.1 t/m E.4 beschreven voor achtereenvolgens Riet, Kleine lisdodde, Rietgras en wilgenstruweel.

Tabel E.1 Vertalen in gewenste standplaatsfactoren Riet

Factor	Gewenst	Aanpak in pilot
waterdiepte	oeverzone tot 1 m. diep	aanplant langs oeverlijn en in lage deel talud (tot 0.4 m NAP)
bodemtype	weinig kritisch als er voldoende voedsel uit water verkregen kan worden	vergelijken kaal zand met bijgemengd holoceen
hydrodynamiek	een beetje golfslag, maar niet teveel	creëren luwte is essentieel, met name tijdens vestigingsfase; daarom wiep aanleggen; de rijsmat heeft dezelfde functie
voedsel	matig voedselrijk, weinig kritisch	geen aanvullende bemesting nodig
grondwaterstand	vochtig	extra besproeien na aanplant; peilbuizen plaatsen om grondwaterstand te monitoren
graas	geen graas	tegengaan begrazing ganzen door plaatsen exclosures

Tabel E.2 Vertalen in gewenste standplaatsfactoren Kleine lisdodde

Factor	Gewenst	Aanpak in pilot
waterdiepte	oeverzone tot 0.5 m diep	aanplant in lage deel talud (-0.2 m – 0.4 m NAP)
bodemtype	weinig kritisch zolang bodem vochtig is	vergelijken kaal zand met bijgemengd holoceen
hydrodynamiek	weinig	niet langs oeverlijn aanplanten
voedsel	matig voedselrijk	geen aanvullende bemesting nodig
grondwaterstand	vochtig	extra besproeien na aanplant; peilbuizen plaatsen om grondwaterstand te monitoren
graas	geen graas	tegengaan begrazing ganzen door plaatsen exclosures

Tabel E.3 Vertalen in gewenste standplaatsfactoren Rietgras

Factor	Gewenst	Aanpak in pilot
waterdiepte	oeverzone	aanplant in lage deel talud (-0.2 m – 0.4 m NAP)
bodemtype		
hydrodynamiek		
voedsel		
grondwaterstand	vochtig tot nat	extra besproeien na aanplant; peilbuizen plaatsen om grondwaterstand te monitoren
graas	niet goed bekend	tegengaan begrazing ganzen door plaatsen exclosures

Tabel E.4 Vertalen in gewenste standplaatsfactoren wilgenstruweel

Factor	Gewenst	Aanpak in pilot
waterdiepte	n.v.t.	aanplant in hogere deel talud (> 0.4 m NAP)
bodemtype	varieert	
hydrodynamiek	n.v.t.	
voedsel	matig voedselrijk	kaal zand heeft te weinig voedingsstoffen, daarom bijmengen met holoceen
grondwaterstand	vochtig tot periodiek boven maaiveld	extra besproeien na aanplant; peilbuizen plaatsen om grondwaterstand te monitoren
graas	niet door ganzen	n.v.t.

E.5 Verwachte eindbeeld vegetatie

Het verwachte eindbeeld van de vegetatie is in 2014 gebaseerd op ervaringen elders in Nederland. Dit valt in twee delen uiteen, hoe ziet het eruit (hoogte riet, breedte rietkraag), en hoe snel wordt dat eindbeeld bereikt. De focus in deze paragraaf ligt op de rietzone.

E.5.1 Natuurlijke rietzones

Een natuurlijke rietzone is een kenmerkend onderdeel van oeverzones en moerasgebieden. In de 20^e eeuw zijn rietgordels door verschillende oorzaken sterk achteruit gegaan (eutrofiëring, peilbeheer). Deze achteruitgang heeft veel wetenschappelijke aandacht gegenereerd in Nederland, en er is inmiddels behoorlijk veel bekend over de oorzaken van achteruitgang, en aanbevelingen om de teruggang te keren (bijv. Graveland & Coops, 1997; Graveland, 1999; Bakker, 2010; Coops, 2014). Uit deze studies zijn de kenmerken verzameld van rietstengels in een natuurlijke vitale rietzone (Tabel 4.5).

In Tabel E.5 worden ook de voorlopige resultaten weergegeven van onderzoek dat Alterra in 2014 op 19 locaties. In dit onderzoek is er riet bemonsterd voor genetisch onderzoek, en is op elke locatie de stengeldichtheid bepaald, en de hoogte en dikte van rietstengels (De Lange et al., in prep.). De locaties zijn door heel Nederland verspreid, en verschillen in bodemtype, hydrodynamiek, en winddynamiek. Een eerste analyse van het effect van bodemtype op de rietzone laat zien dat er een effect is op dikte stengels (klei = zand > veen); en op het aantal nieuwe scheuten (klei > zand = veen). Zes locaties hebben bodemtype zand, en de kenmerken van deze locaties zijn daarom goed te gebruiken voor de pilot Houtribdijk, en worden in tabel E.5 vermeld.

Tabel E.5 Gemiddelde van hoogte en dikte rietstengels, en dichtheid aan rietstengels uit verschillende Nederlandse studies; n.g. = niet gerapporteerd

Locatie	Hoogte (m)	dikte (mm)	dichtheid (stengels/m ²)	Referentie
Zwarte Meer	> 3 m in open water, 2.5 m op land	9,5 mm in open water, 6 mm op land	n.g.	Graveland & Coops, 1997
Waterleidingplas	1,0 boven water	n.g.	maximaal 125 (afhankelijk van waterdiepte)	Bakker, 2010
Oostelijke randmeren	2,77	5,9	131	Coops, 2014
Ketelmeer/Vossemeer	3,21	7,1	91	Coops, 2014
Zwarte Meer	3,25	7,2	83	Coops, 2014
Locaties op zand	1,96	6,8	71	De Lange et al., in prep.

E.5.2 Tijdsduur

De ervaringen in de Abbert II laten zien dat Riet zich daar makkelijk op natuurlijke wijze kon vestigen (Remmelzwaal et al., 2001). Met inzaaien en inplanten kan de vestiging van Riet iets versneld worden. In de eerste zomer na inplanten en zaaien waren de verschillen nog behoorlijk groot. In het tweede groeiseizoen is het bedekkingspercentage bij ingeplant en ingezaaid > 50%. In het derde groeiseizoen zijn de verschillen tussen natuurlijke vestiging en ingeplant/ingezaaid bijna verdwenen, en is het riet ook al behoorlijk van lengte.

Het vestigen van riet gebeurt dus in enkele groeiseizoenen (twee a drie). Als een rietzone goed ontwikkeld is, groeit het nieuwe riet elk jaar tot een maximale hoogte.

E.5.3 Invloed van graas, natuurlijke successie

Uit de verschillen tussen locaties met en zonder exclusures blijkt dat begrazing door herbivore watervogels de uitbreiding van Riet het water in sterk belemmert heeft (Remmelzwaal et al., 2001; Vulink et al., 2009; Bakker, 2010).

E.6 Resultaten vegetatie per periode

(met tekstbijdragen van Rik Huiskes en Arjen de Groot, Alterra)

E.6.1 Vegetatie opnamen vlak na aanleg

E.6.1.1 Riet in rijsmat

De aanplant van jonge rietscheuten in de rijsmat direct aan het begin van de proef (begin september) heeft te zeer geleden onder het mooie zomerweer in de gehele maand september en is verdroogd (Figuur E.2). De rijsmatten waren dikker en lagen hoger dan verwacht, waardoor het water de aarde in de mat niet voldoende bevochtigde. Alleen op de uiterste hoeken in het water heeft het riet zich een tijdje staande weten te houden.



Figuur E.2 Foto van aangeplante en uitgedroogde rietplantjes op de rijsmatten (Foto Shore september 2014)

E.6.1.2 Vegetatieopname 3 november 2014

Na aanleg van de pilot is er door Alterra op 3 november 2014 een monitoring uitgevoerd. Tijdens het veldbezoek is de gehele zandvlakte afgelopen, en aanwezige vegetatie genoteerd. Dit was slechts zeer sporadisch. De volgende pioniersoorten zijn aangetroffen, die ook op akkers voorkomen:

Klein kruiskruid (*Senecio vulgaris*)

Kweek (*Elytrichia repens*)

Kleine veldkers (*Cardamine hirsuta*)

Kroontjeskruid (*Euphorbia helioscopia*)

De bosschage achter de hockeystick is kort bekeken. Hier is sprake van een wilgenstruweel, met een aantal boomvormende wilgen, met ruige rietvelden en grazige vegetaties. Het lijkt dat een deel van het grazige deel gemaaid wordt, maar de maaistrategie is niet geheel helder (Figuur E.3). Tevens is een opname gemaakt van bestaande vegetatie op de huidige waterkering (Figuur E.4). Op de rand van de steenzetting en het asfalt en in de bovenrand van de steenzetting bevinden zich droogte resistente soorten als Muurpeper (*Sedum acre*) en ook Zacht vetkruid (*Sedum album*). Maar ook opslag van houtigen, o.a. Vlier. De maaibeurt voor de winter is al gebeurd. Er zijn ook graafsporen aangetroffen, mogelijk van ratten.



Figuur E.3 Vegetatie achter de hockeysticks, met riet en struweelvorming, op de voorgrond een schelpenstrandje.



Figuur E.4 Controleplot dijkgrasland.

Tabel E.6 Algemene gegevens vegetatieopname controleplot dijkgrasland

Bedekkingsschaal	Procentueel
Auteur (code)	Huiskes, R.
Datum (jaar/maand/dag)	2014/11/03
X-coördinaat	156.772
Y-coördinaat	516.404
Bloknummer	20-24-42-74
Lengte proefvlak (m)	3
Breedte proefvlak (m)	3
Opp. proefvlak (m ²)	9
Bedekking totaal (%)	75
Bedekking kruidlaag (%)	75
Bedekking moslaag (%)	5
Bedekking strooisellaag (%)	10
Gem. hoogte (hoge) kruidlaag (cm)	5
Maximale hoogte kruidlaag (cm)	15
Latitude	52.638042
Longitude	5.408523

Tabel E7 Soortenlijst vegetatieopname dijkgrasland

Latijnse naam	Nederlandse naam	Bedekking
<i>Agrostis stolonifera</i>	Fioringras	10
<i>Cardamine hirsuta</i>	Kleine veldkers	10
<i>Cirsium arvense</i>	Akkerdistel	50
<i>Cirsium vulgare</i>	Speerdistel	10
<i>Dactylis glomerata</i>	Kropaar	1
<i>Festuca rubra</i>	Rood zwenkgras s.s.	60
<i>Galium mollugo</i>	Glad walstro	15
<i>Geranium robertianum</i>	Robertskruid	5
<i>Lolium perenne</i>	Engels raaigras	5
<i>Matricaria chamomilla (= recutita)</i>	Echte kamille	1
<i>Myosotis arvensis</i>	Akkervergeet-mij-nietje	10
<i>Poa pratensis</i>	Veldbeemdgras	5
<i>Rumex crispus</i>	Krulzuring	10
<i>Sherardia arvensis</i>	Blauw walstro	5
<i>Sonchus oleraceus</i>	Gewone melkdistel	1
<i>Symphytum officinale</i>	Gewone smeewortel	5
<i>Urtica dioica</i>	Grote brandnetel	25

E.6.2 Resultaten PQ's mei 2015

De vegetatie is in maart en begin april aangeplant. Op 8 mei 2015 is de eerste keer vegetatie opgenomen. De opname per PQ komt overeen met wat aangeplant is. Hier worden alleen de belangrijkste waarnemingen gepresenteerd:

- In de laagste zone met alleen riet is de aanplant al behoorlijk overzand.
- De rijsmat is nu een dubbele mat. Daar is riet opnieuw in aangeplant. Het moet blijken of het nieuwe riet de ondergrond kan bereiken.
- Buiten de aanplant is er nog bijna geen vegetatie. Wat er is zijn pioniersoorten. De meeste plantjes komen voor in de wilgenstruweelzone. Het microklimaat in het wilgenstruweel is waarschijnlijk gunstig voor kieming van pioniersoorten. Het lijkt niet waarschijnlijk dat de dijk de bron is van de vestiging van deze pioniersoorten. Het is waarschijnlijker via wind en water. Maar het is ook zeker niet uit te sluiten dat ze met plantmateriaal en/of mensen meegekomen zijn.

E.6.3 Resultaten PQ's september 2015

Op 9 en 11 september 2015 is de tweede vegetatieopname uitgevoerd. Net als in de opname van mei 2015, komen de resultaten van de aangetroffen vegetatie in grote lijnen overeen met wat in maart is aangeplant. Daarnaast hebben zich spontaan planten gevestigd. In deze beschrijving van de resultaten wordt de aandacht gelegd op deze spontane vestiging, en de meest opmerkelijke verschillen tussen de raaien en proefvakken.

Raai op de oeverlijn

Er hebben zich geen planten gevestigd in de eerste raai PQ's (op de oeverlijn), wel is een flinke bos Doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*) aangespoeld. Of deze ondergedoken soort is niet gevestigd op de pilot (zie foto E.5).



Figuur E.5 Foto Aangespoeld Doorgroeid fonteinkruid

Effect exclusures

De grasachtige planten binnen de exclusures hebben een grotere lengtegroei kunnen doormaken dan daarbuiten. Voor struweelvormers binnen een exclusure is het verschil binnen en buiten minder duidelijk waarneembaar. Begrazing aan individuele planten buiten de exclusures is duidelijk zichtbaar (zie foto's E.6).



Figuur E.6 Foto links: Verschil in hoogte vegetatie binnen en buiten de exclusure. Foto rechts: begrazing buiten de exclusure aan aangeplant riet.

Vegetatie op de rijsmat

De plantengroei op de rijsmat is zeer spaarzaam. Het aangeplante materiaal heeft zich maar beperkt ontwikkeld.



Figuur E.7 spaarzame ontwikkeling van vegetatie op de rijsmatten.

Verschillen tussen de proefvakken

De scheiding tussen de twee bodemtypen zand en zand met bijmenging is duidelijk zichtbaar in de ontwikkeling van het struweel. Op het deel waar holoceen materiaal is bijgemengd, is het struweel hoger en zit het voller in blad (foto's E8).



Figuur E.8 Foto links zand, foto rechts met bijmenging holoceen materiaal

Spontane vestiging planten op de pilot

In totaal hebben 34 soorten zich spontaan gevestigd op de pilot, waarvan 9 soorten alleen op de vakken met zand, en 17 soorten uniek op de vakken zand met holoceen. Deze aantallen omvatten ook de soorten riet, rietgras en schietwilg wanneer deze buiten de aangeplante vakken zijn waargenomen. Riet en goudzuring zijn de twee soorten die zich in zowel beide bodemtypen en zowel ingeplant als daarbuiten hebben gevestigd. De soorten die zich enkel op zand hebben gevestigd zijn veelal aangepast aan drogere standplaatsen. Voor de soorten die zich enkel op het holoceen materiaal hebben gevestigd geldt dat zij een rijkere en vochtigere standplaats nodig hebben dan het kale zand.

Spontane vestiging planten op bodemtype zand

17 Soorten hebben zich in 2015 spontaan gevestigd in de PQ's op de vakken met alleen zand (Tabel E.8). De meeste soorten in raai 3, in raai 1 hebben zich helemaal geen planten gevestigd. De meeste soorten hebben zich gevestigd in het ingeplante deel. In raai 2 heeft zich ook riet gevestigd buiten de ingeplante stukken, dit is vrijwel zeker een gevolg van losgespoelde riet-pluggen. De schietwilg buiten het ingeplante struweel is een uitgelopen bos rijshout. Veel opgeslagen soorten zijn soorten van ruderaal omstandigheden. Muurpeper is de enige soort die specifiek is aangepast aan droge omstandigheden (Foto E9).



Figuur E.9 Foto Muurpeper

Tabel E8 Spontaan gevestigde soorten op bodemtype zand.

Nederlandse naam	Raai	Familienaam
Rietgras	raai 2	Poaceae
Riet	raai 2	Poaceae
Gewone melkdistel	raai 2	Asteraceae
Schietwilg	raai 2	Salicaceae
Rode ganzenvoet	raai 2	Chenopodiaceae
Muurpeper	raai 2	Crassulaceae
Goudzuring	raai 2	Polygonaceae
Engels raigras	raai 3	Poaceae
Reukeloze kamille	raai 3	Asteraceae
Straatgras	raai 3	Poaceae

Nederlandse naam	Raai	Familienaam
Goudzuring	raai 3	Polygonaceae
Gewone melkdistel	raai 3	Asteraceae
Vogelmuur	raai 3	Caryophyllaceae
Gestreepte witbol	raai 3	Poaceae
Veldbeemdgras	raai 3	Poaceae
Klein kruiskruid	raai 3	Asteraceae
Jakobskruiskruid s.l.	raai 3	Asteraceae
Ruw beemdgras	raai 3	Poaceae
Gewoon varkensgras	raai 3	Polygonaceae

Spontane vestiging planten op bodemtype zand met holoceen materiaal

Binnen dit bodemtype hebben zich in 2015 25 soorten gevestigd (Tabel E.9), waarbij er meer soorten binnen het ingeplante deel zijn gevestigd dan in het niet-ingeplante deel. Ook op dit bodemtype zijn planten van de ingeplante soort Riet los gespoeld en heeft deze zich hier gevestigd in het achterliggende ingeplante struweel. Anders dan bij het bodem type zand is er geen duidelijk verschil in het aantal gevestigde soorten tussen raai 2 en 3.

Tabel E.9 Spontaan gevestigde soorten op bodemtype zand met holoceen.

Nederlandse naam	Raai	Familienaam
Engels raaigras	raai 2	Poaceae
Gekroesde melkdistel	raai 2	Asteraceae
Gewone melkdistel	raai 2	Asteraceae
Goudzuring	raai 2	Polygonaceae
Harig wilgenroosje	raai 2	Onagraceae
Klein kruiskruid	raai 2	Asteraceae
Kleine lisdodde	raai 2	Typhaceae
Moerasandoorn	raai 2	Lamiaceae
Moerasmelkdistel	raai 2	Asteraceae
Riet	raai 2	Poaceae
Rietgras	raai 2	Poaceae
Rode ganzenvoet	raai 2	Chenopodiaceae
Ruw beemdgras	raai 2	Poaceae
Speerdistel	raai 2	Asteraceae
Wolfspoot	raai 2	Lamiaceae
Zwart tandzaad	raai 2	Asteraceae
Bezemkruiskruid	raai 3	Asteraceae
Canadese fijnstraal	raai 3	Asteraceae
Fioringras	raai 3	Poaceae
Gekroesde melkdistel	raai 3	Asteraceae
Gewone melkdistel	raai 3	Asteraceae
Gewoon struisgras	raai 3	Poaceae
Goudzuring	raai 3	Polygonaceae
Grote lisdodde	raai 3	Typhaceae
Harig wilgenroosje	raai 3	Onagraceae
Hoog struisgras	raai 3	Poaceae
Klein hoefblad	raai 3	Asteraceae
Klein kruiskruid	raai 3	Asteraceae

Nederlandse naam	Raai	Familienaam
Krulzuring	raai 3	Polygonaceae
Melganzenvoet	raai 3	Chenopodiaceae
Riet	raai 3	Poaceae
Ruw beemdgras	raai 3	Poaceae

E.6.4 Resultaten PQs september 2016

Uitgevoerde analyses

In 2016 is volgens plan twee keer de vegetatie geïnventariseerd: vlak na de winter (eind april) en aan het eind van het groeiseizoen (half september). Door voortdurende erosie van de pilot liggen de PQs van raai 1 inmiddels onder water (PQs 1 t/m 15). De PQs op de rijsmat (PQs 16 t/m 21) zijn samen met de rijsmat verdwenen. De PQs achter de rijsmat (PQs 22 t/m 26 en PQ 58) en naast de rijsmat (PQs 28 t/m 30 en PQ 57) liggen inmiddels ook op of beneden de oeverlijn. Hiervan zijn geen vegetatieopnamen gemaakt. Van de PQs die nog zichtbaar zijn is vastgesteld dat er geen vegetatie groeit, ook geen waterplanten. Per PQ is een opname gemaakt waarbij de aanwezigheid van soorten en bedekking per soort is genoteerd.

Van de oorspronkelijke 58 PQs zijn er inmiddels 32 niet meer bruikbaar. Hierdoor is de proefopzet niet meer gebalanceerd, dat wil zeggen dat niet voor elke factorcombinatie een gelijk aantal replica's beschikbaar is (zie Tabel E.10).

Tabel E.10 PQs per factorcombinatie

Raai	Bijgemengd	Ingeplant	PQs met vegetatie	PQs zonder vegetatie	PQs op of beneden oeverlijn
2	zand	kaal		40, 41, 42	
2	zand	ingeplant	37, 38, 39		
2	zand + klei	kaal		31, 33	28, 29, 30
2	zand + klei	ingeplant	34, 36		
3	zand	kaal	45	43, 44	22, 23, 24, 58
3	zand	ingeplant	46, 47, 48		
3	zand + klei	kaal	52, 53, 54, 55, 56		57
3	zand + klei	ingeplant	49, 50, 51		25, 26
<i>exclosures</i>					
2	zand + klei	kaal			32
2	zand + klei	ingeplant	35		
tussen 2 en 3	zand + klei	kaal	53a		
tussen 2 en 3	zand + klei	ingeplant	50a		
3	zand + klei	kaal	53		
3	zand + klei	ingeplant	50		

In het voorjaar van 2015 zijn zeven exclosures geplaatst. Zes exclosures zijn in twee transecten met drie hoogtes geplaatst, het eerste transect in het aangeplante vak met holocene klei bijgemengd, het tweede transect in het vak met holocene klei zonder aanplant. De zevende exclosure is op de toenmalige oeverlijn geplaatst, half voor en half achter het tijdelijke dammetje. Deze zevende exclosure is in 2015 al verdwenen in de oeverlijn. Ook de laagstgelegen exclosure in het tweede transect is in het water verdwenen (PQ32). In het voorjaar van 2016 zijn de vijf overgebleven exclosures waar nodig hersteld. In elke exclosure is een vegetatieopname gemaakt. In raai 2 vallen PQs 32 en 35 in een exclosure, in raai 3 liggen PQs 50 en 53 in een exclosure. Tussen raai 2 en 3 zijn nog 2 exclosures geplaatst, hiervoor zijn twee extra PQs benoemd, PQ50a en PQ53a (Tabel E.10). In de statistische analyse (volgende paragraaf) is dit benoemd als raai 4. NB: het positioneren van de PQs en het plaatsen van de exclosures in het veld heeft niet tegelijk plaatsgevonden. Het samenvallen van 4 PQs met een exclosure was niet het vooropgezette plan.

Resultaten diversiteit en bedekking

De analyse is uitgevoerd met de gegevens van de september opname 2016. Er moet minimaal 1 plantensoort in de plot voorkomen voordat deze in de analyse wordt meegenomen. Inmiddels is de ingeplante vegetatie (zowel struweel als grassen) mee opgenomen in vegetatieopname. Er zijn nog geen struweel soorten (struiken) waargenomen buiten het aangeplante struweel. Wel hebben Riet en Rietgras zich gevestigd buiten het aangeplante gebied.

De diversiteit aan plantensoorten en bedekking is met behulp van ANOVA geanalyseerd, hierbij zijn de factoren raai, inplant, klei, en alle interacties geanalyseerd. Vervolgens is een tweede model met alleen de significante interacties geanalyseerd. De bedekkingsgraad is log-getransformeerd voorafgaand aan de ANOVA, vanwege een groot aantal lage waarden.

Diversiteit aan soorten

Zowel het aantal soorten als de Shannon index werd primair bepaald door de raai waarop de plots lagen (Tabel E.11). Bij de hogere raainummers, oftewel verder van de waterlijn, nam zowel het aantal soorten als de Shannon index toe (Figuur E.10), onafhankelijk van ondergrond of aanplant. Van raai 2 naar raai 4 (= exclosures) nam het gemiddelde aantal soorten toe van 1.4 tot 9.0 en de Shannon index van 0.3 tot 1.3. Met name in raai 3 was de variatie tussen plots echter groot.

Ook het type inplant had een duidelijke invloed op de soortenrijkdom (Tabel E.11 en Figuur E.10). De hoogste diversiteit was aanwezig in plots met struweel-aanplant. In de plots met riet-aanplant was de soortenrijkdom duidelijk lager. In de plots zonder aanplant varieerde het aantal soorten van 0 tot 10, waarbij op de hogere raaien (verder van de waterlijn) de soortenrijkdom toenam.

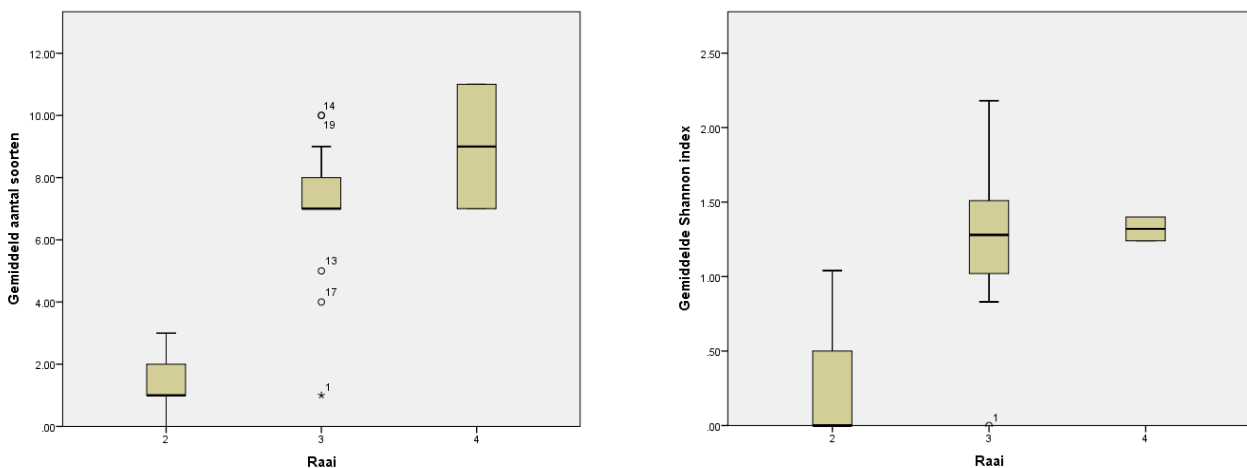
Het significante effect van wel/niet inmengen van holocene klei materiaal en de interactie tussen type aanplant en klei/zand kwamen met name voort uit een verschil binnen de plots zonder aanplant. Daar lijkt zich een grotere soortendiversiteit te vestigen indien klei materiaal was ingemengd (Figuur E.12). Belangrijk is wel dat slechts één plot zonder aanplant op ongemengde zandgrond beschikbaar was, waardoor ook dit verschil niet significant was ($P=0.289$). In de plots met aanplant (riet of struweel) was er geen duidelijk verschil tussen de twee typen ondergrond (Figuur E.12).

Bedekkingsgraad

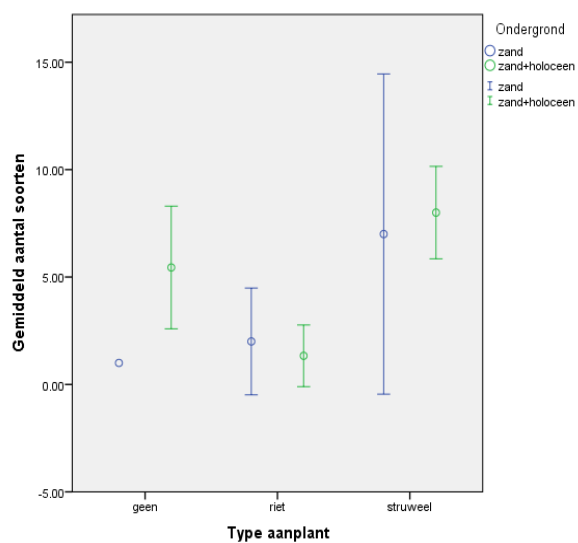
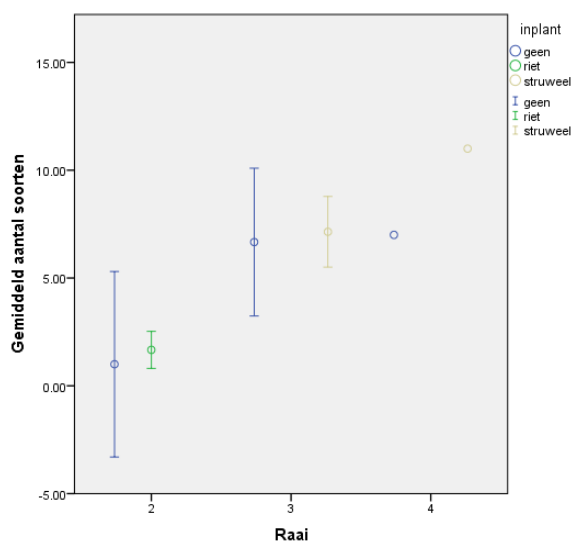
Ook het percentage bodem dat is bedekt met vegetatie was voornamelijk afhankelijk van de afstand tot de waterlijn (Figuur E.13). Het percentage is relatief hoog in de struweel-aanplant, maar dit is in de hogere raaien eveneens het geval in de plots zonder aanplant. Een belangrijk verschil is echter dat de bedekking in de struweel-plots voornamelijk wordt geleverd door een algemeen voorkomen van Duindoorn, terwijl zich in de plots zonder struweel een mosmat heeft ontwikkeld.

Tabel E.11 ANOVA resultaten voor testen van het effect van raai, type aanplant (geen, riet of struweel) en wel of niet inmengen van holoceen materiaal op de diversiteit en bedekkingsgraad. In de definitieve modellen werden allen significante interacties opgenomen. Weergegeven waarden zijn F-waarden. Significante waarden zijn vetgedrukt en aangegeven met een ster (* = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$).

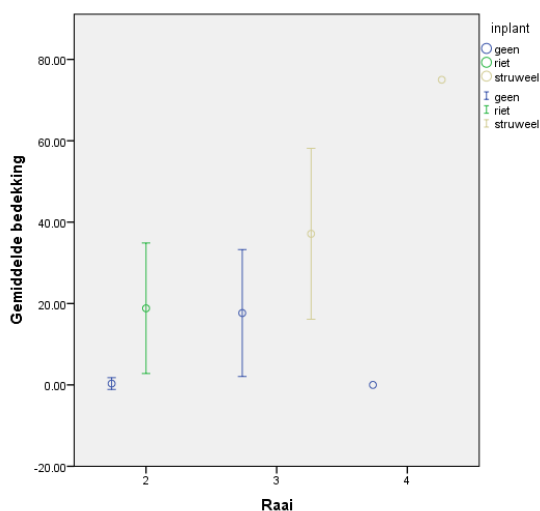
Factor	df	# soorten	Shannon index	Bedekking
Raai	2	14.561***	8.242**	2.460
Aanplant	2	4.910*	3.000	7.098**
Holoceen	1	5.408*	1.829	0.146
Aanplant x Holoceen	2	4.552*	7.075**	-
Aanplant x Raai	1	-	-	6.837*



Figuur E.10 Boxplot gemiddeld aantal soorten per raai (links) en gemiddelde Shannon index per raai (rechts). Raai 4 zijn exclosures



Figuur E.11 A Gemiddeld aantal soorten per raai Figuur E.12 B Gemiddeld aantal soorten per type aanplant



Figuur E.13 Gemiddelde bedekking, foutvlaggen zijn 95% betrouwbaarheidsintervallen

Resultaten soortenspectrum per behandeling

Op basis van een DCA ordinatie (Figuur E.17) blijkt een duidelijk verschil aanwezig in de soortensamenstelling tussen de plots met verschillend type aanplant. De variatie op de primaire as van de ordinatie valt grotendeels samen met het verschil in aanplant. Met name struweel-aanplant heeft een duidelijk afwijkende soortensamenstelling. De basis van het relatief hoge aantal soorten in de struweel-aanplant wordt gelegd door de aangeplante soorten zelf. De drie wilgensoorten, de Duindoorn en Rode kornoelje zijn daar allen algemeen, en zijn vrijwel geheel afwezig in de plots waar ze niet actief zijn aangeplant (Foto E.13). Opvallend is wel dat de eveneens aangeplante Sleedoorn en Vlier geheel verdwenen zijn. Naast de aangeplante soorten wordt het struweel begeleid door een tweetal grassen (Ruw Beemdgras en Fioringras) en een per plot sterk wisselende combinatie van een aantal pioniersoorten, zoals de Gewone melkdistel, het Zwart tandzaad en de Korrelganzevoet. In de plots waarin Riet en Rietgras zijn ingeplant, zijn deze soorten nog altijd vrijwel de enige aanwezige soorten. Riet is daarbij duidelijk in grotere bedekking aanwezig, Rietgras ontbreekt in vier van de zes beschikbare plots.



Figuur E.13 Raai 2 op het vak met alleen zand, met in de rand van het struweel dominantie van Duindoorn.

De soortensamenstelling in de plots zonder aanplant varieert sterk. Naast de bedekking met Gewoon krulmos in de hogere raaien hebben zich per plot wisselende combinaties gevestigd van in totaal 13 andere soorten. Een flink aantal daarvan zijn meerjarige houtige pioniers als Akkerdistel, Harig wilgenroosje en Riet, aangevuld met enkele éénjarige pioniers als Goudzuring en Kamille. Daarnaast is in vrijwel alle plots zonder aanplant (evenals in de struweel-aanplant) het Bezemkruiskruid aanwezig (Foto E.14).



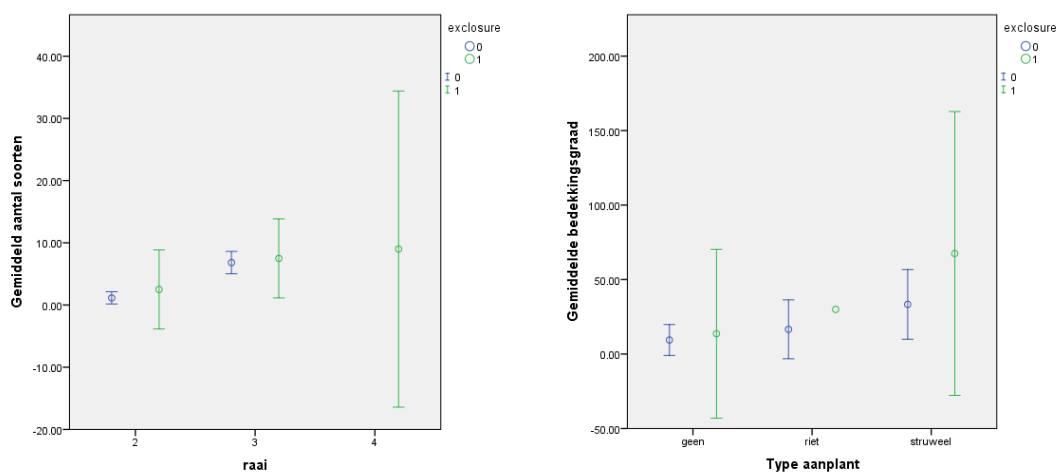
Figuur E.14 Spontane vestiging van soorten in raai 3, vak met klei bijgemengd.

De variatie in de gevestigde soorten is deels te verklaren door verschil tussen de soorten in hun voorkeur bepaalde milieucondities, die sterk samenhangen met de hoogte op de oever en daarmee afstand tot de waterlijn. Dit zijn onder andere pH, veldvocht, en het organisch materiaal. Zoals zichtbaar in Figuur 4 verklaren deze condities in hoge mate de variatie op de tweede as van de ordinatie. O.a. de Melkdistel en Wilgenroosje prefereren relatief vochtige omstandigheden. Opvallend genoeg was de bodem relatief vochtig in de hoger gelegen raaien, waar relatief veel organisch stof in de bodem aanwezig was.

Effect exclusures

Wanneer de vegetatie binnen de exclusures wordt vergeleken met de vegetatie die daar een jaar eerder (2015) aanwezig was, valt op dat in alle exclusure plots de bedekking sterk is toegenomen. In de plots met struweelaanplant is dit voornamelijk te danken aan een sterke groei van de Duindoornstruiken. In een van de twee exclusures met struweel heeft ook de Schietwilg zich sterk uitgebreid. In de exclusure zonder aanplant op de bovenste raai (PQ53) heeft zich een flinke bedekking van riet ontwikkeld, en is daarnaast het totaal aantal soorten toegenomen van 2 tot 7. In algemene zin is echter geen duidelijke toename in soortenrijkdom zichtbaar. In sommige plots nam de soortenrijkdom toe, in andere nam deze af.

Wanneer de huidige vegetatie binnen de exclusures wordt vergeleken met de vegetatie in vergelijkbare plots zonder exclusures, is zowel in soortendiversiteit als in bedekking geen duidelijk verschil tussen plots met of zonder exclusure aanwezig (Figuur E.15). Wanneer exclusure (met/zonder) als factor in de ANOVA analyses wordt opgenomen, levert dit geen significant effect op (soortenrijkdom: $P=0.398$; Shannon index: $P=0.607$; bedekking: $P=0.069$). Ook de soortensamenstelling verschilt niet noemenswaardig. Er is geen enkele soort die uitsluitend voorkomt binnen de exclusures, of daar een hogere bedekking heeft. Dit suggereert dat exclusures geen duidelijke meerwaarde hebben voor de vegetatie die zich na twee jaar heeft ontwikkeld.



Figuur E.15 Effect exclusure op gemiddeld aantal soorten (links) en gemiddelde bedekkinggraad (rechts), foutbalken = 95% CI.

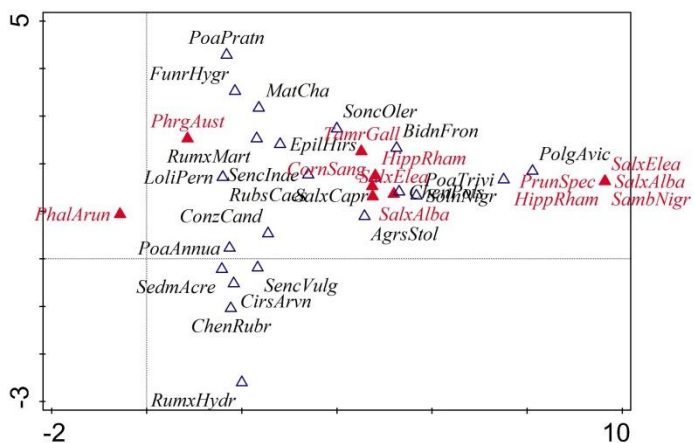
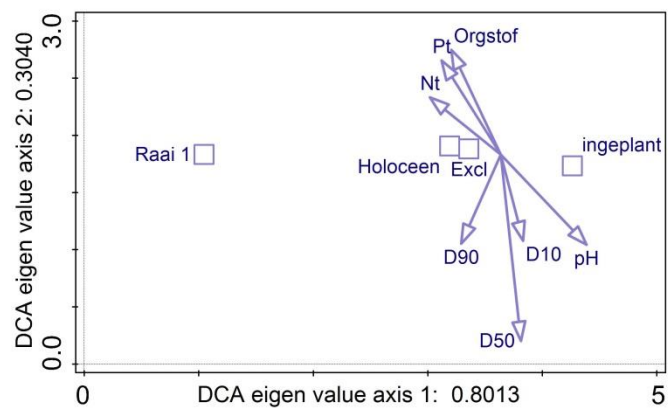
Waterveiligheid

De aangeplante rietsoorten en struweelsoorten zijn allen meerjarig en hebben een uitgebreid en diep wortelnetwerk. In de plots met rietaanplant is dit riet inderdaad aangeslagen, en in de plots met struweel zorgt met name de Duindoorn voor een goede bedekking en vastlegging van het zand. In de plots zonder aanplant ontbreken deze soorten. In het vak met klei heeft het aangeplante riet inmiddels stolonen richting de oeverlijn ontwikkeld (Foto E.16). Het lijkt erop dat deze stolonen in de najaarsstorm weggespoeld zijn. Echter, met name op de hogere raaien hebben andere soorten zich weten te vestigen die de rol van zandbinder kunnen overnemen. Dit betreft met name de matvormende mossoort, maar ook Dauwbraam, Veldbeemdgras en Franse tamarisk kunnen via hun kruipende takken en wortelstelsel helpen zand te binden. Ook de Akkerdistel en Canadese fijnstraal hebben zich hier en daar weten te vestigen en wortelen diep. Dit zijn allen overblijvende soorten. Elk van deze soorten is momenteel echter nog maar in een beperkt deel van de plots zonder aanplant aanwezig. Op de laagste raai, het dichtst bij het water, ontbreken veel van deze soorten en is weinig zandbindende vegetatie aanwezig.

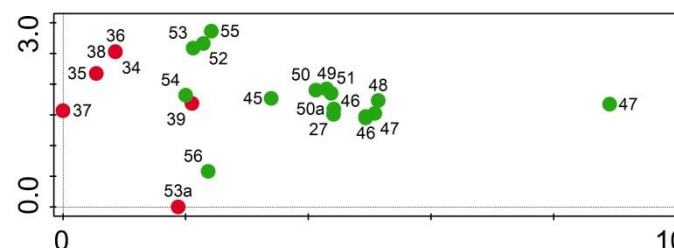
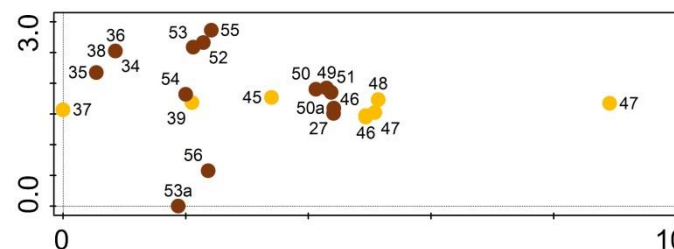
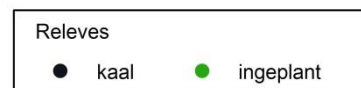
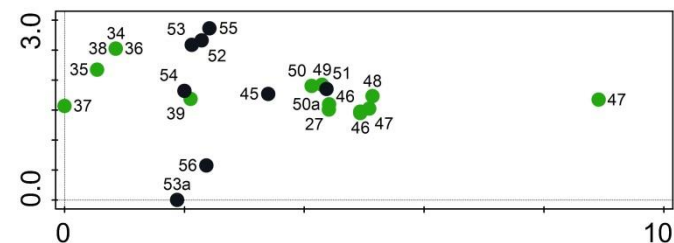


Figuur E.16 Ontwikkeling stolonen richting water (links) en de overgang van puur zand naar zand met klei in raai 2 (rechts).

1209013-000-ZWS-0034, 2 juli 2018, definitief



Figuur E.17 Ordinatieplot DCA, linksboven de milieuvariabelen, linksonder de soorten (met in rood de aangeplante soorten), rechts de ordinatie van de PQs met daarin per plot aangeven in kleur de verschillende factoren.



E.6.5 Worteldichtheid struweel

Tijdens de 2016 voorjaarsopname vegetatie zijn ook struiken bemonsterd om metingen aan het wortelstelsel aan te verrichten. In eerste instantie was de opzet om per soort en per vak (met of zonder klei) 3 struiken uit te graven en daaraan de metingen te verrichten. In het veld bleek dat de wortelstelsels al zeer door elkaar heen groeiden. Het uitgraven kostte daardoor veel tijd, en was destructief voor de omringende boompjes. Daarom is besloten om de struiken te bemonsteren die van het klifje achter de rijsmat waren ge-erodeerd. Omdat deze al los van het zand en klei waren, was er geen destructieve bemonstering nodig. Echter, doordat er nu alleen bemonsterd is wat al losgeslagen was, is er geen evenwichtige verdeling over de verschillende soorten meer.

In het laboratorium zijn aan de struiken de volgende metingen verricht (parameters gebaseerd op rapport Z-Korea Deltares).

Aan het bovengrondse deel: totale hoogte, stamhoogte, stamdiameter, aantal takken, tak diameter, aanvang hoogte blad.

Aan het ondergrondse deel: worteldiepte, aantal wortels, max wortellengte, gemiddelde worteldikte (gemeten aan 9 wortels), drooggewicht wortels

De resultaten van de wortelmetingen worden in Tabel E.12 weergegeven.

Tabel E.12 Resultaten van de metingen aan struweelsoorten

Soort	# waarnemingen	gemiddeld drooggewicht wortels (g)	gemiddelde dikte wortels (mm)	gemiddeld aantal wortels	gemiddelde worteldiepte (mm)
Rode kornoelje	1	50.2	2.4	23	170
Duindoorn	6	43.5	2.8	21	228
Sleedoorn	5	53.9	4.4	5	218
Schietwilg	5	72.5	4.6	19	172
Boswilg	6	59.2	2.6	19	101
Grijze wilg	4	13.2	2.7	11	303
Vlier	1	mv	3.7	25	150