

PILOT VOORLANDOPLOSSING HOUTRIBDIJK INTERIM-RAPPORTAGE FEBRUARI 2017

RWS/ECOSHAPE-STUURGROEP PILOT HOUTRIBDIJK

22 februari 2017

079132021:A - Definitief

C03041.003128.0100

File: BwN_pilot_Houtribdijk-InterimRapportage_Februari2017.docx



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Overzicht figuren	12
Overzicht tabellen	19
Samenvatting	21
1 Inleiding	25
1.1 Algemeen	25
1.2 Doelstelling van de pilot	26
1.3 Inrichting activiteiten	26
1.4 Opzet rapportage en leeswijzer	27
1.4.1 Inleiding	27
1.4.2 Algemeen deel in hoofdttekst	27
1.4.3 Basisrapporten in annexen	30
1.4.4 Guidelines in bijlagen	31
1.5 Totstandkoming en verantwoording	33
2 Voorlandoplossingen	34
2.1 Inleiding	34
2.2 Typering van voorlandoplossingen	34
2.2.1 Inleiding	34
2.2.2 Types voorlandoplossingen in relatie tot rol van de dijk	34
2.2.3 Volledig zandige oplossingen	36
2.2.4 Dijk als grensprofiel	36
2.2.5 Hybride keringen (inclusief dijk-in-duin-oplossing)	37
2.2.6 Duin-in-dijk-oplossing	37
2.2.7 Overzicht typen voorlandoplossingen en implicaties	38
2.3 Rol van vegetatie binnen voorlandoplossingen	38
2.3.1 Inleiding	38
2.3.2 Categorieën bijdragen	39
2.3.3 Bijdrage aan natuurwaarde	39
2.3.4 Indirecte bijdrage	39
2.3.5 Directe bijdrage	39
2.4 Ontwerp van zandige versterkingen	40
2.4.1 Inleiding	40
2.4.2 Huidige ontwerpmethodiek	40
2.4.2.1 Basisprincipe	40
2.4.2.2 Daadwerkelijk versus verwacht benodigd veiligheidsniveau	41
2.4.2.3 Toepassing huidige methodiek bij erosief kustvak	41

2.4.3	Alternatieve methode	42
2.4.3.1	Geleidelijke versterking	42
2.4.3.2	Toepassing alternatieve methode bij erosief kustvak	43
2.4.4	Mogelijke optimalisaties	43
2.4.4.1	Stimulering van natuurlijke aangroei (Geometrie).....	43
2.4.4.2	Inzet vegetatie ter stimulering van volumetoename (indirect effect) ..	44
2.4.4.3	Gebruik van vegetatie ter vergroting van de veiligheid (direct effect) 45	
2.4.5	Overzicht optimalisatiemogelijkheden	45
2.5	Relatie met andere projecten en onderzoek	46
2.5.1	BwN/EcoShape-projecten	46
2.5.1.1	Overzicht.....	46
2.5.1.2	Zandmotor	46
2.5.1.3	BE SAFE	47
2.5.1.4	HPZ Innovatieproject	48
2.5.2	Versterkingsprojecten.....	49
2.5.2.1	Overzicht.....	49
2.5.2.2	Realisatie Marker Wadden (zachte randen)	49
2.5.2.3	Versterking Markermeerdijken (oeverdijktrajecten)	50
2.5.2.4	Versterking Houtribdijk (deel zandige versterking)	50
2.5.2.5	Aanleg Prins Hendrikzanddijk	51
2.5.3	Onderzoeksprojecten.....	51
2.5.3.1	Overzicht.....	51
2.5.3.2	POV-Waddenzeedijken (Voorlanden)	51
2.5.3.3	Definitie onderzoeksplannen WTI2023 (Voorlanden)	52
3	Koppeling met onderzoeksvragen.....	53
3.1	Inleiding.....	53
3.2	Onderzoeksthema's en vragen.....	53
3.3	Producten gekoppeld aan doelen	54
3.4	Productcategorieën.....	55
4	Monitoringsprogramma.....	58
4.1	Inleiding.....	58
4.2	Voortgang en tussenresultaten (WP3)	58
4.3	Input voor nadere analyses (WP4)	58
5	Basisinfo hydro/meteo	60
5.1	Inleiding.....	60
5.2	Gebruikte informatie in overdrachtstabel	60
5.3	Basisanalyses meetresultaten	61
5.3.1	Wind	61
5.3.2	Waterstand.....	63
5.3.3	Golfhoogte	66
5.3.4	Golfperiode.....	72
5.3.5	Golfrichting.....	73

5.3.6	Langsstroomsnelheid	75
5.4	Opvullen van gaten in tijdreeks.....	78
5.5	Karakteristieke condities per meetinterval.....	79
5.5.1	Inleiding	79
5.5.2	Algemene karakteristieken.....	80
5.5.3	Meetinterval T1-T2 (18-9-14 t/m 25-10-14).....	81
5.5.4	Meetinterval T2-T3 (25-10-14 t/m 19-11-14).....	82
5.5.5	Meetinterval T3-T4 (19-11-14 t/m 28-12-14).....	83
5.5.6	Meetinterval T4-T5 (28-12-14 t/m 23-01-15).....	84
5.5.7	Meetinterval T5-T6 (23-01-15 t/m 15-02-15).....	85
5.5.8	Meetinterval T6-T7 (15-02-15 t/m 18-03-15).....	86
5.5.9	Meetinterval T7-T8 (18-03-15 t/m 06-04-15).....	87
5.5.10	Meetinterval T8-T9 (06-04-15 t/m 21-08-15).....	88
5.5.11	Meetinterval T9-T10 (21-08-15 t/m 15-01-16).....	89
5.5.12	Meetinterval T10-T11 (15-01-16 t/m 28-02-16).....	90
5.5.13	Meetinterval T11-T12 (28-02-16 t/m 27-05-16).....	91
5.5.14	Meetinterval T12-T13 (27-05-16 t/m 23-08-16).....	92
5.5.15	Meetinterval T13-T14 (23-08-16 t/m 23-11-16).....	93
6	Basisinfo bodemligging.....	95
6.1	Inleiding.....	95
6.2	Beschrijving morfologische ontwikkeling op hoofdlijnen.....	96
6.2.1	Inleiding	96
6.2.2	Bodemligging per opname	96
6.2.3	Beschrijving ontwikkeling op hoofdlijnen.....	103
6.2.4	Beschrijving ontwikkeling per interval.....	105
6.2.5	Nadere uitwerking.....	113
6.3	Alternatieve data-inwinning via analyse satellietbeelden	114
6.3.1	Inleiding	114
6.3.2	Gebruikte informatie	114
6.3.3	Resultaten	115
6.3.4	Conclusies	117
6.4	Basisresultaten zettingen	117
6.4.1	Inleiding	117
6.4.2	Gebruikte data.....	117
6.4.3	Aanpak data-analyse.....	118
6.4.4	Absolute niveau-ontwikkeling.....	119
6.4.5	Relatie zettingen en dikte zandpakket	123
6.4.6	Voorspelde zettingen.....	126
6.4.7	Zettingsontwikkeling	127
6.4.8	Schatting volume zettingsverlies.....	131
6.4.9	Voorlopige conclusies	131
7	Basisinfo sedimentkarakteristieken.....	133
7.1	Inleiding.....	133
7.2	Te beantwoorden vraagstukken	133

7.3	Gevolgdde methode korrelgrootte-analyse.....	134
7.3.1	Inleiding	134
7.3.2	Bemonstering aanleg	134
7.3.3	Bemonstering talud (droge deel)	134
7.3.4	Bemonstering onderwaterdeel	135
7.3.5	Voorbehandeling en analyse	137
7.4	Resultaten	137
7.4.1	Bemonstering aanleg	137
7.4.2	Bemonstering talud (droge deel)	139
7.4.3	Bemonstering onderwaterdeel	141
7.5	Voorlopige conclusies	143
7.5.1	Effect voorbehandeling	143
7.5.2	Dwarsvariatie in de korrelgrootte-verdeling	143
7.5.3	Tijdsvariatie in de korrelgrootte (D50).....	144
8	Basisinfo vegetatie.....	145
8.1	Inleiding.....	145
8.2	Ontwerp aanlegstrategie voor vegetatie.....	145
8.2.1	Basisontwerp	145
8.2.2	Vorbereidende workshop.....	146
8.2.3	Rijsmattentest	146
8.2.4	Aanplant in voorjaar 2015.....	146
8.3	Resultaten vegetatieontwikkeling	147
8.3.1	Ontwikkeling riet in oeverzone	147
8.3.2	Ontwikkeling vegetatie op de rijsmat.....	147
8.3.3	Effect begrazing.....	147
8.3.4	Effect inmenging holocene materiaal	148
8.3.5	Spontane vestiging planten op de pilot	149
8.4	Alternatieve data-inwinning via analyse satellietbeelden	152
8.4.1	Inleiding	152
8.4.2	Gebruikte informatie	152
8.4.3	Resultaten	153
8.4.4	Conclusies	156
	Literatuur.....	157
Annex I	NATUURLIJKE GEOMETRIE VAN VOORLANDOPLOSSINGEN	159
1	Inleiding.....	161
1.1	Algemeen.....	161
1.2	Inhoud conform werkplan	161
1.2.1	Inleiding	161
1.2.2	Natuurlijke talud helling (vraag 1).....	161
1.2.3	Validatie morfologisch model (vraag 1)	162
1.2.4	Stabiliseren voorland met vegetatie (vraag 2).....	163

1.2.5	Optimaal geometrisch veiligheidsontwerp (vraag 3).....	164
1.3	Huidige stand van zaken.....	165
2	Natuurlijke taludhelling	166
2.1	Algemeen.....	166
2.2	Verkenning stabiele vorm.....	166
2.3	Effect hydraulische condities	169
2.4	Effect korreldiameter.....	169
2.5	Effect zettingen.....	169
2.6	Effect constructies (damwand, rijsmat, beschermingsconstructie)	169
3	Validatie morfologisch model	170
3.1	Inleiding.....	170
3.2	Afhankelijkheid korreldiameter	170
3.3	Upgrade XBeach model	172
4	Stabilisatie met vegetatie.....	173
4.1	Inleiding.....	173
5	Veiligheidsontwerp.....	174
5.1	Inleiding.....	174
5.2	Optimale helling buitentalud.....	174
5.3	Optimaal veiligheidsontwerp	174
6	Aanvullende producten	175
6.1	Guideline ontwerp van voorlandoplossingen (zie Bijlage 1).....	175
Annex II	AANLEG VAN VOORLANDOPLOSSINGEN	177
1	Inleiding	179
1.1	Algemeen.....	179
1.2	Inhoud rapportage conform werkplan	179
1.2.1	Inleiding.....	179
1.2.2	Ervaring vergunningentraject (vraag 4).....	179
1.2.3	Ervaring aanleg proefsectie (vraag 5).....	180
1.2.4	Gebruik ander kernmateriaal (vraag 6).....	180
1.2.5	Initiatie van vegetatie (vraag 7).....	181
1.3	Huidige stand van zaken.....	181
2	Gebruik ander kernmateriaal	182
2.1	Inleiding.....	182
2.2	Nadere uitwerking	182
3	Initiatie van vegetatie.....	183
3.1	Inleiding.....	183
3.2	Randvoorwaarden: maximaal toelaatbare golf voor rietvegetatie	183

3.2.1	Algemeen	183
3.2.2	Vegetatie op de proefsectie	183
3.2.3	Maximaal toelaatbare golfhoogte op buitenrand rietvegetatie	184
3.3	Nadere uitwerking	188
4	Gerelateerde producten	189
4.1	Lessons-learned vergunningen-traject (zie Bijlage 2)	189
4.2	Guide-line vergunningen (zie Bijlage 3)	189
4.3	Lessons-learned aanleg (zie Bijlage 4)	190
4.4	Guide-line aanleg (zie Bijlage 5)	191
Annex III	BEHEER EN ONDERHOUD VAN VOORLANDOPLOSSINGEN	193
1	Inleiding	195
1.1	Algemeen	195
1.2	Inhoud rapportage conform werkplan	195
1.2.1	Inleiding	195
1.2.2	Ontwikkeling morfologie (vraag 8)	195
1.2.3	Verkenning langstransport-problematiek	196
1.2.4	Lessons-learned ontwikkeling vegetatie (vraag 9)	196
1.3	Huidige stand van zaken	197
2	Morfologische ontwikkelingen	198
2.1	Inleiding	198
2.2	Ontwikkeling oeverlijn	198
2.2.1	Overzicht	198
2.2.2	Ontwikkelingen op centrale deel	200
2.2.2.1	Tijdontwikkeling positie oeverlijn	200
2.2.2.2	Tijdsontwikkeling orientatie oeverlijn	201
2.2.2.3	Tijdsontwikkeling karakteristieke positie oeverlijn	202
2.2.2.4	Tijdontwikkeling positie onderlaag	203
2.3	Ontwikkeling volumes	204
2.3.1	Volume-ontwikkeling binnen proefsectie	204
2.3.2	Effect zettingen	205
2.3.3	Uitwisseling over randen	205
2.4	Herverdeling volumes	205
2.4.1	Inleiding	205
2.4.2	Definitie lagen en vakken	206
2.4.3	Volume-ontwikkeling per laag	207
2.4.4	Volume-ontwikkeling per vak	210
2.4.5	Volume-ontwikkeling gecombineerde vakken	212
2.5	Interactie met constructies	213
2.5.1	Inleiding	213
2.5.2	Aanwezige dijk	213
2.5.3	Damwand	214

2.5.4	Rijsmatconstructie.....	214
2.5.5	Tijdelijke beschermingsconstructie.....	214
2.5.6	Windscherm	214
3	Effecten langtransport.....	215
3.1	Inleiding.....	215
4	Ontwikkeling van de vegetatie	216
4.1	Inleiding.....	216
4.2	Nadere uitwerking	216
5	Gerelateerde producten	217
5.1	Guide-line beheer en onderhoud (zie Bijlage 6)	217
Annex IV	TOETSING VAN VOORLANDOPLOSSINGEN.....	219
1	Inleiding.....	221
1.1	Algemeen.....	221
1.2	Inhoud rapportage conform werkplan	221
1.2.1	Inleiding	221
1.2.2	Toetsing veiligheidsontwerp (vraag 10)	222
1.2.3	Rol vegetatie in veiligheidstoetsing (vraag 11)	222
1.2.4	Monitoring veiligheid (vraag 12).....	223
1.3	Huidige stand van zaken.....	223
2	Toetsing veiligheidsontwerp.....	224
2.1	Inleiding.....	224
2.2	Nadere uitwerking	224
3	Rol van vegetatie.....	225
3.1	Inleiding.....	225
3.2	Nadere uitwerking	225
4	Monitoring veiligheid.....	226
4.1	Inleiding.....	226
5	Gerelateerde producten	227
5.1	Plan van aanpak toetsingsprotocol (zie Bijlage 7)	227
Annex V	OPSCHALING EN BUSINESS-CASES.....	229
1	Inleiding.....	231
1.1	Algemeen.....	231
1.2	Inhoud rapportage conform werkplan	231
1.3	Gevolgd aanpak	232
1.4	Huidige stand van zaken.....	233

2	Mogelijke toepassingen.....	234
2.1	Inleiding.....	234
2.2	Opschalingslocaties	234
2.2.1	Algemeen.....	234
2.2.2	Eerste Schil - Markermeer/IJsselmeer.....	234
2.2.3	Tweede Schil - Zoet water, rivierbekkens.....	235
2.2.4	Derde Schil - Intergetijdegebieden	235
3	Business-cases.....	238
3.1	Inleiding.....	238
3.2	Verschillende niveaus	238
3.2.1	Nulde niveau: dat van de ontwerpprincipes	238
3.2.2	Eerste niveau: dat van de kosten raming.....	238
3.2.3	Tweede niveau: dat van een MKBA-vergelijking.....	239
3.2.4	Derde niveau; van een (financiële) business case	239
3.3	Nadere uitwerking van de business case benadering.....	239
4	Doorvertaling naar Markermeer	240
4.1	Aanpak.....	240
4.2	Definitie basisontwerpen.....	241
4.3	Kosten van de basisontwerpen	241
4.4	Mogelijke baten zachte oplossingen.....	241
4.5	Mogelijkheden cofinanciering.....	241
5	Doorvertaling andere gebieden.....	242
5.1	Doorvertaling naar Haringvliet, Hollands diep situaties	242
5.2	Doorvertaling naar Intergetijde-gebieden.....	242
Annex VI	PRODUCTEN.....	243
Bijlage 1	Guideline ontwerp	245
Bijlage 2	Lessons-learned vergunningen	247
Bijlage 3	Guideline vergunningen	249
Bijlage 4	Lessons-learned aanleg.....	251
Bijlage 5	Guideline aanleg.....	253
Bijlage 6	Guideline beheer en onderhoud.....	255
Bijlage 7	Plan van aanpak toetsingsprotocol	257
Bijlage 8	Presentatie stand van zaken stuurgroep 6 oktober 2016	Error! Bookmark not defined.

Overzicht figuren

Algemeen deel

Figuur 1-1	Overzicht proefsectie langs Houtribdijk in september 2014 na afronding van aanlegfase bij aanvang monitoringsprogramma [bron: opname Mennobart van Eerden].	25
Figuur 1-2	Overzicht proefsectie langs Houtribdijk in juni 2015 na aanbrengen van de vegetatie en een tijdelijke beschermingsdam op het centrale deel van de proefsectie [bron: GoogleEarth-opname 30 juni 2015].	29
Figuur 1-3	Overzicht proefsectie langs Houtribdijk in juni 2016, anderhalf jaar na de aanleg met ingestelde evenwichtsligging en duidelijk herkenbare vegetatie [bron: opname RWS, Juriaan Brobbel].	30
Figuur 2-1	Hoofdtypen waterkeringen, inclusief combinatie-oplossing met voorland.	34
Figuur 2-2	Schematische weergave mogelijke combinatieoplossingen met afnemende omvang benodigde zandige aanvulling.	35
Figuur 2-3	Omvang benodigde aanvulling als functie van de rol van de huidige dijk.	35
Figuur 2-4	Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij directe realisatie maatgevend geacht veiligheidsniveau.	40
Figuur 2-5	Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij directe realisatie maatgevend geacht veiligheidsniveau en afwijkend daadwerkelijke ontwikkeling van het benodigde veiligheidsniveau.	41
Figuur 2-6	Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij directe realisatie maatgevend geacht veiligheidsniveau inclusief aanbrengen onderhoudsbuffers bij erosief kustvak.	42
Figuur 2-7	Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij stapsgewijs verhogen van het veiligheidsniveau.	42
Figuur 2-8	Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij stapsgewijs verhogen van het veiligheidsniveau inclusief aanbrengen onderhoudsbuffers bij erosief kustvak.	43
Figuur 2-9	Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij directe realisatie maatgevend geacht veiligheidsniveau en aanwezigheid autonome aangroei.	44
Figuur 2-10	Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij stapsgewijs verhogen van het veiligheidsniveau en aanwezigheid autonome trend.	44
Figuur 5-1	Gemeten windsnelheid (m/s), gekleurd op windrichting (graden t.o.v. Noord).	61
Figuur 5-2	Vergelijking windsnelheid KNMI (verticale as) en lokaal gemeten (horizontale as). Links station Lelystad, rechts station Schiphol.	62
Figuur 5-3	Vergelijking windrichting KNMI (verticale as) en lokaal gemeten (horizontale as). Links station Lelystad, rechts station Schiphol.	62
Figuur 5-4	Gemeten waterstand (zwart) en een lopend gemiddelde met een middelingsperiode van een week (rood).	63
Figuur 5-5	Relatie tussen waterstand (verticale as) en windrichting (horizontale as), gekleurd op windsnelheid. Gestippelde lijn: indicatie voor de oriëntatie van oeverlijn van de pilot.	64

Figuur 5-6	Relatie tussen geschatte opwaaiing (verticale as) en windrichting (horizontale as), gekleurd op windsnelheid. Gestippelde lijn: indicatie voor de oriëntatie van oeverlijn van de pilot.	65
Figuur 5-7	Vergelijking tussen waterstanden uit het operationele WAQUA-model voor het Markermeer en lokale waterstandsmetingen.....	66
Figuur 5-8	Gemeten significante golfhoogte H_{m0} (m).	67
Figuur 5-9	Relatie tussen significante golfhoogte (verticale as) en windrichting (horizontale as), gekleurd op windsnelheid. Gestippelde lijn: indicatie voor de oriëntatie van oeverlijn van de pilot.	68
Figuur 5-10	Combinaties van waterstand en significante golfhoogte voor vier windsectoren.	68
Figuur 5-11	Combinaties van berekende opwaaiing en significante golfhoogte voor vier windsectoren.	69
Figuur 5-12	Verloop in de tijd van waterstand en significante golfhoogte gedurende een tweetal stormen.....	70
Figuur 5-13	Vergelijking tussen de berekende golfhoogte volgens SWAN en op basis van lokale metingen	71
Figuur 5-14	Vergelijking diverse databronnen voor de significante golfhoogte voor de storm van januari 2015.....	72
Figuur 5-15	Vergelijking significante golfhoogte H_{m0} (horizontale as) en piekperiode T_p (verticale as), waarbij de markers zijn gekleurd op windsnelheid.	73
Figuur 5-16	Verhouding tussen windrichting (horizontale as) en golfrichting (verticale as), waarbij de markers zijn gekleurd op windsnelheid.....	74
Figuur 5-17	Vergelijking van de verhouding tussen windrichting en golfrichting vóór en na 22 januari 2015.....	75
Figuur 5-18	Vergelijking stroomrichting (in graden ten opzichte van noord, gedefinieerd als 'komend vanuit') en stroomsnelheid (verticale as), waarbij de markers zijn gekleurd op windsnelheid.	76
Figuur 5-19	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.....	77
Figuur 5-20	Vergelijking windsnelheid (horizontale as) en stroomsnelheid (verticale as) voor vier verschillende windsectoren.....	78
Figuur 5-21	Wind- en golfklimaat hele meetinterval tussen T1 en T14.	81
Figuur 5-22	Wind- en golfklimaat tussen T1 en T2.	81
Figuur 5-23	Wind- en golfklimaat tussen T2 en T3.	83
Figuur 5-24	Wind- en golfklimaat tussen T3 en T4.	84
Figuur 5-25	Wind- en golfklimaat tussen T4 en T5.	85
Figuur 5-26	Wind- en golfklimaat tussen T5 en T6.	86
Figuur 5-27	Wind- en golfklimaat tussen T6 en T7.	87
Figuur 5-28	Wind- en golfklimaat tussen T7 en T8.	88
Figuur 5-29	Wind- en golfklimaat tussen T8 en T9.	89
Figuur 5-30	Wind- en golfklimaat tussen T9 en T10.....	90
Figuur 5-31	Wind- en golfklimaat tussen T10 en T11.....	91
Figuur 5-32	Wind- en golfklimaat tussen T11 en T12.....	92
Figuur 5-33	Wind- en golfklimaat tussen T12 en T13.....	93

Figuur 5-33	Wind- en golfklimaat tussen T13 en T14.....	94
Figuur 6-1	Bodemligging conform eindpeiling DE Combinatie van 15 september 2014.	96
Figuur 6-2	Overzicht bodemligging T1-inmeting op 18 september 2014.	97
Figuur 6-3	Overzicht bodemligging T2-inmeting op 25 oktober 2014.	97
Figuur 6-4	Overzicht bodemligging T3-inmeting op 19 november 2014.....	98
Figuur 6-5	Overzicht bodemligging T4-inmeting op 28 december 2014.	98
Figuur 6-6	Overzicht bodemligging T5-inmeting op 23 januari 2015.	99
Figuur 6-7	Overzicht bodemligging T6-inmeting op 14 februari 2015.	99
Figuur 6-8	Overzicht bodemligging T7-inmeting op 18 (en 21) maart 2015.	100
Figuur 6-9	Overzicht bodemligging T8-inmeting op 6 april 2015.	100
Figuur 6-10	Overzicht bodemligging T9-inmeting op 21 augustus 2015.	101
Figuur 6-11	Overzicht bodemligging T10-inmeting op 15 januari 2016.	101
Figuur 6-12	Overzicht bodemligging T11-inmeting op 28 februari 2016.	102
Figuur 6-13	Overzicht bodemligging T12-inmeting op 27 mei 2016.....	102
Figuur 6-14	Overzicht bodemligging T13-inmeting op 23 augustus 2016.....	103
Figuur 6-14	Overzicht bodemligging T14-inmeting op 23 november 2016.....	103
Figuur 6-15	Verschillen in bodemligging tussen eerste (T1) en de als laatste uitgevoerde inmeting (T14).....	104
Figuur 6-16	Verschil in bodemligging tussen T1- en T2-opname.....	105
Figuur 6-17	Verschil in bodemligging tussen T2- en T3-opname.....	106
Figuur 6-18	Verschil in bodemligging tussen T3- en T4-opname.....	106
Figuur 6-19	Verschil in bodemligging tussen T4- en T5-opname.....	107
Figuur 6-20	Verschil in bodemligging tussen T5- en T6-opname.....	107
Figuur 6-21	Verschil in bodemligging tussen T6- en T7-opname.....	108
Figuur 6-22	Verschil in bodemligging tussen T7- en T8-opname.....	109
Figuur 6-23	Verschil in bodemligging tussen T8- en T9-opname.....	109
Figuur 6-24	Verschil in bodemligging tussen T9- en T10-opname.....	110
Figuur 6-25	Verschil in bodemligging tussen T10- en T11-opname.....	111
Figuur 6-26	Verschil in bodemligging tussen T11- en T12-opname.....	111
Figuur 6-27	Verschil in bodemligging tussen T12- en T13-opname.....	112
Figuur 6-27	Verschil in bodemligging tussen T13- en T14-opname.....	113
Figuur 6-28	Overzicht positie van de zeven geplaatste zakbakens, inclusief de veronderstelde positie van de buitenbegrenzing van het cunet (zwarte lijn).	118
Figuur 6-29	Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb0 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).	120
Figuur 6-30	Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb1 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).	121
Figuur 6-31	Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb2 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).	121
Figuur 6-32	Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb3 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).	121
Figuur 6-33	Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb4 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).	122
Figuur 6-34	Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb5 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).	122

Figuur 6-35	Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb6 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).	123
Figuur 6-36	Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb0.	123
Figuur 6-37	Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb1.	124
Figuur 6-38	Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb2.	124
Figuur 6-39	Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb3.	124
Figuur 6-40	Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb4.	125
Figuur 6-41	Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb5.	125
Figuur 6-42	Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb6.	125
Figuur 6-43	Schematisatie ondergrond Houtribdijk ter plaatse van pilot.	126
Figuur 6-44	Gemeten zettingen uitgezet tegen de afstand in kustdwaarsrichting.	127
Figuur 6-45	Gemeten zettingen in kustdwaarsrichting vergeleken met de voorspelde zettingen op meerdere momenten in de tijd.	127
Figuur 6-46	Gemeten zettingen in zakb0 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.	128
Figuur 6-47	Gemeten zettingen in zakb1 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.	129
Figuur 6-48	Gemeten zettingen in zakb2 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.	129
Figuur 6-49	Gemeten zettingen in zakb3 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.	129
Figuur 6-50	Gemeten zettingen in zakb4 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.	130
Figuur 6-51	Gemeten zettingen in zakb5 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.	130
Figuur 6-52	Gemeten zettingen in zakb6 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.	130
Figuur 6-53	Geschat verloop van het zetting gerelateerd volumeverlies.	131
Figuur 7-1	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.	135
Figuur 7-2	Horizontale monsternamen met grondboor zodat alleen de bovenste 0,5 cm wordt bemonsterd.	135
Figuur 7-3	Locatie monsterpunten onderwater bemonsterd door Shore Monitoring, met weergegeven de diepte van elk monsterpunt op T7.	136
Figuur 7-4	Gemiddelde diepte per monsterpunt in de tijd (gemiddelde van 4 transecten).	136
Figuur 7-5	Boxplots van D10, D50 (rechtsboven), D90 en % fijn zand (rechtsonder), voor beide jaren samen (n=125), en uitgesplitst voor de analyse in 2014 (n=23) en 2015 (n=102). De (boven en onderzijde van de) box geven het 25 en 75 percentiel aan, de horizontale lijn de mediaan, de vlaggen (horizontale lijnen) zijn het 5 en 95 percentiel, de stippen daarbuiten zijn de zogenaamde outliers.	138
Figuur 7-6	Grootte D10, D50 en D90 tijdens de aanleg als functie van de losdag.	139
Figuur 7-7	Boxplots van D10, D50, D90 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 hierin weggelaten.	140
Figuur 7-8	Verschuiving van D10, D50, D90 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 rijsmatconstructie zijn weergegeven. Elk punt is 1 monster. Lineaire regressie is toegevoegd als indicatie van het ruimtelijk patroon.	141
Figuur 7-9	Grootte D10, D50, D90 en % fijn zand op de 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.	142

Figuur 7-10	Boxplots van D50 op de onderwater transecten. S1 = 0,5 m diep, S2 = 1 m diep, S3 = 1,5 m diep, S4 = 2 m diep.	143
Figuur 7-11	Korrelgrootteverdeling onder water (monsternamen 19 november) en op het talud (monsternamen 3 november), directe meting.	144
Figuur 8-1	Schematisch overzicht van aangeplante vlakken (lichtgroen) en kale vlakken (donkerblauw) en locaties van de PQ's (donkere stippen) en exclusies (gele vierkanten). In donkergroen de locatie van de rijsmatten met rietplanten die als additionele proef worden aangelegd op de overgang tussen vak 3 en vak 4.	145
Figuur 8-2	Initiële ontwikkeling van de vegetatie op de rijsmat.	147
Figuur 8-3	Effect exclusie. Foto links: Verschil in hoogte vegetatie binnen en buiten de exclusie. Foto rechts: begrazing buiten de exclusie aan aangeplant riet.	148
Figuur 8-4	Effect inmenging holoceen materiaal. Foto links zand, foto rechts met bijmenging holoceen materiaal.	148
Figuur 8-5	De NDVI groenindex op 12 maart 2015 en 9 september 2015.	149
Figuur 8-6	Muurpeper (op 10 m uit de oeverlijn op het zandige deel van de proefsectie).	150

Annex I

Figuur I - 2-1	Ontwikkeling karakteristiek dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #11).	166
Figuur I - 2-2	Ontwikkeling karakteristiek dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #11) ten opzichte van doorsnijding op NAP-0,3 m niveau.	167
Figuur I - 2-3	Detail ontwikkeling karakteristiek dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #11) ten opzichte van doorsnijding op NAP-0,3 m niveau.	167
Figuur I - 2-4	Detail ontwikkeling karakteristiek dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #11) ten opzichte van doorsnijding op NAP-0,3 m niveau voor meest recente peilingen.	168
Figuur I - 2-5	Detail ontwikkeling ander, meer westelijk gelegen dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #07) ten opzichte van doorsnijding op NAP-0,3 m niveau voor meest recente peilingen.	168
Figuur I - 2-6	Detail ontwikkeling ander, meer oostelijk gelegen dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #15) ten opzichte van doorsnijding op NAP-0,3 m niveau voor meest recente peilingen.	169
Figuur I - 3-1	Relatie tussen helling en korreldiameter (Ref...).	171
Figuur I - 3-2	Afhankelijkheid profielontwikkeling van korreldiameter voor XBeach.	171
Figuur I - 3-3	Resultaat eerste verkenning effect aangepaste asymmetrie-factor op profielontwikkeling.	172

Annex II

Figuur II - 3-1	Bovenaanzicht van dynamische oeverlijn, met grootste uitwijkingen rond de damwand (A) en bij de rijsmatten (C) rond een meer constant middelpunt (B).	184
Figuur II - 3-2	Schematische dwarsdoorsnede van de proefsectie van de dijk (links) tot in het water (rechts).	184
Figuur II - 3-3	Simulaties van golfhoogte-uitdoving in relatie tot talud en vegetatie bij verschillende golf- en waterpeil scenario's voor een geselecteerde locatie per meer (zie tabel 2 voor de uitleg van de scenario's).	186

Figuur II - 3-4	Range van inkomende golfhoogte aan de buitenrand van het rietveld voor verschillende scenario's.	187
Figuur II - 3-5	Inkomende golfhoogte bij verschillende hellingen voor de 4 modelscenario's zoals in tabel 3 beschreven.	188

Annex III

Figuur III - 2-1	Ontwikkeling dwarsprofiel in profiel #11 (op 120 m uit damwand) tot en met de laatste inmeting met daarin aangegeven de gehanteerde niveaus voor het bepalen van de karakteristieke posities van oeverlijn (NAP-0,3 m) en onderlaag (NAP-1,5 m).	198
Figuur III - 2-2	Overzicht ontwikkeling positie oeverlijn (positie doorsnijding op NAP-0,3 m) inclusief naastgelegen secties voor alle inmetingen.	199
Figuur III - 2-3	Overzicht ontwikkeling positie oeverlijn (positie doorsnijding op NAP-0,3 m) voor eerste twee en laatste vier inmetingen, inclusief naastgelegen secties.	199
Figuur III - 2-4	Overzicht ontwikkeling positie oeverlijn (positie doorsnijding op NAP-0,3 m) voor de laatste inmetingen, met het (verdwijnde) effect van de rijsmatconstructie.	200
Figuur III - 2-5	Detail positie oeverlijn over centrale deel proefsectie (tussen damwand en rijsmatconstructie).	200
Figuur III - 2-6	Overzicht variatie in oeverlijnposities in centrale deel proefsectie.	201
Figuur III - 2-7	Tijdsontwikkeling oriëntatie oeverlijn centrale deel proefsectie als functie van de tijd.	201
Figuur III - 2-8	Tijdsontwikkeling ligging positie zwaartepunt centrale proefsectie.	202
Figuur III - 2-9	Overzicht ontwikkeling positie onderlaag (positie doorsnijding op NAP-1,5 m) inclusief naastgelegen secties voor alle inmetingen.	203
Figuur III - 2-10	Overzicht ontwikkeling positie onderlaag (positie doorsnijding op NAP-1,5 m) inclusief naastgelegen secties voor initiële en meest recente opnamen.	203
Figuur III - 2-11	Ontwikkeling positie onderlaag (positie doorsnijding op NAP-1,5 m) in centrale deel voor alle inmetingen.	204
Figuur III - 2-12	Tijdsontwikkeling totaalvolume sinds start inmetingen (T1 op 18 september 2014).	204
Figuur III - 2-13	Vergelijking initiële en meest recente bodemligging ter plaatse van profiel #11 op 120 m uit de damwand voor het droge deel van de proefsectie.	205
Figuur III - 2-14	Schematische weergave van de gehanteerde definities voor de bepaling van de verticale verdeling van de volume-vakken. Er is onderscheid gemaakt tussen 3 lagen: [A] boven NAP +0,5 m, [B] tussen NAP-1 m en NAP+0,5 m, [C] onder NAP-1 m. ...	206
Figuur III - 2-15	Schematisch overzicht van de gehanteerde indeling van volume-vakken in het studiegebied.	207
Figuur III - 2-16	Ontwikkeling volume per laag (A, B en C) en gesommeerd over alle lagen.	208
Figuur III - 2-17	Ontwikkeling volume bovenlaag (laag A) per vak en gesommeerd over alle vakken.	208
Figuur III - 2-18	Ontwikkeling volume oeverlaag (laag B) per vak en gesommeerd over alle vakken.	209
Figuur III - 2-19	Ontwikkeling volume onderlaag (laag C) per vak en gesommeerd over alle vakken.	210
Figuur III - 2-20	Ontwikkeling volume per laag (A, B en C) en gesommeerd over alle lagen.	210

Figuur III - 2-21	Ontwikkeling volume vak 1 per laag en gesommeerd over alle lagen.....	211
Figuur III - 2-22	Ontwikkeling volume vak 2 per laag en gesommeerd over alle lagen.....	211
Figuur III - 2-23	Ontwikkeling volume vak 3 (rijsmatconstructie) per laag en gesommeerd over alle lagen.	211
Figuur III - 2-24	Ontwikkeling volume vak 4 per laag en gesommeerd over alle lagen.....	212
Figuur III - 2-25	Ontwikkeling volume vak 5 per laag en gesommeerd over alle lagen.....	212
Figuur III - 2-26	Ontwikkeling volume in gecombineerde vakken 1 en 2 per laag en gesommeerd over alle lagen.	213
Figuur III - 2-27	Ontwikkeling volume in gecombineerde vakken 4 en 5 per laag en gesommeerd over alle lagen.	213
Figuur III - 2-28	Overzicht profielontwikkeling in profiel #34 op 465 m uit de damwand.	214

Annex IV

No table of figures entries found.

Annex V

No table of figures entries found.

Overzicht tabellen

Algemeen deel

Tabel 1-1	Hoofdstructuur van de overkoepelende pilot-rapportage.....	27
Tabel 1-2	Overzicht hoofdstructuur algemeen deel van de overkoepelende pilot-rapportage. 28	
Tabel 1-3	Overzicht basisrapportages en plaats binnen de overkoepelende pilot-rapportage. . 30	
Tabel 1-4	Overzicht producten en plaats binnen de overkoepelende pilot-rapportage. (NB: De hierin met een vinkje gemarkeerde producten zijn in deze fase van het project reeds afgerond en opgeleverd).....	32
Tabel 2-1	Overzicht mogelijke typen zandige versterkingen en relatie tot de (resterende) rol van de aanwezige dijkconstructie.....	38
Tabel 2-2	Overzicht mogelijke bijdragen van vegetatie aan de functies en veiligheid van de waterkering.....	39
Tabel 2-3	Overzicht relevante EcoShape-projecten.	46
Tabel 2-4	Overzicht relevante lopende (versterkings)projecten (per september 2016).	49
Tabel 2-5	Overzicht relevante onderzoeksprojecten (per maart 2016).....	51
Tabel 3-1	Relatie tussen doelen, onderzoeksthema's en geformuleerde onderzoeksvragen.	54
Tabel 3-2	Relatie tussen doelen, onderzoeksthema's en onderzoeksvragen, inclusief koppeling met de verschillende producten.....	55
Tabel 5-1	Versiebeheer overdrachtstabel hydro/meteogegevens (relevante versies).	60
Tabel 5-2	Richtingsafhankelijke opwaaiing als functie van karakteristieke golfhoogte/windsnelheidsverhouding).	79
Tabel 5-3	Overzicht beschouwde perioden tot en met T13 (23 augustus 2016).....	80
Tabel 5-4	Algemene karakteristieken hele meetinterval (18-9-2014 t/m 23-8-2016).	80
Tabel 5-5	Overzicht events binnen meetinterval T1 – T2.	82
Tabel 5-6	Overzicht events binnen meetinterval T2 – T3.	83
Tabel 5-7	Overzicht events binnen meetinterval T3 – T4.	84
Tabel 5-8	Overzicht events binnen meetinterval T4 – T5.	85
Tabel 5-9	Overzicht events binnen meetinterval T5 – T6.	86
Tabel 5-10	Overzicht events binnen meetinterval T6 – T7.	87
Tabel 5-11	Overzicht events binnen meetinterval T7 – T8.	88
Tabel 5-12	Overzicht events binnen meetinterval T8 – T9.	89
Tabel 5-13	Overzicht events binnen meetinterval T9 – T10.....	90
Tabel 5-14	Overzicht events binnen meetinterval T10 – T11.....	91
Tabel 5-15	Overzicht events binnen meetinterval T11 – T12.....	92
Tabel 5-16	Overzicht events binnen meetinterval T12 – T13.....	93
Tabel 6-1	Overzicht uitgevoerde bodempeilingen tot en met augustus 2016.	95
Tabel 6-2	Overzicht data inmeting van de verschillende zakbakens.	119
Tabel 6-3	Dikte zandpakket (in meters) ter hoogte van de zakbakens gedurende de aanleg van de proefsectie.....	119
Tabel 8-1	Overzicht spontaan gevestigde soorten op bodemtype zand in raai 2 op 10 m uit oeverlijn.....	150

Tabel 8-2	Overzicht spontaan gevestigde soorten op bodemtype zand in raai 3 op 30 m uit oeverlijn.....	150
Tabel 8-3	Overzicht spontaan gevestigde soorten op bodemtype holocene in raai 2 op 10 m uit oeverlijn.....	151
Tabel 8-4	Overzicht spontaan gevestigde soorten op bodemtype holocene in raai 3 op 30 m uit oeverlijn.....	151

Annex I

No table of figures entries found.

Annex II

Tabel II - 3-1	Beschrijving van de referentiemeren (Bron: Van Eerden et al., 2007; Zlinszky, 2013).	185
Tabel II - 3-2	Gebruikte modelscenario's voor inkomende open-water golfcondities en waterstanden.	185
Tabel II - 3-3	Model scenario's voor het ontwerpen van nieuwe vooroevers.	187

Annex III

Tabel III - 2-1	Overzicht volumeverschillen ten opzichte van T1-opname tot en met inmeting T13.	207
-----------------	--	-----

Annex IV

No table of figures entries found.

Annex V

Tabel V - 2.1	Overzicht karakteristieken hydrodynamica en vegetatie per beschouwde locatie...	236
---------------	---	-----

Samenvatting

De thans in uitvoering zijnde pilot voorlandoplossing Houtribdijk, bestaande uit de aanleg van een proefsectie met een voor de dijk gelegen zandaanvulling inclusief monitoringsprogramma, data-analyse en het opstellen van toets- en ontwerptools, is expliciet gericht op het bijdragen aan het sneller en beter onderbouwd kunnen realiseren van zandige versterkingswerken voor met name de belastingomstandigheden voor de grotere meren. De (tussen)resultaten van deze pilot (welke binnen het zogenaamde werkprogramma worden vastgelegd in de vorm van rapportage en toets- en ontwerptools) zullen hun toepassing moeten vinden in zowel lopende en komende HWBP-projecten. Voorbeeld daarvan is de dijkversterking van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Edam waarvan een deel van de versterkingsoplossing bestaat uit een zandige versterking (de zogenaamde oeverdijk). Ook kan de in de pilot opgedane kennis worden gebruikt voor de dimensionering van de zandige versterking van het westelijke deel van de Houtribdijk.

Rol van deze rapportage

Voorliggende rapportage betreft een interim-versie van een 'levend' document waarin (halfjaarlijks) de allerlaatste resultaten en inzichten vanuit de pilot in onderlinge samenhang zijn beschouwd. De voorliggende versie van deze rapportage betreft een update van de versie van september 2016 (EcoShape, 2016c).

Het aan deze uitwerkingen ten grondslag liggende werkplan is hierbij als basis gehanteerd (EcoShape, 2015a). Dit laatste is ook terug te vinden in de opzet en inrichting van deze overkoepelende rapportage waarin aan de uitwerking van elk van de beschouwde onderzoeksthema's een separate basisrapportage en een of meerdere producten zijn gekoppeld.

Naast een algemeen deel omvat deze overkoepelende rapportage dan ook een interim-versie van een vijftal (in annexen opgenomen) basisrapportages en een beschrijving van een zevental (in bijlagen opgenomen) producten.

In het eerste, algemene deel van deze rapportage wordt met name ingegaan op de analyse van de monitoringsresultaten en de verwerking er van tot de voor de beantwoording van de onderzoeksvragen benodigde basisinformatie. In deze zin zal deze rapportage tijdens de uitvoering van de pilot ook (aan)sturend werken op de in de onderliggende werkdocumenten vastgelegde detailuitwerkingen. Ook is een hoofdstuk ingevoegd waarin de problematiek van voorlandoplossingen in een iets breder kader is geplaatst.

Stand van zaken

De huidige versie van deze rapportage geeft een beeld van de stand van zaken per januari 2017 en lag ter vaststelling voor in de stuurgroep-bijeenkomst van 22 februari 2017. De rapportage is voor een overgroot deel inhoudelijk gebaseerd op een door de EcoShape-partners opgestelde werkdocumenten, dit onder andere aangevuld met algemene overwegingen die bij voorlandoplossingen spelen. Omdat de vorige versie van deze rapportage de resultaten bevatte tot september 2016 gaat het in dit geval om een relatief beperkte inhoudelijke update. Wel is de meest recente informatie (waaronder de resultaten van een tweetal inmetingen van de bodemligging in augustus en november 2016) en de hier aan gekoppelde

verwerking opgenomen om deze informatie zo snel mogelijk te kunnen delen met externe belangstellenden.

Een overgroot deel van het hoofdrapport (algemeen deel), de annexen (basisrapportages) en bijlagen (producten) is ook in deze fase van het tot voorjaar 2018 lopende project natuurlijk nog niet volledig ingevuld, deels omdat de analyse van de reeds beschikbare informatie nog niet geheel is afgerond (en de onderliggende werkdocumenten nog niet een finale vorm hebben gekregen), maar ook omdat de hiertoe benodigde informatie (net name de ontwikkeling en de effecten van de vegetatie) in dit stadium van de pilot feitelijk nog niet in voldoende mate beschikbaar is.

In de loop van de uitvoering van het project zal deze rapportage een steeds meer definitieve vorm krijgen en zullen de afgeronde delen als zelfstandig document beschikbaar worden gemaakt.

Dit laatste is nu reeds het geval voor de zogenaamde lessons-learned van het doorlopen vergunningen-traject (zie Bijlage 2 en (EcoShape, 2015b)) en de gerealiseerde aanleg (zie Bijlage 4 en (EcoShape, 2015c)) alsmede voor de guidelines voor vergunningen (zie Bijlage 3 en (EcoShape, 2016a)) en aanleg (zie Bijlage 5 en (EcoShape, 2016b)). De thans in voorbereiding zijnde guidelines hebben betrekking op het ontwerp (zie Bijlage 1) en het beheer en onderhoud (zie Bijlage 6). Later staat, gerelateerd aan het ontwerp, nog het plan van aanpak voor het toetsingsprotocol (zie Bijlage 7) op de planning.

Bevindingen tot nu toe

De pilot heeft sinds de aanleg in juli 2014 (nu dus al twee en een half jaar geleden) al een grote hoeveelheid aan informatie en inzichten opgeleverd welke ook al in andere projecten in met name de Markermeer-omgeving is ingezet. Te noemen zijn bijvoorbeeld het ontwerp van de verschillende zandranden van de Marker Wadden, het voorontwerp van de oeverdijk voor de Markermeerdijk-versterking en het rekenrecept voor de zandige versterking van het westelijke deel van de Houtribdijk.

Ten aanzien van de morfologische ontwikkeling kan de conclusie worden getrokken dat de profielsectie er, ondanks soms zware hydraulische omstandigheden met golven tot 1,2 m) tot nu toe relatief stabiel bij ligt. Dit geldt niet alleen voor het geheel van de aangebrachte zandige driehoek, maar ook voor het loodrecht op de oeverlijn gelegen dwarsprofiel. Het beperkte volumeverlies uit de volledige proefsectie is qua omvang vergelijkbaar met het zetting-gerelateerde verlies, hetgeen duidt op een fysiek sluitende sedimentbalans. Een nadere analyse van de samengestelde morfologie laat zien dat er expliciet onderscheid kan worden gemaakt tussen de ontwikkeling van de lagere vooroever welke geleidelijk aansluiting vindt bij de dwars op de kust aangebrachte damwand en een sneller reagerend hoger gelegen deel dat zich, ook qua oriëntatie, instelt op de momentaan heersende golfval. Daar waar tot de afgelopen zomer nog een laatste rand/rest van de rijsmattenconstructie aanwezig was, is deze inmiddels helemaal verdwenen. Het gevolg hiervan is dat de eerst tweezijdig opgesloten centrale sectie nu gewijzigd is in een enkele, gestrekte proefsectie, welke dus ook als geheel reageert op de wisselingen in de golfvalsrichting.

In dwarsrichting is binnen het direct door de golfaanval aangestuurde profieldeel (grofweg boven het NAP-1 m niveau) sprake van een stabiele profielvorm welke bestaat uit een relatief steil deel (helling orde 1 : 10) rond de waterlijn met daarboven een zogenaamde swash-berm. De ontwikkeling van de profielvorm lijkt tenminste gerelateerd aan de aanwezigheid van relatief grof materiaal en uitzevingseffecten. Ook speelt de typische correlatie tussen de lokale waterstand en de golfhoogte op deze locatie hier een rol bij. Momenteel is een afstudeerder bezig met een nadere analyse van de

sedimentkarakteristieken en de relatie hiervan met de morfologie (Arcadis, 2016c) (Ekdom, 2017). Deze inzichten zijn ook direct van belang voor de numerieke modellering.



Ten aanzien van de vegetatie blijkt het lastig om deze te laten groeien op het rond de waterlijn gelegen deel van de proefsectie. De pogingen hiertoe zijn weinig succesvol gebleken en sluiten ook aan bij de ook elders opgedane inzichten die aangeven dat rietvegetatie niet bestand is tegen golven hoger dan grofweg 20 cm. Op het iets hoger gelegen deel slaat de vegetatie wel goed aan, mede dankzij de in de initiatie-fase ingezette beregening. Ook lijkt een positief effect uit te gaan van de inmenging van de holocene top laag. Het effect van 'graas' op de vitaliteit van de aangebrachte beplanting is in ieder geval initieel duidelijk negatief. Inmiddels ontstaat er ook steeds meer vegetatie op de initieel niet beplante delen van de proefsectie.

In aansluiting op de in 2014 gemaakte luchtopname van de pilot (opname van september 2014) is in juni 2016 opnieuw een opname gemaakt. Het hierboven weergegeven resultaat hiervan laat, naast een meer ontwikkelde vegetatie in de proefvakken, tevens de morfologische ontwikkeling goed zien. Te zien is ook dat de initieel aangebrachte rijsmatconstructie hier inmiddels al grotendeels is verdwenen.

Vooruitblik

Daar waar afgelopen tijd de nadruk lag op de ontwikkeling van de morfologie, zal de aandacht in de komende tijd zich ook richten op de ontwikkeling van de (aangebrachte) vegetatie en de mogelijke interactie met de hydrodynamica. Momenteel worden de resultaten van de vegetatie-opnames verder verwerkt en kan ook een kwantitatief oordeel worden gegeven over de te verwachten vegetatie-ontwikkeling als functie van bijvoorbeeld het innemen van holocene materiaal of de wijze van initiatie (zaaien, planten, e.d.).

Ten aanzien van de morfologie zal komende periode intensief gewerkt aan de modelering met het XBeach-model, en de mogelijkheid om het waargenomen dwarsprofiel te kunnen reproduceren. Dit bleek tot nu toe vrij problematisch waarbij (zoals eerder al aangegeven) met name de rol van het zogenaamde plateau nog onduidelijk is. Dit is ook de reden dat er plannen worden ontwikkeld om de laatste fase van de pilot (zomer 2017 – voorjaar 2018) iets anders in te richten. Daarbij wordt zowel gedacht aan het uitvoeren van aanvullende procesmetingen op dit plateau en/of een fysieke ingreep in het systeem (deels afgraven van dit plateau), dit ondersteund door de uitvoering van meer gedetailleerde modelberekeningen.

In aanvulling op de inmiddels afgeronde guidelines voor vergunningen en aanleg, zal in komende periode gewerkt worden aan de guidelines Ontwerp en de guideline Beheer en Onderhoud, waaraan dus respectievelijk de modellering en de vegetatie-inzichten moeten bijdragen. Ook wordt gewerkt aan een eerste opzet van het zogenaamde toetsingsprotocol.

Verder wordt er dus nagedacht over de meest renderende inrichting van de eindfase van de huidige pilot, maar ook over de voorzetting ervan in een groter kader (bijvoorbeeld op de nog te realiseren zandige versterking van de Houtribdijk). Ook kunnen binnenkort definitieve afspraken worden gemaakt over de overdracht van de proefsectie aan het versterkingsproject.

1 Inleiding

1.1 ALGEMEEN

Op dit moment wordt binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) voor verschillende versterkingsprojecten de afweging gemaakt tussen traditionele versterkingsvormen en meer natuurlijke alternatieven zoals een zandige voorlandoplossing. Deze laatste versterkingsvorm is langs de Noordzeekust, al dan niet in combinatie met een achterliggende harde kering, reeds veelvuldig toegepast. Als voorbeeld kunnen worden genoemd de kustversterkingen bij Scheveningen, Noordwijk en Katwijk. Voor minder energetische omstandigheden, zoals bij meren en rivieren, spelen informatie-lacunes over de haalbaarheid van een dergelijke oplossingen een nog te grote rol in de besluitvorming over de keuze van het type versterking.

In het kader van het HWBP2-innovatiebudget voor projectoverstijgende innovaties, is door RWS-MN met medewerking van Stichting EcoShape een gehonoreerd voorstel gedaan voor de aanleg van een proefsectie van een voorlandoplossing voor de Markermeerzijde van de Houtribdijk.



Figuur 1-1 Overzicht proefsectie langs Houtribdijk in september 2014 na afronding van aanlegfase bij aanvang monitoringsprogramma [bron: opname Mennobart van Eerden].

De pilot, bestaande uit de aanleg van een proefsectie inclusief monitoringsprogramma, data-analyse en het opstellen van toets- en ontwerp tools, is expliciet gericht op het bijdragen aan het sneller en beter onderbouwd kunnen realiseren van zandige versterkingswerken voor met name de omstandigheden voor de grote meren, en kan zo toepassing vinden in zowel lopende en komende HWBP-projecten.

1.2 DOELSTELLING VAN DE PILOT

Het doel van deze tot voorjaar 2018 lopende pilot is het bevorderen van de toepassing van zandige versterkingen voor dijken met milde golfcondities, om zo te komen tot een goedkopere realisatie van een toetsbare en mogelijk 'onderhoudsarme' waterkering.

Om deze strategische doelstelling iets meer concreet te maken is het doel van de pilot geoperationaliseerd tot een drietal onderdelen, namelijk:

- Het komen tot geoptimaliseerde uitvoeringsvormen,
- Het toetsbaar maken van een zandige oplossing en
- Het inzicht verkrijgen in de beheer- en onderhoudsfase en de hiermee samenhangende kosten.

Passend bij deze doelstelling zijn in de opstartfase van het project een groot aantal onderzoeksvragen gedefinieerd. Deze laatste zijn per onderzoeksthema gebruikt om de op te leveren producten te definiëren. Een nadere uitwerking hiervan is beschreven in Hoofdstuk 3 van deze rapportage.

1.3 INRICHTING ACTIVITEITEN

Na een lange voorbereidingsfase is de aanleg van de proefsectie in september 2014 afgerond (zie Figuur 1-1) en is het feitelijke monitoringsprogramma opgestart.

Dit meetprogramma loopt van half september 2015 tot en met maart 2018 en richt zich op drie hoofdonderdelen, te weten de meteorologie en hydrodynamica, de morfodynamica en de vegetatieontwikkeling. De data aangaande de meteorologie en hydrodynamica geeft inzicht in de optredende belasting (windsnelheid, waterstanden, golven en stromingen) en de morfodynamica geeft inzicht in de respons (profielontwikkeling; zowel erosie/sedimentatie-processen als zetting). Ten aanzien van de vegetatieontwikkeling is met name het effect hiervan op de morfodynamica van belang. Ook wordt gekeken naar ecologische meerwaarde en de rol van het beheer.

Het gezamenlijke eindproduct van het pilotproject is contractueel vormgegeven door middel van een viertal werkpakketten (WP1 t/m WP4) waarin de verschillende hoofactiviteiten zijn ondergebracht.

Deze werkpakketten betreffen respectievelijk:

- WP1 - Ontwerp en vergunningen,
- WP2 - Vooronderzoek en aanleg,
- WP3 - Monitoring en analyses en
- WP4 - Werkprogramma en eindrapportage.

De aan de eerste twee werkpakketten (WP1 en WP2) verbonden activiteiten zijn in 2014 al afgerond.

Actueel zijn thans dus nog het monitoringsprogramma (WP3) en het zogenaamde werkprogramma (WP4).

Binnen het werkprogramma wordt invulling gegeven aan de data-analyse, het beantwoorden van de onderzoeksvragen en de bijdrage aan de toets- en ontwerptools.

Het voorliggende document heeft betrekking op het de activiteiten en resultaten van met name het laatste werkpakket (WP4).

1.4 OPZET RAPPORTAGE EN LEESWIJZER

1.4.1 INLEIDING

De voorliggende rapportage betreft in de huidige vorm een interim-versie van een 'levend' document waarin de laatste resultaten en inzichten vanuit de pilot in onderlinge samenhang zijn beschouwd. Het aan deze uitwerkingen ten grondslag liggende werkplan van het werkprogramma is hierbij als basis gehanteerd (EcoShape, 2015a). Dit is ook terug te vinden in de opzet en inrichting van deze rapportage waarin aan elk van de onderscheiden onderzoeksthema's zowel een basisrapportage als een of meerdere producten zijn gekoppeld (zie Tabel 1-1).

Onderdeel	Toelichting	Locatie
Algemeen deel	Onderzoeksvragen, koppeling met monitoringsprogramma	Hoofdstuk 2 t/m 8
Basisrapportages	Ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud, toetsing, opschaling	Annex I t/m Annex V
Producten	Lessons-learned, guidelines, plan van aanpak	Bijlage 1 t/m Bijlage 7

Tabel 1-1 Hoofdstructuur van de overkoepelende pilot-rapportage.

Naast een meer algemeen deel omvat deze rapportage dan ook een eerste versie van een vijftal (in annexen opgenomen) basisrapportages en een zevental (in bijlagen opgenomen) producten. In het algemene deel wordt naast een algemene uiteenzetting over zandige voorlandversterkingen met name ingegaan op de basisanalyse van de monitoringsresultaten en de verwerking er van tot voor beantwoording van de onderzoeksvragen benodigde informatie.

In het volgende is een nadere toelichting gegeven op in de tabel genoemde onderdelen van deze rapportage.

1.4.2 ALGEMEEN DEEL IN HOOFDTEKST

Het algemene deel van de rapportage bestaat uit een vijftal blokken, te beginnen met dit hoofdstuk met inleiding en achtergronden (Hoofdstuk 1).

In Hoofdstuk 2 wordt vervolgens in gegaan op de bredere relatie met ander onderzoek op het gebied van voorlandoplossingen (het zogenaamde framework).

Na deze verbreding wordt in Hoofdstuk 3 de nadere uitwerking van de onderzoeksvragen en de koppeling ervan met de basisrapportages en producten belicht.

Aansluitend volgt een korte toelichting op de rol en invulling van het monitoringsprogramma (Hoofdstuk 4). Het laatste blok bestaat uit een viertal hoofdstukken waarbinnen een eerste verwerkingsslag van de basisresultaten van het monitoringsprogramma (hydro/meteo-data, bodemligging, sedimentkarakteristieken en vegetatie) is beschreven (Hoofdstuk 4 tot en met 8).

Tabel 1-2 geeft een samenvattend overzicht van de verschillende onderdelen.

Onderwerp	Toelichting	Locatie binnen rapportage
Algemeen deel	Doelstelling, opzet rapportage en verantwoording	Hoofdstuk 1
Framework	Karakterisering voorlandoplossingen	Hoofdstuk 2
Onderzoeksvragen	Koppeling met thema's, basisrapportages en producten	Hoofdstuk 3
Monitoringsprogramma	Algemeen deel	Hoofdstuk 4
	Hydro/meteo-data (wind, waterstanden, golven, ...)	Hoofdstuk 5
	Bodemligging (niveaus, zettingen, ...)	Hoofdstuk 6
	Sedimentkarakteristieken (korrelgrootte, verdeling, ...)	Hoofdstuk 7
	Vegetatie (aanleg, ontwikkeling, effecten, ...)	Hoofdstuk 8

Tabel 1-2 Overzicht hoofdstructuur algemeen deel van de overkoepelende pilot-rapportage.

Dit algemene rapportagedeel wordt afgesloten met een overzicht van de relevante literatuur en rapportages, dit inclusief de (soms nog in voorbereiding zijnde) interim-werkdocumenten. In het volgende is een korte schets gegeven van deze onderdelen.

Voorlandoplossingen en relatie met ander onderzoek

In Hoofdstuk 2 is een algemene karakterisering van voorlandversterkingen in relatie tot zowel de rol van het zand en vegetatie binnen de veiligheidsooplossing als de mogelijkheden tot optimalisatie van het ontwerp van zandige versterkingsoplossingen. Deze laatste heeft onder meer een directe relatie met een van de doelstellingen (onderzoeksthema's) van het HPZ-innovatieproject (EcoShape, 2015d). Ook is een relatie gelegd met ander onderzoek dat op het gebied van voorlanden wordt of gaat worden uitgevoerd. Hierbij komt ook de relatie met andere EcoShape-projecten aan de orde.

Koppeling activiteiten met onderzoeksvragen

De aan de basis van deze pilot ten grondslag liggende onderzoeksvragen vormen het uitgangspunt voor de initiële definitie van de op te leveren producten. Deze vertalingsslag vormt ook de basis voor de definitie van het aan het werkprogramma ten grondslag liggende (geüpdatete versie van het) werkplan (EcoShape, 2015a). In Hoofdstuk 3 van deze rapportage is deze aansturende uitwerking in nog iets meer detail uitgewerkt.

Aansluiting op monitoringsprogramma

Het zogenaamde monitoringsprogramma levert de basisinformatie die in het werkprogramma wordt gebruikt voor het beantwoorden van de verschillende onderzoeksvragen. De invulling van het binnen WP3 gepositioneerde monitoringsprogramma is op hoofdlijnen beschreven in het zogenaamde monitoringsplan. De thans vigerende versie van dit monitoringsplan dateert van november 2014 (EcoShape, 2014).

In Hoofdstuk 4 is een korte schets gegeven van het oorspronkelijke plan en is in aanvulling hierop ook aangegeven op welke onderdelen dit plan in de loop van de tijd is aangepast en/of nog zal worden aangepast.

Resultaten van het monitoringsprogramma

Zoals aangegeven, richt het monitoringsprogramma zich op drie hoofdonderdelen, te weten de meteorologie en hydrodynamica, de morfodynamica en de vegetatieontwikkeling. De data aangaande de meteorologie en hydrodynamica geeft inzicht in de optredende belasting (windsnelheid, waterstanden, golven) en de morfodynamica in de morfologische respons (profielontwikkeling; zowel erosie- en

sedimentatie-processen als de zetting). Ten aanzien van de vegetatieontwikkeling is met name het effect hiervan op de morfodynamica van belang. Ook wordt gekeken naar ecologische meerwaarde en de rol van het beheer.



Figuur 1-2 Overzicht proefsectie langs Houtribdijk in juni 2015 na aanbrengen van de vegetatie en een tijdelijke beschermingsdam op het centrale deel van de proefsectie [bron: GoogleEarth-opname 30 juni 2015].

Figuur 1-2 laat zien ter illustratie zien hoe de proefsectie er medio 2015 bij lag. Te zien is de aangebrachte vegetatie (de donkere vlekken) en de structurele destructie van de zogenaamde rijsmatconstructie aan de rechterzijde (oostzijde) van de proefsectie. Ook is de tijdelijke beschermingsdam op het centrale deel van de proefsectie goed te zien, inclusief het effect ervan op de momentane ligging van de waterlijn.

In Hoofdstuk 5 tot en met 8 zijn de binnen WP3 gevalideerde basisresultaten nader beschouwd en beschreven. Het gaat daarbij dus om respectievelijk de meteorologische en hydrodynamische gegevens (Hoofdstuk 5), de bodemligging en zettingsinformatie (Hoofdstuk 6), de sedimentinformatie (Hoofdstuk 7) en de vegetatiedata (Hoofdstuk 8).

Ook is hier het resultaat beschreven van een eerste verwerkings- en analyseslag. Deze zogenaamde ‘opgewerkte’ resultaten zullen vervolgens worden gebruikt voor de opstelling van de verschillende basisrapportages en de daaruit afgeleide producten.

In aansluiting op de in 2014 gemaakte luchtopname van de pilot (zie Figuur 1-1 op pagina 25) is in juni 2016 opnieuw een opname gemaakt. Het resultaat hiervan staat in Figuur 1-3 en laat, naast een meer ontwikkelde vegetatie in de proefvakken, tevens de morfologische ontwikkeling goed zien.



Figuur 1-3 Overzicht proefsectie langs Houtribdijk in juni 2016, anderhalf jaar na de aanleg met ingestelde evenwichtsligging en duidelijk herkenbare vegetatie [bron: opname RWS, Jurriaan Brobbel].

Te zien is ook dat de initieel aangebrachte rijnsmaatconstructie inmiddels grotendeels is verdwenen. Slechts een hoekje ervan was toen nog aanwezig.

1.4.3 BASISRAPPORTEN IN ANNEXEN

De resultaten van de pilot zullen, conform het in maart 2015 vastgestelde werkplan, per onderzoeksthema worden vastgelegd in een vijftal basisrapporten. Het gaat daarbij om de in Tabel 1-3 genoemde rapportages.

Onderzoeksthema	Toelichting	Locatie binnen rapportage
Ontwerp	Natuurlijke geometrie van voorlandoplossingen (rapport I)	Annex I
Aanleg	Aanleg voorlandoplossingen (rapport II)	Annex II
Beheer en onderhoud	Beheer en onderhoud (rapport III)	Annex III
Toetsing	Toetsing van voorlandoplossingen (rapport IV)	Annex IV
Opschaling	Opschaling en business-cases (rapport V)	Annex V

Tabel 1-3 Overzicht basisrapportages en plaats binnen de overkoepelende pilot-rapportage.

Deze rapportages zijn daarbij geclusterd rondom de vijf onderscheiden onderzoeksthema's. Het feit dat een deel van de hiervoor benodigde informatie voor meerdere basisrapporten van belang is en dat er de behoefte om (buiten de basisrapportages om) al een eerste overkoepelende analyse op de monitoringsresultaten te kunnen uitvoeren heeft mede geleid tot de opzet van de voorliggende rapportage en meer specifiek tot het invoegen van een algemeen deel (zie vorige paragraaf) aan deze rapportage.

In het volgende is heel kort ingegaan op de inhoud van de vijf basisrapportages.

Rapport I – Geometrie van voorlandoplossingen (in Annex I)

In Annex I (vanaf pagina 159) van deze rapportage wordt op basis van data-analyse en toepassing van numerieke modellen inzicht gegeven in de natuurlijke helling van het voorland ter plaatse van de proefsectie en de mate waarin het morfologisch model XBEACH deze helling kan reproduceren en de mate waarin vegetatie een voorlandoplossing kan helpen een vooroever te stabiliseren. Deze informatie moet

uiteindelijk worden gebruikt voor de definitie van een ook voor andere locaties en omstandigheden geschikt veiligheidsontwerp.

Rapport II – Aanleg van voorlandoplossingen (in Annex II)

In Annex II (vanaf pagina 177) van deze rapportage wordt op basis van opgedane ervaringen en data-analyse verslag gedaan van het inzicht in het voor de aanleg van een voorland te doorlopen vergunningstraject en de wijze waarop een voorlandtalud op een efficiënte wijze kan worden aangelegd. Ook wordt hierbij aandacht gegeven aan de mogelijkheden voor het gebruik van een mengsel van zand en holoceen materiaal voor (de kern van) een voorlandoplossing en in hoeverre vegetatie op een voorland snel kan worden gerealiseerd.

Rapport III – Beheer en onderhoud van voorlandoplossingen (in Annex III)

In Annex III (vanaf pagina 193) wordt op basis van opgedane ervaringen en data-analyse verslag gedaan van het inzicht in de ontwikkeling van de morfologie, de effecten van structurele verliezen (door de aanwezigheid van een gradiënt in het langstransport) en de voorspelde en gerealiseerde ontwikkeling van de vegetatie.

Rapport IV – Toetsing van voorlandoplossingen (in Annex IV)

Op basis van technische kennis en nadere data-analyse is in Annex IV (vanaf pagina 219) verslag gedaan van nieuwe inzichten in de definitie van een toetsingsprotocol, de rol van de vegetatie binnen de toetsing en de voor de veiligheidstoetsing te hanteren monitoring.

Rapport V – Opschaling en business-cases (in Annex V)

Daar waar de kennisontwikkeling onder de benoemde thema's (ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud, toetsing steeds de nadruk gelegd op het 'vertalen' van de waargenomen/afgeleide resultaten van de proefsectie voor de Houtribdijk, naar meer generieke kennis die toepasbaar is in andere omstandigheden en/of locaties is in Annex V (vanaf pagina 229) een meer integrale verkenning van de mogelijkheden voor voorlandoplossingen in meer concrete zin gepresenteerd. Het gaat hier dus om een op basis van de individuele guidelines gecombineerde verkenning van de (on)mogelijkheden voor de realisatie van een voorlandoplossing op andere locaties.

1.4.4 GUIDELINES IN BIJLAGEN

In aanvulling op de vijf basisrapportages zijn in het kader van de pilot een aantal specifieke producten onderscheiden. Deze zeven producten zijn gelinkt aan de eerdergenoemde basisrapportages en separaat opgenomen in een aantal bij deze rapportage gevoegde bijlagen (Bijlage 1 t/m Bijlage 7) zoals toegelicht in Tabel 1-4. Aan het als laatste genoemde onderzoeksthema is, in aanvulling op de in Annex V opgenomen basisrapportage geen product gekoppeld.

Onderzoeksthema	Gerelateerd product	Locatie
Ontwerp	Guideline ontwerp	Bijlage 1
Aanleg	✓ Lessons-learned vergunningen	Bijlage 2
	✓ Guideline vergunningen	Bijlage 3
	✓ Lessons-learned aanleg	Bijlage 4
	✓ Guideline aanleg	Bijlage 5
Beheer en onderhoud	Guideline beheer en onderhoud	Bijlage 6
Toetsing	Plan van aanpak toetsingsprotocol	Bijlage 7
Opschaling	N.v.t.	N.v.t.

Tabel 1-4 Overzicht producten en plaats binnen de overkoepelende pilot-rapportage. (NB: De hierin met een vinkje gemarkeerde producten zijn in deze fase van het project reeds afgerond en opgeleverd).

In het volgende is een korte schets gegeven van deze producten.

Guideline ontwerp (Bijlage 1)

Deze rapportage beschrijft de wijze waarop voor een specifieke locatie een veiligheidsontwerp voor een voorland kan worden gedefinieerd. Daarbij is ook aandacht worden gegeven aan de rol van de achterliggende dijk bij het ontwerp van de (eventueel hybride) waterkering.

In de komende periode (tweede helft van 2016) verschuift de aandacht naar de definitie en eerste invulling van deze guideline.

Lessons-learned vergunningen (Bijlage 2)

In deze rapportage zijn de tijdens de voorbereiding van de pilot met betrekking tot het vergunningen-traject opgedane ervaringen vastgelegd. Daarbij is onder andere ingegaan op de wijze waarop de in een Natura2000-gebied benodigde vergunningen toch relatief snel konden worden verkregen (EcoShape, 2015b).

Guideline vergunningen (Bijlage 3)

Deze rapportage beschrijft een leidraad voor het te doorlopen vergunningen proces voor het realiseren van voorlandoplossingen. Hierin is beschreven welke vergunningen een rol spelen en op welke wijze het vergunningentraject zo soepel mogelijk kan worden doorlopen. Onderdeel daarvan is ook het inventariseren van de eisen die de vergunningen aan het ontwerp stellen en de wijze waarop er in het ontwerp reeds rekening mee kan worden gehouden.

Inmiddels is de definitieve versie van deze guideline beschikbaar (EcoShape, 2016a).

Lessons-learned aanleg (Bijlage 4)

Deze rapportage beschrijft de tijdens de aanleg van de zandaanvulling opgedane ervaringen. Onderdeel hiervan is ook de analyse van de opgetreden zettingen en de opgetreden verliezen en de mate waarin de in detail ontworpen geometrie daadwerkelijk is gerealiseerd (EcoShape, 2015c).

Guideline aanleg (Bijlage 5)

Dit rapport heeft betrekking op een guideline waarin wordt beschreven op welke wijze een grootschaliger voorlandoplossing zo adequaat mogelijk kan worden aangelegd en wat daarbij de meest kosteneffectieve uitvoeringsmethodieken zijn.

Inmiddels is een definitieve versie van deze guideline beschikbaar gesteld (EcoShape, 2016b).

Guideline beheer en onderhoud (Bijlage 6)

Deze rapportage betreft een guideline waarin is beschreven op welke wijze beheer en onderhoud van een voorlandoplossing zo adequaat mogelijk kan worden uitgevoerd. Daarbij komt tenminste het nut van het innemen van de holocene toplaag, de effecten van verschillende soorten vegetatie, de 'werking' van de rijsmatten en de effecten van begrazing aan de orde.

Plan van Aanpak Toetsingsprotocol (Bijlage 7)

Omdat de verschillende activiteiten per definitie niet tot een volwaardig toetsingsprotocol leiden is separaat product gedefinieerd dat een plan van aanpak voor de definitie van een dergelijk protocol beschrijft. Ook zal hierbij worden aangegeven of het nuttig en verantwoord lijkt de effecten van de aanwezigheid van vegetatie op de veiligheid van een voorlandoplossing in rekening te brengen.

1.5 TOTSTANDKOMING EN VERANTWOORDING

De vierde versie van deze rapportage is (als update van de versie van meest recente versie van september 2016 (EcoShape, 2016c)) opgesteld door H.J. Steetzel en op onderdelen besproken met de direct betrokken EcoShape-partners (zie ook het Colofon op pagina 258 aan het eind van deze rapportage).

Voor de opstelling van deze rapportage is mede gebruik gemaakt van door de EcoShape-partners en/of onderaannemers (in het geval van Shore Monitoring voor de monitoring) opgestelde werkdocumenten waaronder (Deltares/Alterra, 2017), (Shore Monitoring, 2016) en (HKV, 2016) en (Arcadis, 2016c).

De allerlaatste ontwikkelingen zullen uiteraard worden opgenomen in de volgende, nog meer uitgebreide versie van deze interim-rapportage (medio 2017).

2 Voorlandoplossingen

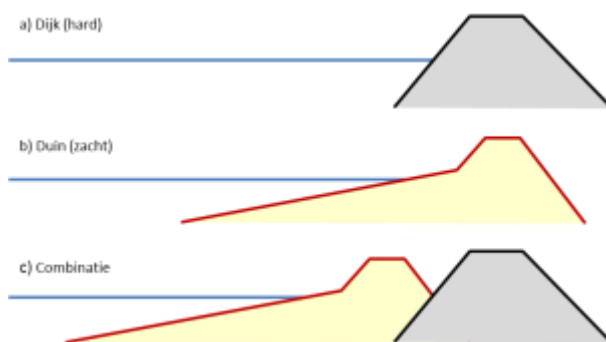
2.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk is de algemene karakterisering van voorlandoplossingen beschreven (Paragraaf 2.2), de rol van vegetatie verkend (Paragraaf 2.3), de uitgangspunten voor het ontwerp van voorlandoplossingen tegen het licht gehouden (Paragraaf 2.4) en is de relatie met aanverwante projecten en onderzoeken benoemd (Paragraaf 2.5).

2.2 TYPERING VAN VOORLANDOPLOSSINGEN

2.2.1 INLEIDING

In Figuur 2-1 is een zeer schematische weergave gepresenteerd van de verschillende typen waterkeringen. Van boven naar beneden respectievelijk een normale dijk, een normaal duin en een combinatieoplossing waarbij de dijk aan de buitenzijde is voorzien van een zandige voorlandaanvulling.



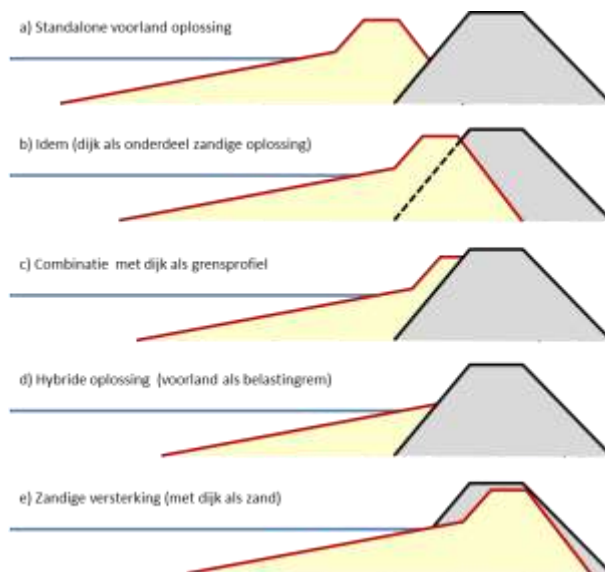
Figuur 2-1 Hoofdtypen waterkeringen, inclusief combinatie-oplossing met voorland.

De laatste combinatie-oplossing vormt het onderwerp van het uitgevoerde onderzoek en de voorliggende rapportage. Duidelijk mag zijn dat er veel mogelijkheden zijn voor de vormgeving en omvang van deze zandige aanvulling, dit afhankelijk van de rol die het voorland en de dijk moeten spelen binnen de totale waterkering.

2.2.2 TYPES VOORLANDOPLOSSINGEN IN RELATIE TOT ROL VAN DE DIJK

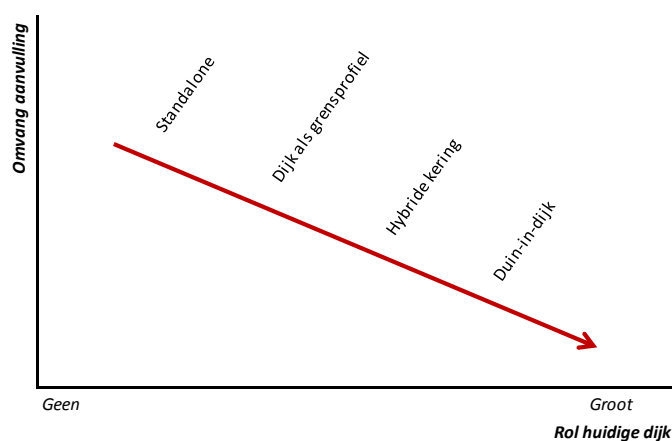
Bij een (aanwezig of voorzien) veiligheidstekort van een waterkering kan er voor worden gekozen om deze zandig te versterken. Dit kan door het aan de voorzijde toevoegen van een zekere hoeveelheid zand.

De omvang van de dan benodigde zandige veiligheidsversterking hangt nauw samen met de (resterende) rol van de aanwezige dijk binnen de nieuwe waterkering. De hierbij relevant geachte mogelijkheden zijn geschetst in Figuur 2-2.



Figuur 2-2 Schematische weergave mogelijke combinatieoplossingen met afnemende omvang benodigde zandige aanvulling.

Hierbij neemt de omvang van de (benodigde) zandige aanvulling van boven naar beneden geleidelijk af. De relatie tussen de rol van de aanwezige dijk en de benodigde versterkingsomvang is schematisch weergegeven in Figuur 2-3.



Figuur 2-3 Omvang benodigde aanvulling als functie van de rol van de huidige dijk.

Op grond van deze karakterisering kan onderscheid worden gemaakt tussen de volgende vier basis-typen voorlandoplossingen:

- De volledig zandige oplossingen: optie a) en b);
- Een 'dijk-als-grensprofiel'-oplossing: optie c);
- Een hybride oplossing: optie d);
- Een (meer theoretische) 'duin-in-dijk-oplossing' (met dijk als zandlichaam): optie e).

In de volgende secties zijn deze versterkingsoplossingen nader beschreven.

2.2.3 VOLLEDIG ZANDIGE OPLOSSINGEN

Optie a) heeft betrekking op een zogenaamde standalone zandige oplossing waarbij de dijk feitelijk geen waterkerende functie meer heeft. De voorliggende zandige waterkering neemt in de nieuwe situatie de waterkerende functie van de dijk volledig over.

Aandachtspunt hierbij is dan mogelijk nog wel de mate waarin de nieuwe zandige waterkering grondwaterdicht is, iets waarin de reeds aanwezige dijk alsnog een rol zou kunnen spelen.

Een dergelijke versterkingsoplossing komt bijvoorbeeld in beeld op het moment dat de dijk een serieus geotechnisch probleem heeft en dus niet meer kan worden gegarandeerd dat deze onder maatgevende omstandigheden stabiel is en blijft.

Optie b) verwijst naar een oplossing waarbij het zandige versterkingsprofiel iets verder richting de dijk is verschoven. De achterzijde van de zandige waterkering vertoont hierbij een zekere overlap met de huidige dijk. Feitelijk wordt dit deel van de dijk in deze oplossing dus als zandig beschouwd. Dit deel van het zandvolume behoeft natuurlijk niet te worden aangebracht en daarmee neemt het benodigde aanvulvolume ten opzichte van de vorige optie enigszins af.

Ook in dit geval wordt de sterkte van de nieuwe waterkering nagenoeg volledig overgenomen door de zandige oplossing. Indien de huidige dijk 'slechts' een kruinhoogte en/of bekledings-probleem heeft, mag duidelijk zijn dat de reststerkte van de huidige, achterliggende dijk dan niet volledig wordt aangesproken.

Voorbeelden

Geaccepteerde voorbeelden van de eerste variant van een dergelijke oplossing zijn de zogenaamde oeverdijkoplossing voor de Markermeerdijk (Arcadis/RHDHV/HHNK, 2015a) (Arcadis/RHDHV/HHNK, 2015b) en de reeds uitgevoerde zandige versterking van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering. In beide gevallen speelt de huidige dijk geen rol meer binnen de nieuwe waterkering.

Een dergelijke versterkingsoplossing is ook voorzien voor de nog uit te voeren versterking van de Prins Hendrikdijk op Texel. Bedoeling is hier om voor de dijk een standalone duinwaterkering in de vorm van een zanddijk aan te leggen.

2.2.4 DIJK ALS GRENSPROFIEL

Optie c) schetst een oplossing waarbij de huidige dijk een meer expliciete rol vervult binnen de nieuwe waterkering. Van belang hierbij is dat voor het ontwerp en toetsen van een zandige waterkering in een technische uitwerking (in principe conform het zogenaamde Technisch Rapport Duinafslag 2006) onderscheid wordt gemaakt tussen het profieldeel dat onder invloed van de maatgevende belasting zal vervormen/afslaan (feitelijk het deel landafwaarts van het maatgevende afslagpunt) en het daarachter nog aanwezige extra benodigde volume dat een daadwerkelijke doorbraak van de waterkering moet voorkomen.

Dit laatste volume wordt in de reguliere uitwerking veelal als het zogenaamde grensprofiel(volume) aangeduid. In deze versterkingsuitwerking wordt dit deel van de waterkering dus overgenomen door een deel van de huidige dijk. De maatgevende afslag mag in een dergelijke oplossing dus reiken tot op het buitentalud van de dijk. In plaats van een zandig grensvolume is er nu dus sprake van een deel van de dijk dat puur rekentechnisch als zandig wordt beschouwd. Omdat het hier primair gaat om een volume-eis en omdat het aangesproken deel van het dijklichaam sowieso 'sterker' is dan los zand, is dit acceptabel.

Ten opzichte van optie a) en b) levert dit dus enige extra dijkwaartse verschuiving op van de zandige aanvulling en vraagt dit dus ook om een geringer aanvulvolume.

Voorbeelden

Voorbeelden van geaccepteerde versterkingsoplossingen die gebruik maken van het principe 'dijk-als-grensprofiel' bevinden zich in Zeeuws-Vlaanderen. Hier is voor een aantal strekkingen van de Zwakke Schakel de zandige versterking (tenminste in eerste aanleg) zo ontworpen dat de maatgevende afslag precies tot de voorzijde van de oude dijk reikt (Alkyon, 2007). De achterliggende dijk neemt dan de functie van het grensprofiel over.

2.2.5 HYBRIDE KERINGEN (INCLUSIEF DIJK-IN-DUIN-OPLOSSING)

Bij het nog verder opschuiven van de zandige aanvulling zou de afslag tot ergens in het dijkprofiel reiken. Indien de dijk, ook in de versterkte situatie, als constructief element wordt beschouwd, leidt het aanwezig zijn van het zandige voorland tot een beperking van de maatgevende golfbelasting op de dijk. Onder de maatgevende belasting (waterstand en golven) zal het voorland niet alleen afslaan en vervormen, maar ook leiden tot een zekere reductie van de maatgevende golfaanval op het buitentalud van de dijk. Afhankelijk van de omvang van het voorland kan bij een initieel afgekeurde dijk de golfaanval op deze constructie dus worden teruggebracht tot een omvang waarbij de aanwezige bekleding en/of de hoeveelheid golfoverslag over de kruin van de dijk alsnog voldoet aan de gestelde criteria. Deze zogenaamde hybride oplossing is in Figuur 2-2 weergegeven als optie d).

Bij een te zwak duin kan het sterktekort ook worden opgelost door het inpassen van een nieuwe dijkconstructie aan de achterzijde van de duinwaterkering. De benodigde omvang van de zandige kering neemt is dan geringer ten opzichte van de eerdergenoemde optie iets wat in een kustplaats-omgeving voordelen kan bieden.

Voorbeelden

Voorbeelden van dergelijk versterkingsoplossingen zijn de Zwakke Schakel versterkingen in Scheveningen-Dorp ('dijk-in-boulevard'), Noordwijk en Katwijk ('dijk-in-duin'). In deze gevallen is een nieuwe dijk gecombineerd met een zandig voorland en is de omvang van het benodigde voorland gekwantificeerd door uit te gaan van een kritieke golfbelasting op de nieuwe dijk.

Een dergelijke hybride versterking is in eerste instantie ook voorgesteld voor de versterking van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering (HPZ) waarbij de benodigde omvang van de zandige aanvulling is afgestemd op de nog toelaatbare belasting op de aanwezige dijk (Arcadis, 2011).

Uiteindelijk is hier, mede op basis van geotechnische argumenten en de veel eenvoudigere toetsingsprocedure, gekozen voor een standalone zandige versterking conform optie a).

2.2.6 DUIN-IN-DIJK-OPLOSSING

Daar waar in optie c) slechts een deel van het dijklichaam als zandig wordt beschouwd, kan er natuurlijk ook worden gekozen voor een oplossing waarbij het zandige ontwerpprofiel nog verder in de dijk wordt geschoven. De in optie e) gegeven schets heeft daarbij betrekking op de situatie waarbij het eerdergenoemde grensprofiel helemaal achter in het dijklichaam is gepositioneerd. Duidelijk mag zijn dat een dergelijke benadering slechts vraagt om een relatief beperkte zandige aanvulling voor de dijk. De combinatie van voorland en dijk moet nu dus als duin worden doorgerekend.

Aandachtspunt hierbij is wel het bezwijkgedrag van de voorzijde van de aanwezige dijk. Indien er rekening moet worden gehouden met een in langsrichting afwijkend gedrag (bijvoorbeeld als gevolg van het lokaal falen van de bekleding), moet een extra (bres)toeslag op de benodigde duin/dijkvolume in rekening worden gebracht. In voorkomende gevallen kan zelfs worden overwogen om de bekleding van de voorzijde van de dijkconstructie (deels) te verwijderen.

Voorbeelden

Een dergelijke benadering is ook aan de orde geweest rondom de inpassing van het grensprofiel in de zandige versterking van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering, dit mede ingegeven door het feit dat een dergelijke insteek in principe het meest sober en doelmatig is. Zoals al eerder aangegeven is daar, mede op basis van geotechnische argumenten en de veel eenvoudiger toetsingsprocedure, uiteindelijk gekozen voor een standalone zandige versterking conform optie a). Mogelijk kan een dergelijke (in principe zeer doelmatige en sobere) oplossing voor een deel van de versterking van de Houtribdijk worden overwogen.

2.2.7 OVERZICHT TYPEN VOORLANDOPLOSSINGEN EN IMPLICATIES

Tabel 2-1 geeft een samenvattend overzicht van de verschillende typen voorlandoplossingen.

Versterkingsoptie	Indicatieve aanduiding	Rol dijklichaam	Opmerking
a) Volledig zandig	Duin als waterkering	Geen	Grensprofiel vóór dijk
b) Idem; verschoven		Beperkt (volume)	Overlap grensprofiel/dijk
c) Combinatie	Dijk als grensprofiel	Grensprofiel	Grensprofiel voor in de dijk
d) Hybride kering	Duin-in-dijk-oplossing	Regulier	Belastingreductie op de dijk
e) Duin-in-dijk	Dijk als duin rekenen	'Duinvolume'	Grensprofiel achter in de dijk

Tabel 2-1 Overzicht mogelijke typen zandige versterkingen en relatie tot de (resterende) rol van de aanwezige dijkconstructie.

Zoals al aangegeven is de (nieuwe) rol van het dijklichaam hierin bepalend.

2.3 ROL VAN VEGETATIE BINNEN VOORLANDOPLOSSINGEN

2.3.1 INLEIDING

Vegetatie op een zandig voorland kan, hetzij direct dan wel indirect, een rol spelen binnen de waterkering. Hierbij valt te denken aan bijvoorbeeld:¹

- Het vasthouden van het ondiepe deel van de vooroever waardoor er relatief gezien minder (morfologisch) onderhoud nodig is;
- Het invangen van materiaal waardoor het volume sneller groeit;
- Het toevoegen van natuurlijke waarde aan een zandige omgeving;
- Het verminderen van de erodeerbaarheid van het sedimentpakket;
- Het reduceren van de golfaanval op de achterliggende kering door de vegetatie zelf;
- ...

In het geval dat de vegetatie ook onder maatgevende omstandigheden, hetzij door reductie van de inkomende golfaanval en/of verminderde erodeerbaarheid van de bodem, een bijdrage levert, resteert natuurlijk nog de discussie of het wel verstandig is om deze mee te nemen in de veiligheidsbeschouwing. Ook als hiertoe niet wordt besloten, kan vegetatie een bijdrage geven aan de groei van het volume en daarmee indirect alsnog van belang zijn voor de ontwikkeling van de veiligheid.

¹ Dit lijstje kan (en zal) natuurlijk nog verder worden uitgebreid. Voorliggende teksten hebben dan ook betrekking op een eerste aanzet.

2.3.2 CATEGORIEËN BIJDAGEN

In onderstaande tabel is getracht de mogelijke bijdragen van vegetatie aan, en functies binnen een waterkering op hoofdlijnen te categoriseren.

Rol vegetatie	Effect op dagelijks beheer	Rol in toetsing en ontwerp
Aanwezigheid	Specifiek onderhoud nodig?	Meerwaarde ontwerp/acceptatie
Invang/vasthouden sediment	Ontwikkeling duinvolume	Gunstig voor volume/veiligheid
	Reductie verliezen/stuifoverlast	Gunstig voor volume/veiligheid
Stabilisatie ondergrond	Reductie beheer door verminderde erosie?	Nog te beoordelen
Reductie golfaanval	Reductie beheer door verminderde belasting?	Nog te beoordelen

Tabel 2-2 Overzicht mogelijke bijdragen van vegetatie aan de functies en veiligheid van de waterkering.

De eerste, basale rol verwijst simpelweg naar de aanwezigheid van vegetatie en de rol die de waardering ervan speelt bij het ontwerp van een nieuwe waterkering. Het invangen en vasthouden van sediment heeft betrekking op een indirect effect van de vegetatie en draagt positief bij aan de volumebalans van de waterkering en daarmee ook aan de mate van veiligheid. De twee laatste rollen van de vegetatie betrekking op de directe fysische effecten van vegetatie op toetsing en mogelijk ook het ontwerp van een waterkering met een voorland.

In het volgende is nog iets verder ingegaan op de verschillende effecten en rollen.

2.3.3 BIJDRAGE AAN NATUURWAARDE

De aanwezigheid van (bepaalde soorten van) vegetatie leidt veelal tot een hogere waardering van de waterkering. Bij het ontwerp van een nieuwe of te versterken waterkering kan deze waardering een rol spelen binnen de afweging die moet worden gemaakt tussen verschillende versterkingsvarianten. Deze waarderingsproblematiek maakt geen onderdeel uit van de voorliggende uitwerkingen.

2.3.4 INDIRECTE BIJDRAGE

De aanwezigheid van vegetatie kan een positief effect hebben op het binnen de waterkering aanwezige zandvolume door het gunstig beïnvloeden van het effect op het wind-gedreven sedimenttransport. Deze bijdrage kan bestaan uit het tegengaan van verliezen door het voorkomen van uitstuiven van materiaal naar achteren en/of juist door het invangen van materiaal aan de voorzijde van de waterkering. Deze bijdrage speelt ook een rol in de tijdsontwikkeling van de veiligheid en daarmee mogelijk ook bij het optimaliseren van het ontwerp van voorlandoplossingen (zie ook Paragraaf 2.4.4). Daarnaast leidt een beperking van de verstuiving natuurlijk ook tot een afname van de stuifoverlast, iets wat juist in de afweging en acceptatie van zandige versterkingen een belangrijke rol speelt.

2.3.5 DIRECTE BIJDRAGE

Zoals al beschreven kan de aanwezigheid van vegetatie ook een direct effect hebben op de veiligheid van de waterkering, namelijk door het vergroten van de erosiebestendigheid en of het reduceren van de hydraulische belasting. Op dit moment bestaan er nog geen gevalideerde procedures waarmee deze effecten op een betrouwbare wijze kunnen worden gekwantificeerd.

Doel van deze pilot is om hier juist een stap in te zetten en zelfs te komen tot een voorstel voor de wijze waarop dergelijke gunstige effecten in de toetsing zouden kunnen worden meegenomen (zie Hoofdstuk 3 van Annex IV en Bijlage 7 (Plan van aanpak toetsingsprotocol)).

2.4 ONTWERP VAN ZANDIGE VERSTERKINGEN

2.4.1 INLEIDING

Voor het ontwerp van de in Paragraaf 2.2 beschreven typen voorlandoplossingen gelden voor het ontwerp van het zandige deel van de versterkingsoplossing thans vrij specifieke richtlijnen.

Bij het ontwerp van zandige versterkingen wordt thans bijvoorbeeld uitgegaan van:

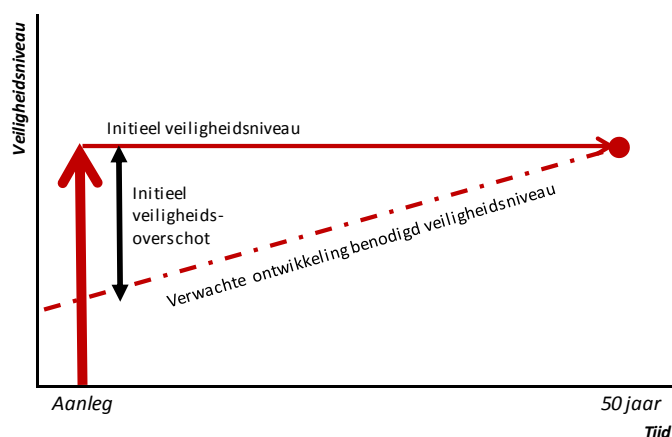
- Een zichttermijn voor de (zandige) versterking van 50 jaar (planperiode);
- Het ontwerpprofiel van de versterking dient te worden gebaseerd op de dan (over 50 jaar) van toepassing veronderstelde hydraulische randvoorwaarden;
- Deze hebben ten minste betrekking op het toepassen van een correctie op de ontwerppeilen voor de verwachte zeespiegelstijging (voor de kust 0,6 m per eeuw conform het zogenaamde middenscenario) en de bij deze hogere ontwerppeilen behorende golfaanval;
- Ook dient er op voorhand te worden gecompenseerd voor de tijdens de planperiode te verwachten zettingen;
- Daarnaast worden er, enigszins afhankelijk van het watersysteem, ook nog soms opslagen (voor waterstand, golfhoogte en golfperiode) in rekening gebracht voor het reduceren van de met onzekerheden samenhangende risico's.

Een dergelijk recept is ook gebruikt ten behoeve van de versterkingsoplossingen voor de zwakke schakels in Noord-Holland (Rijkswaterstaat, 2004).

2.4.2 HUIDIGE ONWERPMETHODIEK

2.4.2.1 BASISPRINCIPE

De genoemde uitgangspunten leiden er toe dat de versterkingsoplossing direct na oplevering per definitie een overmaat aan veiligheid bezit. Dit laatste is geïllustreerd aan de hand van de in Figuur 2-4 gegeven afbeelding waarin de tijdsontwikkeling van het zowel het benodigde als het gerealiseerde veiligheidsniveau is gegeven.



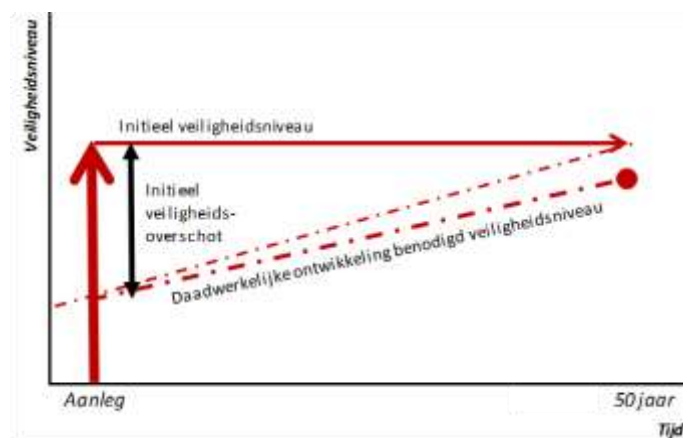
Figuur 2-4 Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij directe realisatie maatgevend geacht veiligheidsniveau.

In dit geval wordt het uiteindelijk gewenste veiligheidsniveau (op basis van de verwachte ontwikkeling van het benodigde niveau) direct na aanleg gerealiseerd. Daarbij wordt dus een deel van de kosten die nodig zijn om de waterkering over 50 jaar precies veilig te laten zijn, reeds bij aanleg gemaakt.

Voordeel van deze methode is overigens wel dat de versterking in de periode na aanleg geen grote ingrepen meer behoeft en dat er reeds kan worden begonnen met optimaal inpassen van de zogenaamde 'ruimtelijke kwaliteit'. Ook kan het soms goedkoper zijn om het uiteindelijk (volgens de huidige inzichten) benodigde volume in een keer aan te leggen.

2.4.2.2 DAADWERKELIJK VERSUS VERWACHT BENODIGD VEILIGHEIDSNIVEAU

Het moet niet worden uitgesloten dat de versterking over 50 jaar nog steeds een overmaat aan veiligheid heeft. Reden hiervoor kan zijn dat de zeespiegelstijging en/of de zetting alsnog beperkter van omvang is en dat er geen onverwachte ontwikkelingen optreden die aanspraak maken op de onzekerheidsopslagen. Deze situatie is voor de situatie zonder natuurlijke trend geschetst in Figuur 2-5.



Figuur 2-5 Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij directe realisatie maatgevend geacht veiligheidsniveau en afwijkend daadwerkelijke ontwikkeling van het benodigde veiligheidsniveau.

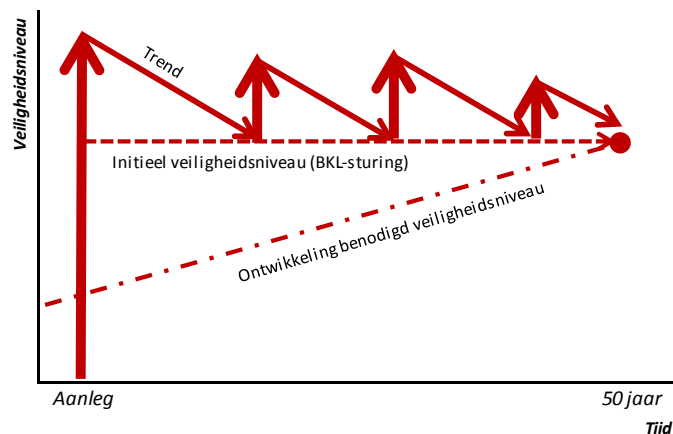
Na 50 jaar is er dan nog steeds sprake van een veiligheidsoverschot.

Hierbij moet worden opgemerkt dat ook tal van niet fysische oorzaken ten grondslag kunnen liggen aan de ontwikkeling van het benodigde veiligheidsniveau. Te noemen zijn bijvoorbeeld het herzien van de wijze van veiligheidstoetsing door aanpassing van de aard (overstromingskansen in plaats van overschrijdingskansen), de zwaarte van de norm alsmede de voor de toetsing te gebruiken procedures en rekenmodellen. Dergelijke beleidsaanpassingen hebben, zeker relatief gezien, een veel grotere impact op het uiteindelijk benodigde veiligheidsniveau.

2.4.2.3 TOEPASSING HUIDIGE METHODIEK BIJ EROSIEF KUSTVAK

Bij het in Figuur 2-4 gepresenteerde voorbeeld is verondersteld dat het benodigde veiligheidsniveau niet in de tijd wijzigt. Bij het beschouwen van een erosief kustvak is dit natuurlijk een niet realistisch beeld. In een dergelijk geval is er sprake van een negatieve trend en zal het veiligheidsniveau zonder ingrepen in de tijd afnemen.

Door het aanbrengen van onderhoudsbuffers kan hierop worden geanticipeerd. Dit leidt dan tot de in Figuur 2-6 gegeven ontwikkeling van het veiligheidsniveau.



Figuur 2-6 Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij directe realisatie maatgevend geacht veiligheidsniveau inclusief aanbrengen onderhoudsbuffers bij erosief kustvak.

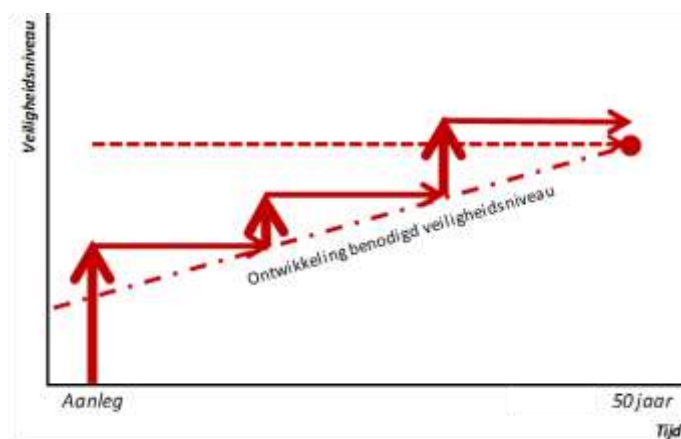
De eerdergenoemde nadelen van deze methode gelden in dit geval natuurlijk ook. Het tijdsgemiddelde veiligheidsoverschot ligt hier zelfs nog hoger.

2.4.3 ALTERNATIEVE METHODE

2.4.3.1 GELEIDELIJKE VERSTERKING

Een logische vraag is dan wel of het gelijk aanbrengen van de '50-jaars veiligheid' eigenlijk wel nodig is en of het niet effectiever zou zijn de benodigde toename van de omvang van de zandige versterking geleidelijk aan te brengen. Dit laatste heeft bovendien het voordeel dat de versterkingsomvang precies kan worden afgestemd op de daadwerkelijke ontwikkeling van de maatgevende condities waardoor over 50 jaar precies wordt aangesloten op de dan daadwerkelijk aanwezige omstandigheden.

In Figuur 2-7 is deze wijze van werken bij het geleidelijk ophogen van het veiligheidsniveau schematisch weergegeven voor een situatie zonder erosieve trend.



Figuur 2-7 Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij stapsgewijs verhogen van het veiligheidsniveau.

In dit voorbeeld is de er zelfs sprake van een beperkt veiligheidsoverschot na 50 jaar en kan de laatste versterking dus nog een paar jaar extra mee.

Tijdens de beschouwde periode is er gemiddeld min of meer sprake van een beperkt veiligheidsoverschot, daar waar in de oorspronkelijke uitwerking (van Figuur 2-3) dit veiligheidsoverschot in de tijd afnam.

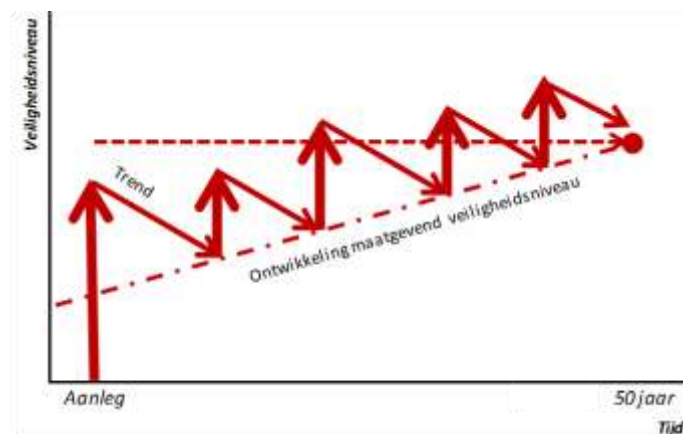
Voor beide opties (Figuur 2-6 en Figuur 2-7) moet, voor het verkrijgen van een vergelijkbaar eindniveau, uiteindelijk een gelijke versterkingsomvang te worden aangebracht.

Voordeel van de laatste, stapsgewijze methode is natuurlijk wel dat een groot deel van de totale versterkingsopgave in de toekomst kan worden uitgevoerd. In de veronderstelling dat er ook op andere plaatsen onderhoud moet worden uitgevoerd (en daarmee de vaste kosten relatief laag zullen zijn), lijkt het een redelijke aanname te veronderstellen dat de deze insteek tot enige kostenbesparing leidt.

2.4.3.2 TOEPASSING ALTERNATIEVE METHODE BIJ EROSIEF KUSTVAK

In lijn met de eerdere uitwerking kan een stapsgewijze versterking natuurlijk ook worden toegepast voor een erosief kustvak.

Dit leidt tot het in Figuur 2-8 geschetste verloop van het veiligheidsniveau.



Figuur 2-8 Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij stapsgewijs verhogen van het veiligheidsniveau inclusief aanbrengen onderhoudsbuffers bij erosief kustvak.

De totale versterkingsopgave is ook hier weer gelijk aan de situatie van Figuur 2-6 en Figuur 2-7. Ook hier geldt echter weer geldt dat een groter deel van de versterkingsopgave naar de toekomst kan worden verschoven.

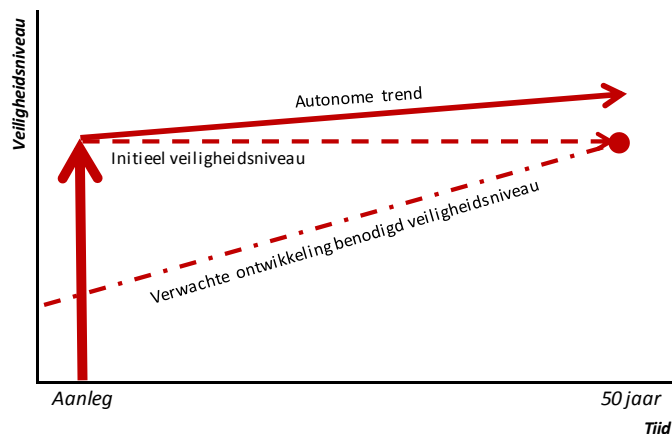
Conclusie is dan ook dat, onafhankelijk of er al dan niet sprake is van een autonome erosieve trend het stapsgewijs versterken van de waterkering mogelijkheden biedt voor kostenbesparingen.

2.4.4 MOGELIJKE OPTIMALISATIES

2.4.4.1 STIMULERING VAN NATUURLIJKE AANGROEI (GEOMETRIE)

In de eerdere uitwerkingen is steeds uitgegaan dat er geen sprake is van een zekere autonome ontwikkeling in de sterkte van de waterkering, waarbij de benodigde toename van de sterkte van de waterkering in de loop van de komende 50 jaar 'eigenhandig' zal moeten worden toegevoegd.

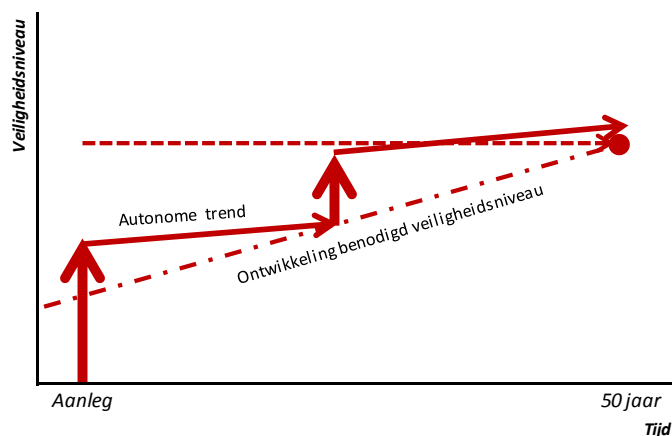
Indien dit wel het geval is (en de waterkering als het ware groeit), neemt het gemiddelde veiligheidsoverschot nog verder toe (zie Figuur 2-9).



Figuur 2-9 Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij directe realisatie maatgevend geacht veiligheidsniveau en aanwezigheid autonome aangroei.

Daar waar er per definitie sprake is van een natuurlijke aangroei van het dwarsprofiel is het natuurlijk niet nodig om het volledige tekort 'eigenhandig' aan te vullen. Deze natuurlijke aangroei is voor een situatie langs de Noordzeekust enigszins afhankelijk van de breedte van het voorliggende strand en bedraagt orde 10 tot 20 m³/m¹/jaar. Deze 'gratis' aanrijking maakt het kiezen voor de 'geleidelijk toevoegen'-optie natuurlijk nog interessanter.

Dit leidt tot het in Figuur 2-10 geschetste ontwikkeling.



Figuur 2-10 Ontwikkeling veiligheidsoverschot bij stapsgewijs verhogen van het veiligheidsniveau en aanwezigheid autonome trend.

Het totaal nog 'eigenhandig' toe te voegen volume neemt hiermee immers nog verder af en de hiermee samenhangende kosten dus ook.

2.4.4.2 INZET VEGETATIE TER STIMULERING VAN VOLUMETOENAME (INDIRECT EFFECT)

Voor het nog een stapje verder reduceren van het ontbrekende volume kan de aanwezigheid van vegetatie worden gebruikt. Door de aanwezigheid van vegetatie kan de invang/aangroei van het volume (en daarmee de sterkte van de waterkering) nog worden versterkt. De mate waarin hangt hierbij af van de omvang van de vegetatie en is weer afhankelijk van de ontwikkelingsfase van de vegetatie.

Dit leidt tot een nog verdere reductie van het nog toe te voegen volume.

2.4.4.3 GEBRUIK VAN VEGETATIE TER VERGROTING VAN DE VEILIGHEID (DIRECT EFFECT)

De aanwezigheid van vegetatie kan ook een direct positief effect hebben op de veiligheid van de waterkering. De mate waarin hangt af ook af van het ontwikkelingsstadium van de vegetatie. De mate waarin er met deze effecten kan en mag worden rekening gehouden is onderwerp van de pilot. In het geval dat vegetatie een daadwerkelijke bijdrage kan leveren, kan het ook van belang zijn om deze veiligheidsbijdrage te gebruiken voor de toetsing en het ontwerp van voorlandoplossingen.

2.4.5 OVERZICHT OPTIMALISATIEMOGELIJKHEDEN

Nog verder in te vullen.

2.5 RELATIE MET ANDERE PROJECTEN EN ONDERZOEK

2.5.1 BWN/ECOSHAPE-PROJECTEN

2.5.1.1 OVERZICHT

Binnen het Building with Nature (BwN) innovatieprogramma worden zogenaamde waterbouwkundige infrastructuren ontwikkeld, die zowel aan de eisen van de samenleving voldoen, als dat ze nieuwe kansen creëren voor de natuur. Het belangrijkste resultaat van het programma zijn ontwerprichtlijnen om 'Bouwen met de Natuur' in praktijk te brengen. Het programma wordt uitgevoerd door EcoShape, een consortium van overheden, kennisinstellingen en private partijen.

In EcoShape-kader zijn er meerdere projecten in uitvoering welke zijn thans ingedeeld naar de fysieke waar deze worden uitgevoerd. Daarbij worden onderscheiden:

- Zandige oevers;
- Estuaria;
- 'Tropical coastal seas';
- 'Shallow coastal seas';
- Meren ('Delta lakes').

De pilot Houtribdijk maakt deel uit van de als laatste genoemde categorie. Hieronder vallen ook het NWO BE-SAFE-project en de 'Zachte zandmotor Friese IJsselmeerkust'.

Het is met name het BE-SAFE-project dat een nauwe relatie heeft met het voorliggende onderzoeksprogramma.

Verder is er een verbondenheid met de binnen de categorie 'Zandige oevers' lopende projecten. Dit betreft de Delflandse zandmotor en de Hondsbossche en Pettemer Zeewering (HPZ).

Tabel 2-3 geeft een overzicht van de EcoShape-projecten die een relatie hebben met de pilot Houtribdijk.

Project	Status	Toelichting
Zandmotor	Lopend project	Veel relevante onderzoeksporen
NWO BE-SAFE	Lopend project	Richt zich o.a. op de effecten van kwelders en schorren
HPZ-innovatieproject	Inmiddels lopend project	Met name een relatie met thema B (optimalisatie veiligheidsoplossing)
...		

Tabel 2-3 Overzicht relevante EcoShape-projecten.

Een korte toelichting op deze projecten is gegeven in het volgende.

2.5.1.2 ZANDMOTOR

Binnen het zandmotorproject worden de voordelen van zandige suppleties geconcentreerd in ruimte en tijd verkent. Dit betreft een nieuwe strategie voor kustonderhoud gericht op het gebruik van de krachten van de natuur zoals de wind, golven en stromingen om zo de Nederlandse kust te versterken.

Tegelijkertijd stimuleert deze oplossing de ontwikkeling van nieuwe duinen en bijbehorende waardevolle flora en fauna. De eerste resultaten laten zien dat deze strategie effectief is in het tegengaan van kusterosie terwijl het de mogelijkheden van natuur en recreatie stimuleert.

Sinds de oplevering van het project in 2011 vindt regelmatig monitoring van de ontwikkeling van de zandmotor plaats. Voorlopige resultaten laten zien dat deze zich gedraagt zoals verwacht. Sediment wordt verspreid langs de kust en naar de duinen, zeehonden bezoeken het gebied en er groeien zeldzame planten op nieuwgevormde jonge duinen. Daarnaast is de zandmotor zeer in trek bij wind- en kitesurfers.

Een traditioneel ontwerp van een zandige suppletie heeft als hoofddoel het onderhouden van de kustlijn, gebruik makend van middelgrote zandvolumes (2 tot 5 miljoen m³). De levensduur van de suppletie is typisch zo'n vijf jaar, wat betekent dat de suppletie elke vijf jaar herhaald moet worden resulterend in een frequente verstoring van het aanwezige ecosysteem. Het zandmotor experiment bestaat uit een geconcentreerde zandsuppletie van 21,5 miljoen m³ die tot ongeveer 5 meter boven zeeniveau is aangelegd. Het zand wordt door de natuurlijke processen geleidelijk verdeeld over de vooroever, strand en duinen. Deze innovatieve aanpak streeft ernaar om de verstoring van het ecosysteem te beperken door gebruik te maken van de natuurlijke processen, terwijl het nieuwe plekken biedt voor natuur en recreatie.

De strategie van geconcentreerde suppleties wordt gezien als een klimaat-robuuste en natuurvriendelijke oplossing van het tegengaan van kusterosie, terwijl het (tijdelijke) surplus van zand ook nieuwe gebieden voor natuur en recreatie met zich mee brengt. Aangezien de frequentie van verstoring veel lager is dan de traditionele suppleties, krijgt de natuur langer de tijd om zich te ontwikkelen naar nieuwe ecosystemen met meer biodiversiteit.

Vanaf het begin is het zandmotorexperiment een samenwerkingsverband tussen publieke instanties, private ondernemingen en onderzoeksinstituten. Dit heeft geresulteerd in het feit dat de zandmotor een speerpunt vormt voor kustonderzoek en wordt gezien als een innovatieve oplossing voor het beheer van de kust. In de komende vijf jaar zal het project veelvuldig gemonitord worden en zijn er uitgebreide onderzoeksprogramma's opgesteld die de ontwikkeling van de zandmotor nauwkeurig zullen onderzoeken evenals de drijvende krachten – zowel fysisch, ecologisch als sociaal.

In het kader van het zandmotorexperiment worden de volgende producten ontwikkeld:

- Praktische richtlijnen voor het ontwerp en implementatie van kustbeheerprojecten;
- Instrumenten voor een snelle inschatting van optimale locaties, volumes, frequentie en vorm van suppleties;
- Gedetailleerde simulatiemodellen voor de voorspelling van de morfologische ontwikkeling in de tijd, het proces van duinvorming en de effecten op het milieu;
- Lessons-learned, inclusief de potentie van geconcentreerde suppleties om de kustveiligheid te vergroten terwijl het mogelijkheden biedt voor natuur en recreatie;
- Advies op het gebied van bestuurskunde, zoals hoe identificeer (en betrek) je alle relevante eindgebruikers en hoe zorg je ervoor dat de publieke, private en academische partners deelnemen.

Rijkswaterstaat en de provincie Zuid-Holland zijn initiatiefnemers. Boskalis en Van Oord hebben de pilot uitgevoerd, terwijl de monitoring wordt uitgevoerd door Deltares, Imares en Witteveen+Bos.

2.5.1.3 BE SAFE

Het BE SAFE programma heeft tot doel bij te dragen aan de “vergroening van de waterveiligheid” en richt zich op het benutten van begroeide vooroevers, zoals schorren en kwelders, om overstromingsrisico's te reduceren. Het doel is om meer inzicht te krijgen in de werking van vooroever systemen en de wijze

waarop deze kunnen bijdragen aan hoogwaterbescherming. Het project zal resulteren in nieuwe kennis en methoden om vooroeversystemen te kunnen beoordelen, ontwerpen, aanleggen en beheren.

Het project integreert daarbij kennis op het gebied van ecologie, morfologie, waterbouwkunde en bestuurlijke implementatie. Aan de hand van verschillende case-studies wordt het fundamentele gedrag van vooroeversystemen in het veld, in het laboratorium en met computermodellen bestudeerd. In een toegepaste case wordt onderzocht hoe een vooroever kan bijdragen aan een geplande dijkversterking in Nederland en hoe de samenwerking tussen diverse betrokken partijen kan worden vormgegeven. Door de samenwerking van de onderzoekers met Rijkswaterstaat, het bedrijfsleven en natuurorganisaties kunnen de oplossingen die uit het onderzoek volgen direct in de praktijk geïmplementeerd worden.

Het doel is dus het ontwikkelen van nieuwe methoden voor het beoordelen hoe en hoeveel begroeide vooroevers kunnen bijdragen aan het verminderen van overstromingsrisico's. Het project zal leiden tot een beter begrip van (de onzekerheden in) de werking en stabiliteit van deze ecosystemen en de ontwikkeling van nieuwe bestuurlijke afspraken. Dit vereist de integratie van kennis uit de ecologie, biogeomorfologie, waterbouw en governance.

Door veldwaarnemingen en stroomgoot metingen zullen we fundamentele ecologische en fysische processen analyseren van verschillende soorten vooroever vegetaties. De verkregen kennis zal in één implementatie casestudy worden toegepast voor een locatie in Nederland waar dijkversterking nodig is in de toekomst. Deze casestudie integreert fundamentele kennis uit alle disciplines.

Het project zal zorgen voor de kennis, methoden en hulpmiddelen (bijvoorbeeld een interactieve ontwerptool) die nodig zijn voor het ontwerp en de uitvoering van begroeide vooroevers als een veilige, ecologisch wenselijk en kosteneffectief alternatief in waterveiligheid.

2.5.1.4 HPZ INNOVATIEPROJECT

Op dit moment vindt er nog overleg plaats over het definitief invullen van een innovatieproject gerelateerd aan het aanleggen van een vooroever, duin en strandsuppletie zoals deze recent is uitgevoerd bij de Hondsbossche en Pettemer Zeewering. Het innovatieproject heeft als doel het analyseren van meet- en monitoringsgegevens afkomstig van dit "zachte" kustverdedigingsproject, alsmede het opschalen van de resultaten voor mogelijke toepassingen elders.

Binnen het op hoofdlijnen gedefinieerde werkprogramma worden drie verschillende themalijnen gedefinieerd, te weten:

- A. Habitatontwikkeling;
- B. Optimalisatie veiligheidsontwerp;
- C. Beleving.

Binnen de themalijn B 'Optimalisering Veiligheidsontwerp' ligt de focus op de profielontwikkeling. Belangrijke vragen zijn daarbij: welke elementen en maatregelen zijn gebruikt in het ontwerp, wat was hun functie en wat was hun effect op de veiligheid van de kustverdediging? Dit leidt tot vragen zoals:

- Hadden sommige elementen optimaler kunnen worden ingezet om de gewenste veiligheid te krijgen?
- Waren eisen van de Opdrachtgever hierin beperkend?
- Welke eisen dient een opdrachtgever te stellen om optimaal gebruik van maatregelen en ontwerp-principes mogelijk te maken?
- Hoe zeker is het effect van de maatregelen?

- Hoe kunnen deze inzichten landen in het toetsen?

Er wordt hierbij gekeken naar de verschillende elementen, zoals:

- De aangebrachte maatregelen zelf (e.g. rijshout, helm),
- De functie van het geometrisch profiel (e.g. een breder duin zal meer doorstuif tegengaan dan een smal duin).

Nog aan te vullen als dit project nog iets verder op streek is.

2.5.2 VERSTERKINGSPROJECTEN

2.5.2.1 OVERZICHT

Relevante lopende projecten zijn samengebracht in Tabel 2-4. Het gaan hier zowel om versterkingsprojecten als projecten in (komende) realisatie waar een zandig voorland deel uit maakt van de oplossing.

Project	Status	Toelichting
Marker Wadden (MW)	Gaat zeer binnenkort in uitvoering	Mogelijkheden voor aanvullende monitoring ten aanzien van met name de zogenaamde zachte randen.
Versterking Markermeerdijken (MMD)	Start opstellen voorontwerp t.b.v. vergunningen gevolgd door detaillering van de voorbereiding van de uitvoering	Met name de totaal 10 km zandige versterking (oeverdijk-oplossing) bestaande uit een 4-tal hoofdsecties.
Versterking Houtribdijk	Nog in planfase	Reeds lopende afstemming op invulling onderdelen aanbestedingscontract
Versterking Prins Hendrikzanddijk (PHZD)	Nog in planfase	Aanleg zanddam/duin voor dijk in combinatie met natuurontwikkeling
...		

Tabel 2-4 Overzicht relevante lopende (versterkings)projecten (per september 2016).

2.5.2.2 REALISATIE MARKER WADDEN (ZACHTE RANDEN)

Dit betreft een uniek project dat zorgt voor natuurherstel van het Markermeer door de aanleg van eilanden met zand, klei en slib uit het Markermeer. Met de aanleg van Marker Wadden worden meerdere problemen aangepakt.

Zand, klei en slib uit het Markermeer worden gebruikt om op grote schaal paaiplaatsen, eilanden en natuurlijke oevers te maken. Bedreigde dieren en planten profiteren hiervan. Met dit herstel wordt een robuust natuurgebied in het hart van Nederland gecreëerd dat voor de hele Nederlandse natuur van groot belang is. Tegelijkertijd wordt het Markermeer zo aantrekkelijker. Zo zijn de nieuwe natuureilanden straks toegankelijk voor natuurliefhebbers en watersporters.

Het project Marker Wadden is een initiatief van Natuurmonumenten en kan in de loop van de tijd doorgroeien tot 10.000 hectare en is daarmee een van de grootste natuurherstelprojecten van West-Europa.

Stand van zaken maart 2016

Tijdens de voorbereiding van de aanbiedingen is eind mei 2015 door de pilot/EcoShape een presentatie gegeven aan de belangstellende partijen. Doel van deze bijeenkomst was het delen van de laatste inzichten en daarmee ook het gelijkschakelen van de kennis vanuit de pilot.

In de zomer van 2015 is het project gegund aan Boskalis.

In relatie tot de pilot Houtribdijk is met name het ontwerp en de aanleg van de zogenaamde zachte randen van belang. Voor de detaillering van het ontwerp is gebruik gemaakt van de in het kader van de pilot opgedane inzichten.

Omdat er nog veel onzekerheden aanwezig zijn lijkt het voor de hand te liggen de morfologische ontwikkeling van de aangelegde randen intensief te monitoren. Hier moeten nog afspraken over worden gemaakt.

2.5.2.3 VERSTERKING MARKERMEERDIJKEN (OEVERDIJKTRAJECTEN)

De zogenaamde oeverdijk betreft een alternatieve dijkversterkingsmethode, waarbij de waterkerende functie van de thans aanwezige dijk wordt overgenomen door een nieuwe, voor de huidige dijk aan te leggen waterkering. Dit alternatief voor de dijkversterking tussen Hoorn en Amsterdam, is als voorkeursvariant gekozen voor een aantal langere dijktrajecten op het noordelijke deel tussen Hoorn en Volendam (HHNK, 2014). In het totaal gaat het om 10 km oeverdijk verdeeld over een vijftal trajecten (Hoorn, Hoornse Hop Noord en Zuid, Zeevang en Volendam).

Stand van zaken (maart 2016)

Voorjaar 2015 is er door Arcadis gewerkt aan de laatste versie van de technische onderbouwing van de zogenaamde oeverdijkrapportages. Deze zijn eind mei opgeleverd. In met name het zogenaamde veiligheidsrapport zijn de laatste inzichten vanuit de pilot Houtribdijk al verwerkt.

Kern daarvan is dat het basisontwerp van de oeverdijk (met een korreldiameter van 0,2 mm) niet zonder meer bruikbaar is als er gebruik wordt gemaakt van veel grover zand. Dit lijkt een van de meest belangrijke eerste uitkomsten van de pilot. In deze zin is de kennis uit de pilot direct geland binnen het versterkingsproject MMD. In het kader van de pilot is inmiddels verkend in hoeverre de modellen (en dan met name het zogenaamde XBeach-model) geschikt kan worden gemaakt om deze vertaling te doen.

Inmiddels is de zogenaamde projectalliantie (aannemerscombinatie, HHNK/RWS, adviseurs) ingesteld en ligt er ook een planning voor de vervolgitwerkingen. Daarbij is het de bedoeling om in het voorjaar van 2016 een keuze te maken voor de definitieve hoofdlijn van het ontwerp (het zogenaamde Voorontwerp Projectplan; VOPP+) en rond de zomer voldoende informatie te hebben voor het opstarten van het vergunningentraject. Aansluitend volgt het detailontwerp (DO) en het uitvoeringsontwerp (UO) gevolgd door start uitvoering medio 2017.

Ten behoeve van de afstemming op de pilot is in het voorjaar van 2016 reeds een workshop georganiseerd.

2.5.2.4 VERSTERKING HOUTRIBDIJK (DEEL ZANDIGE VERSTERKING)

De Houtribdijk ligt tussen Lelystad en Enkhuizen en tussen Markermeer en IJsselmeer. Bij de landelijke toetsing aan de norm voor de waterveiligheid in 2006 is gebleken dat verbeteringen nodig zijn om het achterland ook op lange termijn veilig te houden. Deze dijk moet dan ook over een lengte van ruim 25 km versterkt worden.

In april 2014 heeft de minister van Infrastructuur en Milieu het voorkeursalternatief voor de versterking van de dijk vastgesteld. Dit voorkeursalternatief gaat uit van een overslagbestendige dijk met een stenen bekleding tussen Lelystad en Trintelhaven aan beide zijden van de dijk en een versterking met zand

tussen Trintelhaven en Enkhuizen. De zandige versterking 'raakt' zowel technisch inhoudelijk als qua locatie direct aan de pilot.

Stand van zaken (maart 2016)

De afstemming op het versterkingsproject is meerdere keren doorgesproken met de verantwoordelijk technisch en projectmanager. Daarbij is ook steeds de actuele stand van zaken en de vooralsnog door het project aangehouden planning (met start aanbesteding begin 2016) aan de orde geweest.

De reeds beschikbare pilot-inzichten die van nut kunnen zijn voor de definitie van het voorontwerp van de zandige versterking zijn beschikbaar gesteld.

Er is nog wel een mogelijk probleem in 2017/2018. Bij de uitvoering van een zandige versterking aan de Markermeerzijde van de dijk valt de pilot samen met de zuidoostelijke beëindiging van deze zandaanvulling. Gelet op de aanwezige richting van het netto zandtransport (naar noordwest) lijkt het logisch om op ter hoogte van Trintelhaven juist een sedimentbuffer te plaatsen en de verdere aanvulling van de vooroeverversterking van hieruit in noordwestelijke richting uit te bouwen. Dit zou mogelijk kunnen leiden tot een probleem. Daartoe afgesproken dat de verschillende aanbieders rekening moeten houden met een niet toegankelijke zone in de directe omgeving van de pilot. Anderzijds zullen er ook nog afspraken moeten worden gemaakt over het op tijd verwijderen van de aan de noordwestzijde van de proefsectie aanwezige opsluitconstructie.

2.5.2.5 AANLEG PRINS HENDRIKZANDDIJK

Voor de versterking van de Prins Hendrikdijk op Texel (dijktraject 9) wordt een zandige oplossing voorzien, bestaande uit een zanddam/veiligheidsduin voor de dijk in combinatie met een natuurontwikkeling op het hier relatief brede voorland.

Stand van zaken (maart 2016)

Dit project moet nog worden aanbesteed.

2.5.3 ONDERZOEKSPROJECTEN

2.5.3.1 OVERZICHT

De in de pilot opgedane kennis is relevant voor de in Tabel 2-5 opgenomen onderzoeksprojecten.

Project	Status	Toelichting
POV-Waddenzeedijken	Onderzoek in voorbereiding; Opstart najaar 2016	Thema voorlanden binnen HR-spoor
Definitie onderzoeks-plannen WTI2023	Verkenning onderzoeksthema's	Voorlandproblematiek binnen duinenspoor
...		

Tabel 2-5 Overzicht relevante onderzoeksprojecten (per maart 2016).

2.5.3.2 POV-WADDENZEEDIJKEN (VOORLANDEN)

In het kader van de POV-Waddenzeedijken heeft een onderdeel van een van de drie studiesporen (het spoor dat zich richt op de hydraulische randvoorwaarden) betrekking op voorlanden. In het betreffende projectvoorstel is reeds een directe link gelegd met de pilot Houtribdijk.

Inmiddels is ook afgesproken dat dit studieproject direct zal worden gekoppeld aan een 'naar voren gehaald' HWBP-versterkingsproject langs de Noord Friese Waddenkust.

De verdere vervolgstappen (inclusief het daadwerkelijk opstarten van de studie) worden vanaf voorjaar 2016 opgestart.

2.5.3.3 *DEFINITIE ONDERZOEKSPLANNEN WTI2023 (VOORLANDEN)*

Binnen het thans in ontwikkeling zijnde Wettelijk Toetsingsinstrumentarium (WTI2017) hebben voorlanden en hybride keringen helaas geen plaats gekregen.

Voor het daaropvolgende WTI is dit vooralsnog wel de bedoeling.

Inmiddels zijn er, ten behoeve van het opstellen van de kennisagenda waterveiligheid, meerdere onderzoeksvoorstellen voor het WTI2023 voorbereid.

Onderdeel daarvan is ook een onderzoeksvoorstel voor de studies rondom voorlanden en hybride keringen. Insteek is dat deze optimaal zal aansluiten op de resultaten van onze pilot.

3

Koppeling met onderzoeksvragen

3.1 INLEIDING

Binnen het zogenaamde werkprogramma zijn in de opstartfase van de pilot de aan de opdracht ten grondslag liggende onderzoeksvragen opgesteld alsmede de aan de doelen gekoppelde producten gedefinieerd.

Het voorliggende hoofdstuk gaat iets dieper in op deze koppeling en legt daarmee een direct verband tussen de oorspronkelijk gedefinieerde onderzoeksvragen, de nagestreefde (en op te leveren) producten en het onderdeel van de rapportage waarin deze resultaten zijn beschreven.

3.2 ONDERZOEKSTHEMA'S EN VRAGEN

Het in het werkplan aangehouden startpunt voor de inhoudelijke invulling van het werkprogramma was dat er een zo groot mogelijke bijdrage moest worden geleverd aan de voor de pilot geformuleerde doelen (zie Paragraaf 1.2).

Met name het inhoudelijke deel van het werkprogramma geeft hier invulling aan, waarbij onder meer data uit het monitoringsprogramma nader geanalyseerd wordt teneinde zo veel mogelijk generieke inzichten en guidelines te kunnen ontwikkelen.

Onderzoeksvragen

Om invulling te geven aan de drie operationele doelen van Paragraaf 1.2, zijn reeds in de voorstudie een aantal onderzoeksvragen geformuleerd die gekoppeld zijn aan een vijftal thema's (EcoShape, 2013).

Het betreft de volgende 13 vragen:

1. Wat is de invloed van de taludhelling van het voorland op de effectiviteit en de stabiliteit van het voorland?
2. Wat is de invloed van vegetatie in het dwarsprofiel op de effectiviteit en de stabiliteit van het voorland?
3. Hoe kan een dijk-voorlandsysteem worden ontworpen dat voldoet aan de veiligheidsnormen?
4. Hoe ziet het vergunningenproces voor de aanleg van een voorland eruit?
5. Hoe kan het beoogde talud worden aangelegd met minimale inspanning?
6. Kan er gebruik worden gemaakt van een mengsel van zand en holocene klei bij de aanleg van het voorland?
7. Hoe kan de beoogde vegetatie zo snel mogelijk worden gerealiseerd?
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?
10. Hoe kan getoetst worden of een dijk-voorlandsysteem 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?
13. Hoe kan de proefsectie worden opgeschaald naar locaties met andere karakteristieken?

Onderzoeksthema's

Deze 13 vragen zijn gekoppeld aan de volgende onderzoeksthema's:

- A. Het ontwerp van een veilig en stabiel voorland,
- B. De efficiënte aanleg van een voorland (inclusief vergunningen),
- C. Het optimale beheer en onderhoud,
- D. Het definiëren van geschikte toetsingsmethoden,
- E. De opschaalbaarheid van de resultaten van deze proefsectie naar locaties met andere karakteristieken.

De thema's A en B zijn gekoppeld aan het als eerste genoemde operationele doel (het komen tot geoptimaliseerde uitvoeringsvormen), thema C en D respectievelijk aan doel 3 (inzicht in beheer- en onderhoudsfase) en 2 (toetsbaar maken van een zandige oplossing).

De onder E genoemde opschaalbaarheid heeft een meer algemeen karakter en betreft de vertaling van de resultaten van de pilot/proefsectie naar andere locaties met andere omstandigheden, locaties en/of toepassingen.

In Tabel 3-1 is de relatie gelegd tussen de verschillende doelen, thema's en onderzoeksvragen.

Doelen	Thema's	Onderzoeksvragen
Geoptimaliseerde uitvoeringsvormen	A - Ontwerp	1 – Invloed taludhelling
		2 – Invloed vegetatie op stabiliteit
		3 – Veiligheidsontwerp
	B – Aanleg	4 – Vergunningenproces
		5 – Efficiënte aanleg talud
		6 – Gebruik mengsel als kern
		7 – Realisatie vegetatie
Beheer en onderhoud	C – Beheer en onderhoud	8 – Behoud stabiel talud
		9 – Instandhouding vegetatie
Toetsing	D - Toetsing	10 – Toetsprotocol veiligheidsontwerp
		11 – Rol vegetatie
		12 – Monitoringsfrequentie
	Opschaalbaarheid	13 – Toepassingsbereik

Tabel 3-1 Relatie tussen doelen, onderzoeksthema's en geformuleerde onderzoeksvragen.

3.3 PRODUCTEN GEKOPPELD AAN DOELN

Omdat onder het eerste doel (geoptimaliseerde uitvoeringsvormen) meerdere subdoelen zijn ondergebracht, is er voor gekozen om dit onderwerp ook in meerdere producten te laten terugkomen.

Verder moeten de producten ook aansluiten op de beschikbaar komende 'input'. Hierbij valt te denken aan:

- Ervaringen opgedaan tijdens het ontwerp- en vergunningentrajec (WP1);
- Ervaringen opgedaan tijdens het aanleggen van de proefsectie (WP2);
- Resultaten van de analyses van de basisresultaten van het monitoringsprogramma (WP3).

Tabel 3-2 geeft (vergelijkbaar met Tabel 3-1) een overzicht van de doelen, onderzoeksthema's en onderzoeksvragen, echter nu met de toevoeging van een extra vierde kolom waarin de in het werkplan afgeleide producten zijn benoemd.

Doelen	Thema's	Onderzoeksvragen	Producten
Geoptimaliseerde uitvoeringsvormen	A - Ontwerp	1 – Invloed taludhelling	1 – Rapport I
		2 – Invloed vegetatie op stabiliteit	2 – Guidelines ontwerp
		3 – Veiligheidsontwerp	3 – <i>XBeach-module</i> 4 – <i>Bijdrage DMS</i>
	B – Aanleg	4 – Vergunningenproces	5 – Rapport II
		5 – Efficiënte aanleg talud	6 – Guidelines vergunningen
		6 – Gebruik mengsel als kern	7 – Guidelines aanleg
		7 – Realisatie vegetatie	
Beheer en onderhoud	C – Beheer en onderhoud	8 – Behoud stabiel talud	8 – Rapport III
		9 – Instandhouding vegetatie	9 – Guidelines B&O
Toetsing	D - Toetsing	10 – Toetsprotocol veiligheidsontwerp	10 – Rapport IV
		11 – Rol vegetatie	11 – Plan van aanpak
		12 – Monitoringsfrequentie	
	E - Opschaalbaarheid	13 – Toepassingsbereik	12 – Roadmaps (Rapport V)

Tabel 3-2 Relatie tussen doelen, onderzoeksthema's en onderzoeksvragen, inclusief koppeling met de verschillende producten.

De producten zijn gecategoriseerd naar de onderzoeksthema's A t/m E waarbinnen aan een aantal onderzoeksvragen wordt gewerkt en waaruit de producten volgen die in de vierde kolom zijn beschreven. In het totaal worden er in het werkplan 12 producten onderscheiden.

Het gaat daarbij om vijf basisrapportages (Rapport I t/m V; zie ook Paragraaf 1.4.3 voor plaats binnen voorliggend rapport), een viertal guidelines, een plan van aanpak (zie Paragraaf 1.4.4 voor plaats binnen voorliggend rapport) en twee cursief aangegeven producten die niet expliciet terugkomen in deze rapportage. Deze laatste hebben betrekking op de XBEACH-module (software) en de bijdrage aan het DMS (dataopslag).

3.4 PRODUCTCATEGORIEËN

Binnen de in het werkplan genoemde producten is onderscheid gemaakt naar een vijftal categorieën/types, te weten:

- Achtergrondrapportages;
- Generieke rekenmodules;
- Generieke guidelines;
- Roadmaps en business-cases;
- Datamanagementsysteem bijdragen (DMS).

Achtergrondrapportages

In de achtergrondrapportages worden de ervaringen, analyses en inzichten uitgewerkt op basis van input uit de pilot Houtribdijk. Deze rapportages zijn bedoeld als basis voor de afleiding van de meer generieke guidelines.

De vier op te leveren rapportages zijn:

- Rapport I: Natuurlijke geometrie van voorlandoplossingen
- Rapport II: Aanleg voor voorlandoplossingen
- Rapport III: Beheer en onderhoud
- Rapport IV: Bijdrage ontwikkeling toetsingsprotocol voor zandige voorlanden.

In de voorliggende rapportage komen deze rapporten terug als separate, in annexen opgenomen, rapportage-onderdelen.

Generieke rekenmodules

Dit product heeft betrekking op generieke rekenmodules en standaard settings in XBEACH op basis waarvan het gemonitorde gedrag van de voorlandoplossing op een generieke manier gereproduceerd kan worden. De op te leveren producten betreffen:

- Gekalibreerd morfologisch model (standaard settings);
- XBEACH-module effect vegetatie.

De software zelf is beschikbaar via de open source XBEACH-site (<http://oss.deltares.nl/web/XBEACH>).

In de rapportage komen de resultaten van de toepassing van XBEACH natuurlijk uitgebreid terug. Het model speelt immers een belangrijke rol in de toetsing- en ontwerpprocedures.

Generieke guidelines

Generieke guidelines kunnen worden toegepast in vervolginiciatieven en projecten. De op te leveren guidelines hebben betrekking op:

- Guidelines voor ontwerp van een voorlandoplossing;
- Guidelines voor het vergunningentraject van een voorlandoplossing;
- Guidelines voor de aanleg van een voorlandoplossing;
- Guidelines voor het beheer & onderhoud van een voorlandoplossing.

Zowel voor de guideline voor het vergunningentraject als de aanleg zijn, als ‘voorloper’ op de guideline, ook nog een de lessons-learned van de voorbereidings- en aanlegfase op schrift gesteld.

Roadmaps en business-cases

Een zogenaamde roadmap heeft betrekking op het opschalen van de toepassing van de ontwikkelde guidelines en eventueel rekenmodules voor een aantal nader te bepalen opschalingslocaties. Feitelijk moet hieruit blijken wat de pilot heeft opgeleverd voor de ruimere toepassing van voorlandoplossingen. Als onderdeel hiervan zal per opschalingslocatie ook een eerste-orde business-case worden geformuleerd. Dit kan gezien worden als een belangrijk en overkoepelend eindproduct van de pilot en is qua rapportage ondergebracht in het vijfde basisrapport.

Data Management Systeem

Het zogenaamde Data Management Systeem (DMS) heeft betrekking op de omgeving waarin nader geanalyseerde verbanden en data opgeslagen worden en welke toegankelijk is voor de project partners. In een later stadium zal deze ook toegankelijk worden gemaakt voor derden.

4

Monitoringsprogramma

4.1 INLEIDING

Het monitoringsprogramma levert input voor de nadere analyses die vereist zijn voor het ontwikkelen van de gevraagde producten. De inrichting van het monitoringsprogramma is beschreven in het zogenaamde monitoringsplan (EcoShape, 2014). Het monitoringsplan geeft een gedetailleerd beeld van de uitgevoerde en nog uit te voeren metingen en geeft tevens aan welke kennisvragen op basis van deze metingen beantwoord kunnen worden.

Voor meer informatie kan vooralsnog worden verwezen naar dit in 2014 opgestelde (en vastgestelde) plan.

4.2 VOORTGANG EN TUSSENRESULTATEN (WP3)

De voortgang van de monitoring is beschreven in een door Deltares en Alterra opgesteld werkdocument (Deltares/Alterra, 2017). In dit werkdocument is ingegaan op de uitgevoerde werkzaamheden en is een eerste beschrijving gegeven van de hierbij opgedane inzichten.

De huidige versie van dit werkdocument dateert van 16 december 2015.

4.3 INPUT VOOR NADERE ANALYSES (WP4)

De monitoring is onderdeel van WP3 en levert de input voor de binnen WP4 uit te voeren analyses. Binnen WP3 vindt daartoe reeds een eerste verwerkingsslag van de basisdata plaats. Zo worden bijvoorbeeld de resultaten van de druksensor (als output van een van de sensoren in het meetframe) al omgezet via een hoogfrequente tijdserie van waterstanden naar een golfhoogte en tijdsgemiddelde waterstanden. Ook de ingemeten bodems zullen een eerste verwerkingsslag hebben ondergaan. Deze informatie zal worden omgezet naar een voor verdere analyses bruikbaar format.

De waargenomen vegetatieontwikkeling zal worden vastgelegd, zowel op basis van de inmetingen als meer globaal op basis van de camerabeelden.

Dit onderdeel van de rapportage gaat met name in op de beschrijving van de monitoringsresultaten op hoofdlijnen en de opwaardering van specifieke monitoringsresultaten.

Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de volgende clusters:

- De hydro/meteo-data
- De bodemligging;
- Het sediment;
- De vegetatie.

Deze laatste onderdelen komen terug in Hoofdstuk 5 tot en met 8 van dit algemene rapportagedeel.

5

Basisinfo hydro/meteo

5.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt een algemeen beeld geschetst van de gemeten wind, waterstanden, golf- en stroomcondities. Daarbij worden de afhankelijkheden tussen deze grootheden inzichtelijk gemaakt, en wordt een duiding gegeven van de kwaliteit van de data. Een beschrijving van de meetinstrumenten en data-inwinning is de monitoringsrapportage (Deltares/Alterra, 2017).

Het meetstation bevindt zich op $(x,y) = (156445.280, 516524.292)$ (RD coördinaten). De bodemligging ter plekke is NAP-2.75 m. De ADV-sensor, waarmee onder water met 8 Hz drukken en horizontale snelheden worden gemeten, bevindt zich 1,20 m boven de bodem. De windmeter bevindt zich op NAP+9,98 m.

De data wordt vervolgens gebruikt bij de analyse van onder meer de morfologische ontwikkeling van de proeflocatie.

5.2 GEBRUIKTE INFORMATIE IN OVERDRACHTSTABEL

Zoals al aangegeven worden binnen WP3 de resultaten van de gemeten wind, waterstanden en golfcondities reeds vertaald naar een voor de verdere analyses te gebruiken waarden

Voor het eenduidig toeleveren van deze verwerkte en gecontroleerde informatie is overeengekomen dat deze wordt samengebracht in een zogenaamde overdrachtstabel.

In Tabel 5-1 is de thans vigerende versie van deze tabel benoemd.

Deze tabel is voor de projectpartners beschikbaar op de repository.

Versie	Benaming	Bereik
23 sept. 2016	Hydrometeodata.asc	19 november 2014 (17:30 uur) - augustus 2016
12 juni 2015	houtribdijk-150612-data.asc	19 november 2014 (17:30 uur) - 10 juni 2015 (14:30 uur)
16 maart 2013	houtribdijk-160316-data.asc	19 november 2014 (17:30 uur) - 15 maart 2016 (13:30 uur)

Tabel 5-1 Versiebeheer overdrachtstabel hydro/meteogegevens (relevante versies).

In de huidige versie van deze tabel zijn de volgende gegevens opgenomen:

- De datum en tijdstip (per uur);
- De waterstand in m t.o.v. NAP;
- De significante golfhoogte in m;

- De golfperiode (piekwaarde) in s;
- De golfrichting in ° t.o.v. Noord;
- De windsnelheid in m/s;
- De windrichting in ° t.o.v. Noord;
- De tijdsgemiddelde stroomsnelheid in m/s;
- De stroomrichting in ° t.o.v. Noord.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de verwerking en toevoeging van de informatie over de langs de voorzijde van de pilot aanwezige stroomsnelheden pas in de versie van 16 maart 2016 is toegevoegd.

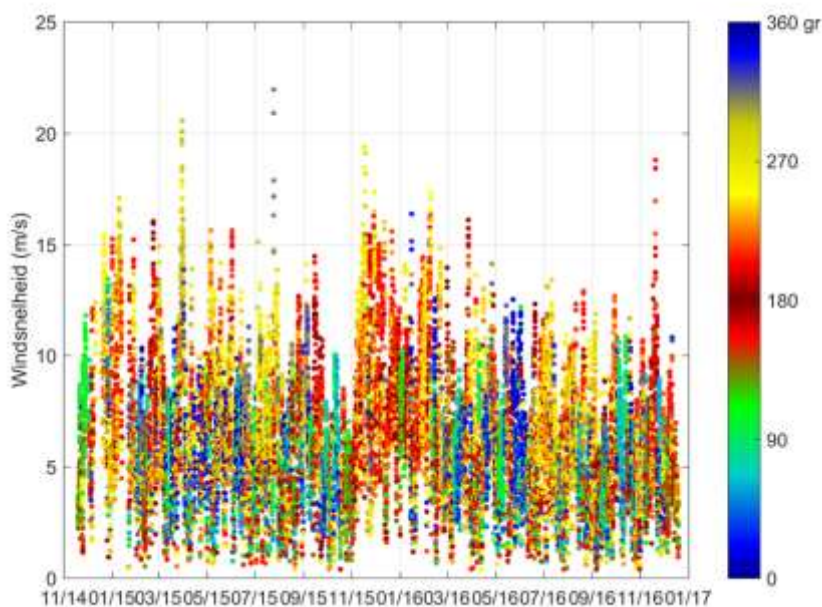
In aanvulling van de reeds in het genoemde werkdocument opgenomen beschrijvingen is in het volgende per karakteristiek een korte analyse gegeven van deze gegevens.
Deze informatie is deels ontleend aan een recent door HKV opgesteld en geüpdatet werkdocument (HKV, 2016).

5.3 BASISANALYSES MEETRESULTATEN

5.3.1 WIND

Op de damwand naast het zandige voorland is een windmeter geïnstalleerd op de daar aanwezige monitoringsmast. Deze levert informatie over zowel de windrichting als de windsnelheid (Deltares/Alterra, 2017).

In Figuur 5-1 is een overzicht gegeven van de tijdsontwikkeling van de windsnelheid. De kleuren van de gebruikte datapunten zijn hierbij gerelateerd aan de aanwezige windrichting.



Figuur 5-1 Gemeten windsnelheid (m/s), gekleurd op windrichting (graden t.o.v. Noord).

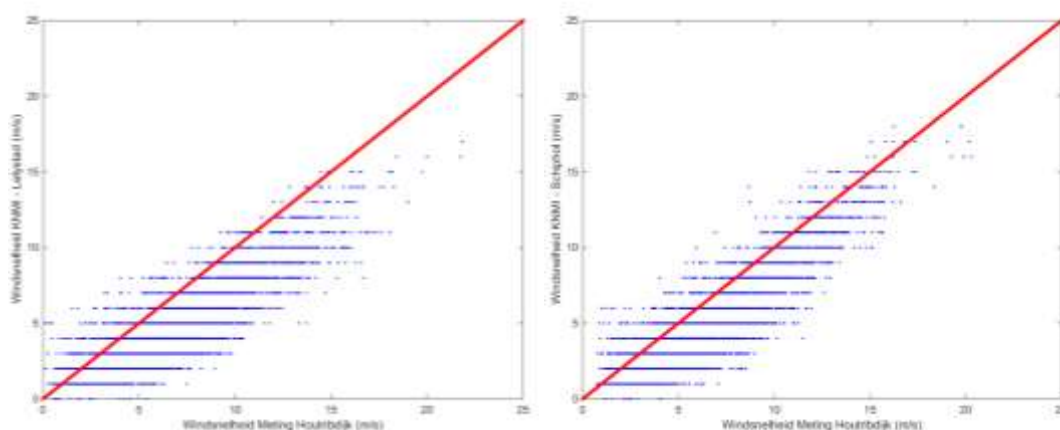
Te zien is dat de maximale windsnelheid orde 20 m/s (72 km/uur) bedraagt. De eerste piek valt samen met het optreden van de zware storm van eind maart 2015. Begin oktober 2015 is er nog een iets extremere windsnelheid gemeten (22 m/s).

Validatie/verificatie

Ter verificatie van deze informatie is een vergelijking gemaakt tussen windsnelheden zoals deze zijn geregistreerd door het KNMI en de lokaal gemeten windsnelheid.

De hierbij gebruikte figuren tonen deze vergelijking voor de stations Lelystad en Schiphol.

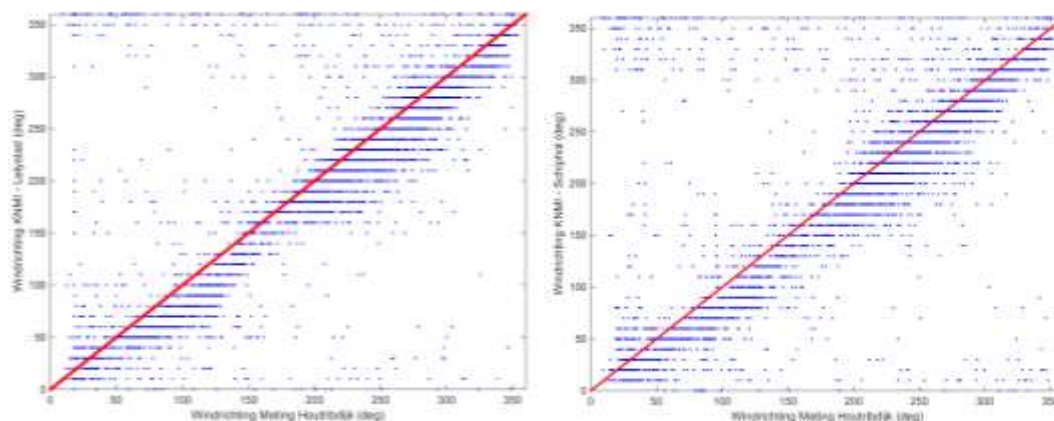
Figuur 5-2 geeft een vergelijking van de windsnelheden waarbij de windsnelheid op de proeflocatie op de horizontale as staat.



Figuur 5-2 Vergelijking windsnelheid KNMI (verticale as) en lokaal gemeten (horizontale as). Links station Lelystad, rechts station Schiphol.

Uit deze figuur blijkt dat de lokaal gemeten windsnelheid gemiddeld hoger ligt dan de windsnelheid gemeten bij de beide landmeetstations van het KNMI. Het verschil in beschutting en ruwheid is een aannemelijke oorzaak voor dit verschil. De overeenkomst met Schiphol is sterker dan met Lelystad

In Figuur 5-3 is een vergelijking gegeven tussen de windrichtingen.

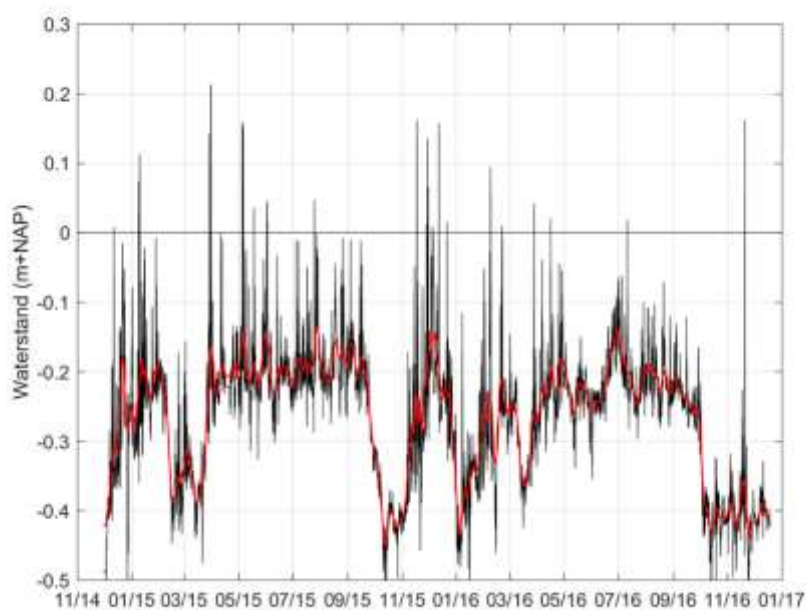


Figuur 5-3 Vergelijking windrichting KNMI (verticale as) en lokaal gemeten (horizontale as). Links station Lelystad, rechts station Schiphol.

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. Aan de hand van dit verschil is de registratie van de windrichting opnieuw gekalibreerd, en is alle data aangepast.

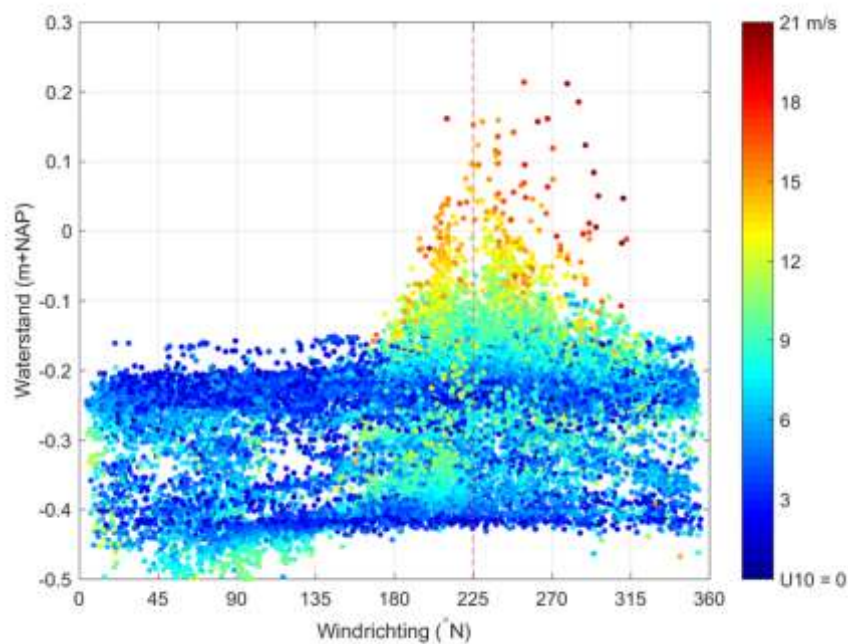
5.3.2 WATERSTAND

In Figuur 5-4 is de ontwikkeling van de lokale waterstand gegeven. Duidelijk herkenbaar zijn de in het Markermeer aangehouden streefpeilen; NAP-0,4 m in de winterperiode en NAP-0,2 m in de zomerperiode. 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.



Figuur 5-4 Gemeten waterstand (zwart) en een lopend gemiddelde met een middelingsperiode van een week (rood).

Ook is te zien dat er door windopzet tijdelijk hogere waterstanden kunnen optreden. Dit is ook herkenbaar in Figuur 5-5 waar de lokale waterstand als functie van de windrichting is gepresenteerd.

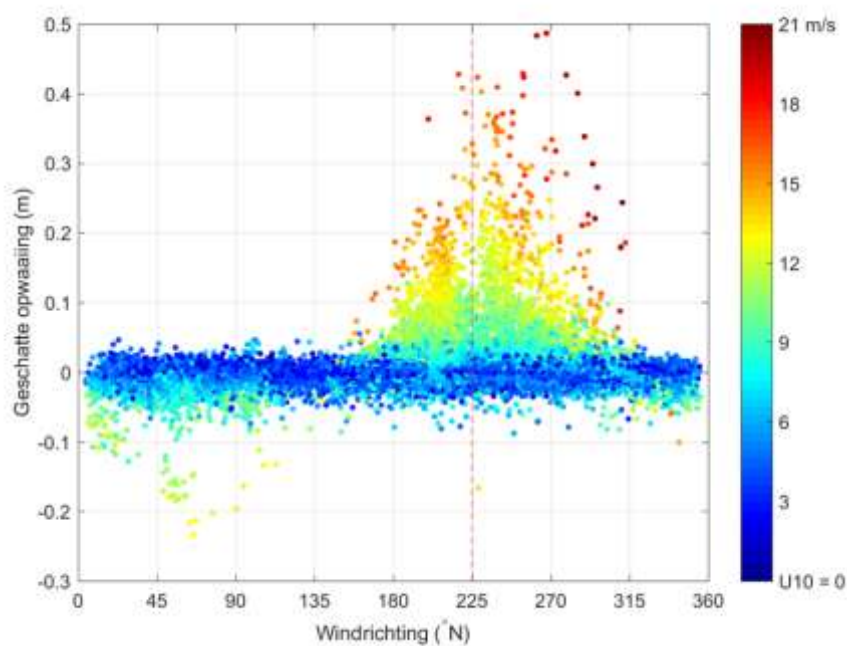


Figuur 5-5 Relatie tussen waterstand (verticale as) en windrichting (horizontale as), gekleurd op windsnelheid. Gestippelde lijn: indicatie voor de oriëntatie van oeverlijn van de pilot.

Duidelijk is te zien dat de waterstanden zich bij lage waterstanden primair bevinden rondom de eerdergenoemde streefpeilen. Voor grotere windsnelheden treden hier afwijken van op. Bij oostelijke winden is er sprake van afwaaiing en dalen de waterstanden onder de streefpeilwaarde van NAP-0,4 m. Voor zuidwestelijke winden is er juist sprake van opwaaiing en worden waterstanden tot ongeveer NAP+0,2 m bereikt.

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

De aldus geconstrueerde relatie tussen geschatte opwaaiing en windrichting is weergegeven in Figuur 5-6. Uit deze figuur blijkt des te duidelijker dat de lokale waterstanden sterk gedomineerd worden door de lokale windcondities.

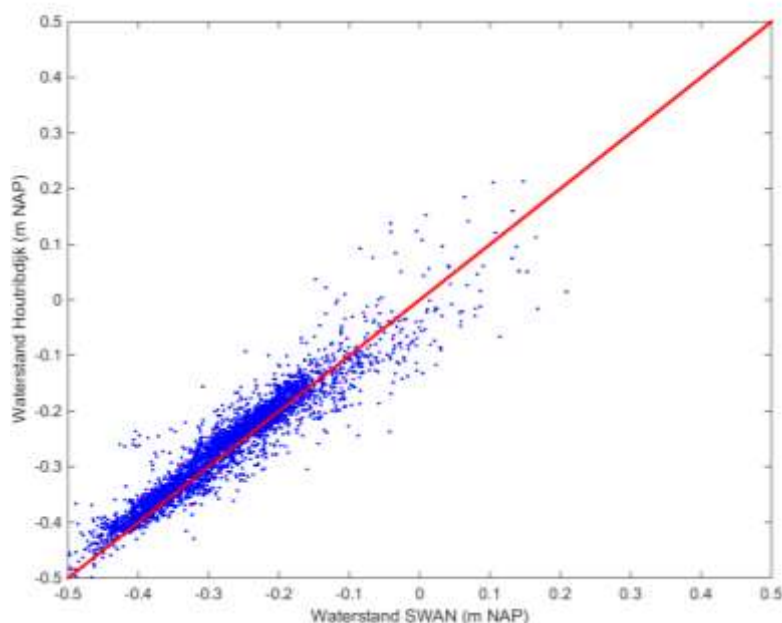


Figuur 5-6 Relatie tussen geschatte opwaaiing (verticale as) en windrichting (horizontale as), gekleurd op windsnelheid. Gestippelde lijn: indicatie voor de oriëntatie van oeverlijn van de pilot.

Validatie/verificatie

Op 22 januari 2015 is om 14h30 uur met behulp van een GPS-installatie een waterstand gemeten van NAP-0,254 m (Ref: (Deltares/Alterra, 2017)). In de tijdreeks in 'houtribdijk-150612-data.asc' is op dat moment een waterstand van NAP-0,268 m opgenomen. Het verschil bedraagt 1,4 cm.

Ter verificatie zijn de opgeleverde waterstanden vergeleken met de resultaten van het operationele model voor het Markermeer, een gecombineerd WAQUA+SWAN-instrumentarium van Rijkswaterstaat. Het resultaat van deze vergelijking is weergegeven in Figuur 5-7.



Figuur 5-7 Vergelijking tussen waterstanden uit het operationele WAQUA-model voor het Markermeer en lokale waterstandsmetingen.

Uit de 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 echter toe, tot verschillen in de orde van 10 cm.

5.3.3 GOLFHOOGTE

Allereerst beschrijven we kort de verwerking van de ADV data ten behoeve van het verkrijgen van de golfparameters golfhoogte, golfperiode en golfrichting.

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

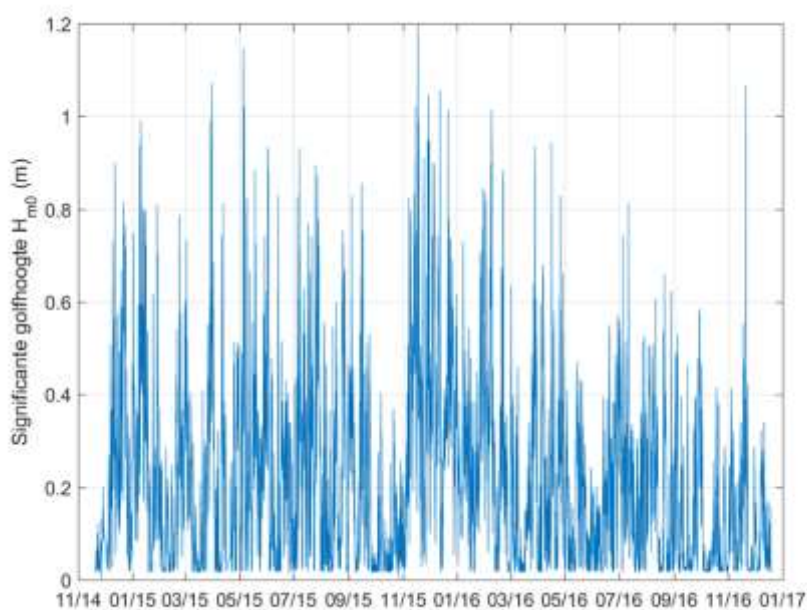
- data inlezen;
- outliers wegfilteren;
- laagfrequente componenten beneden 0.18+Hz wegfilteren (dit zijn geen windgolven meer)
- waterdruk vertalen naar variaties van het vrij oppervlak. Hiervoor wordt lineaire golftheorie gebruikt, met een maximale drukversterkingsfactor van 25. Dit betekent, gegeven de verticale positie van de druksensor op 1.20 boven de bodem 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 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 omlaagbrengen 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 SWAN wil vergelijken, kan men niet zomaar de door SWAN weggeschreven golfhoogte gebruiken. Dit komt omdat laatstgenoemde bepaald is over een (veel) groter frequentiebereik. De correcte werkwijze is dan om het door SWAN berekende golfspectrum te gebruiken om daaruit, door integratie over het frequentiebereik [0.18 Hz, 0.77 Hz], de golfhoogte te bepalen. Deze SWAN- golfhoogte kan dan wel vergeleken worden met de gemeten golfhoogte, omdat de golfhoogte dan op identieke wijze gedefinieerd is.

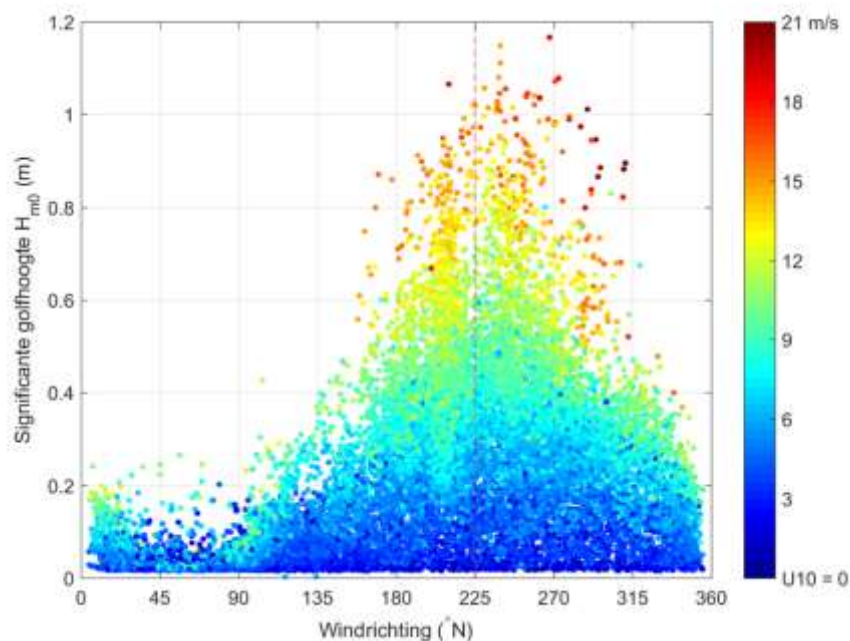
Figuur 5-8 geeft een weergave van de opgeleverde (significante) golfhoogte.



Figuur 5-8 Gemeten significante golfhoogte H_{m0} (m).

De maximaal waargenomen golfhoogte bedraagt 1,27 m en is gemeten tijdens een stormevent op 17 november 2015 (zie ook Tabel 5-13 op pagina 90). Meer recent (november 2016) werd nog een golfhoogte van 1,07 m gemeten.

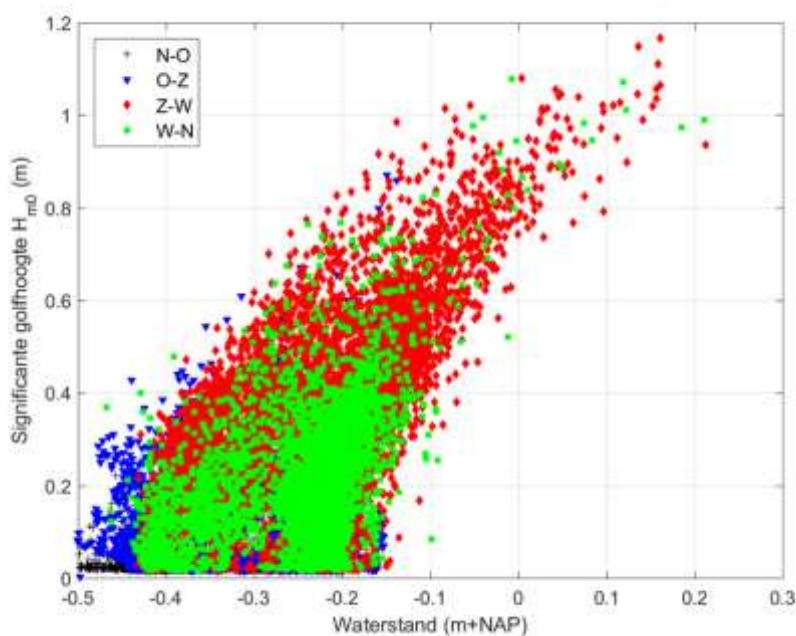
De lokaal optredende golfhoogte is natuurlijk gekoppeld aan de optredende windcondities. De resultaten van een basisanalyse van deze relatie zijn samengebracht in Figuur 5-9.



Figuur 5-9 Relatie tussen significante golfhoogte (verticale as) en windrichting (horizontale as), gekleurd op windsnelheid. Gestippelde lijn: indicatie voor de oriëntatie van oeverlijn van de pilot.

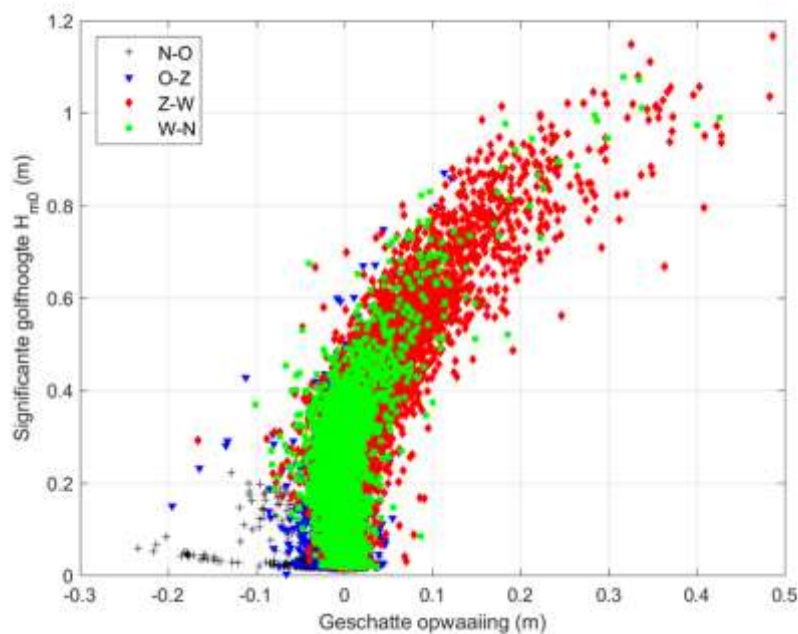
Te zien is dat de maximale golfhoogtes met name optreden bij condities met harde wind uit zuidwestelijke tot westelijke richtingen.

Dat laatste is ook te zien bij het beschouwen van de relatie tussen de lokale waterstand en de golfhoogte zoals weergegeven in Figuur 5-10.



Figuur 5-10 Combinaties van waterstand en significante golfhoogte voor vier windsectoren.

Te zien is dat met name de westelijke winden zorgen voor de grotere opzetten en golfhoogten. Dit is nog duidelijker te zien in Figuur 5-11 waarin de golfhoogte is uitgezet als functie van de geschatte omvang van de opwaaiing.

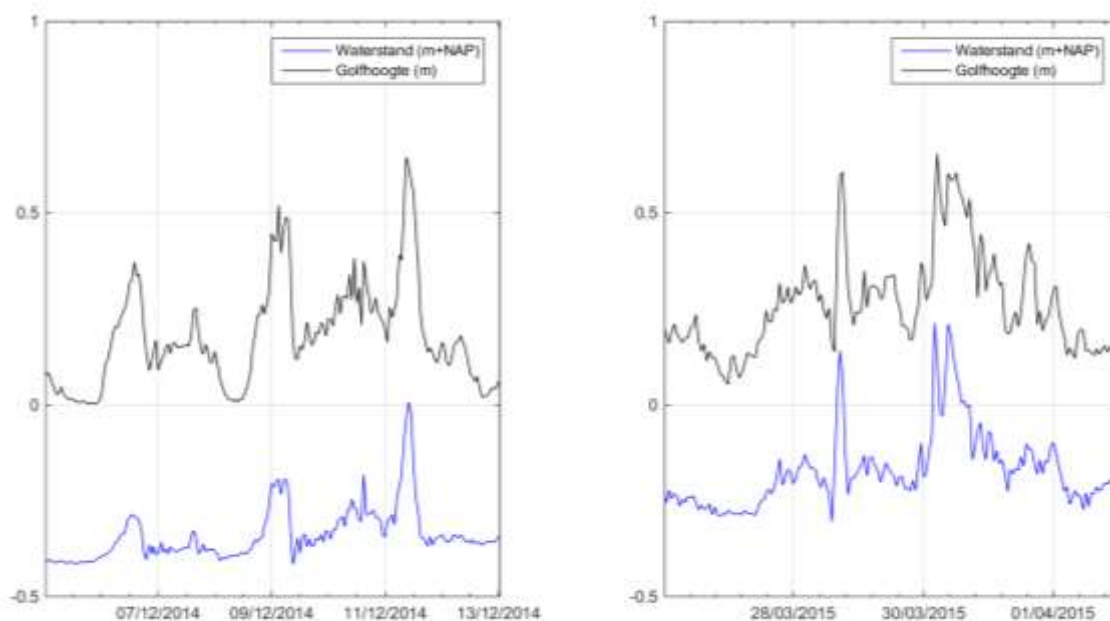


Figuur 5-11 Combinaties van berekende opwaaiing en significante golfhoogte voor vier windsectoren.

Op basis van deze resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Er is een sterke relatie tussen opwaaiing en golfhoogte vanwege het wind-gedomineerde karakter van het systeem;
- Bij windrichtingen vanuit de oostelijke helft van de windrichtingen zijn de golfhoogtes beperkt, en treedt enige afwaaiing op;
- 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;
- Er zijn enkele afwijkende golfhoogtes zichtbaar in Figuur 5-9.

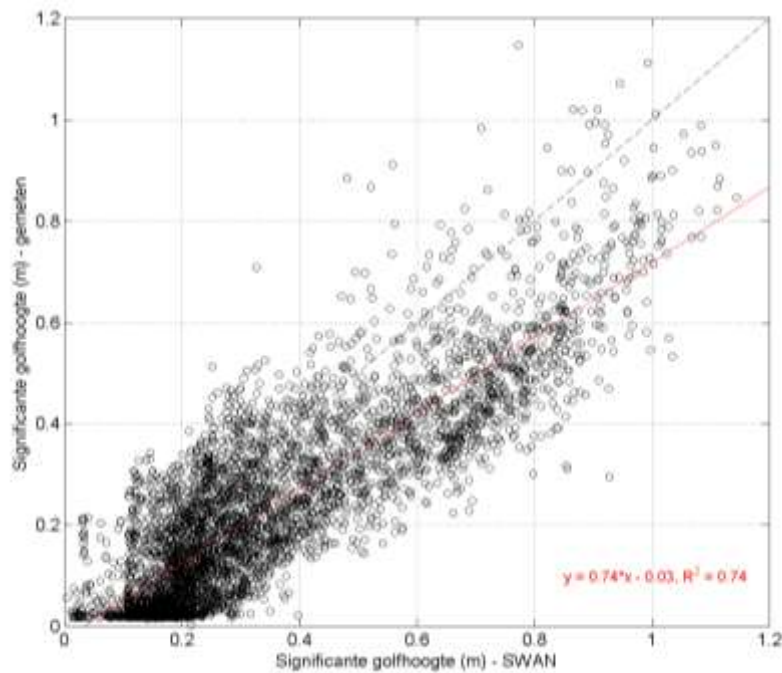
In Figuur 5-12 is een voorbeeld gegeven van de snelle respons van zowel de waterstand als de golfhoogte op de momentane windcondities. De rechter figuur heeft hierbij betrekking op de zware storm van eind maart 2015 waarbij de lokale waterstand binnen zeer korte tijd met ruim 0,4 m toenam.



Figuur 5-12 Verloop in de tijd van waterstand en significante golfhoogte gedurende een tweetal stormen.

Validatie/verificatie

Ter verificatie van de absolute waarde van de significante golfhoogte (uit de overdrachtstabel) zijn de golfhoogtes vergeleken met de resultaten van het operationele model voor het Markermeer, een gecombineerd WAQUA+SWAN-instrumentarium van Rijkswaterstaat. Uit onderstaande figuur blijkt dat de golfhoogtes in SWAN structureel hoger liggen dan de waarden in de gebruikte overdrachtstabel (Tabel 5-1 op pagina 60).

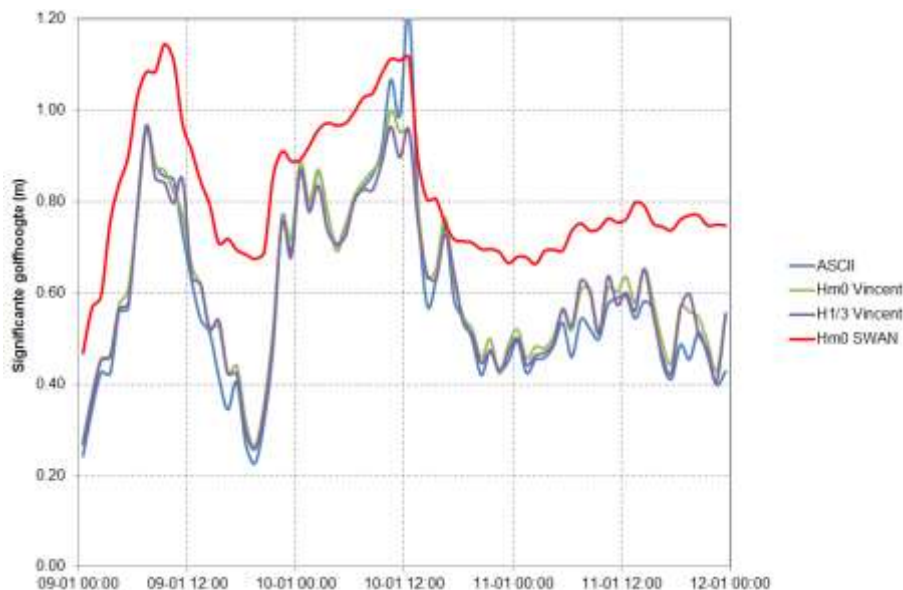


Figuur 5-13 Vergelijking tussen de berekende golfhoogte volgens SWAN en op basis van lokale metingen

Nadere analyses

Deze observatie gaf aanleiding tot een vergelijking met andere berekeningen van de significante golfhoogte. Onderstaande figuur toont voor de ZW-storm van januari 2015 de golfhoogte volgens:

1. De data in 'houtribdijk-150902-data.asc',
2. De significante golfhoogte, berekend met spectraalanalyse met scripts van HKV,
3. De significante golfhoogte, berekend met zero-crossing analyse met scripts van HKV,
4. De resultaten van het operationele SWAN-model van Rijkswaterstaat.



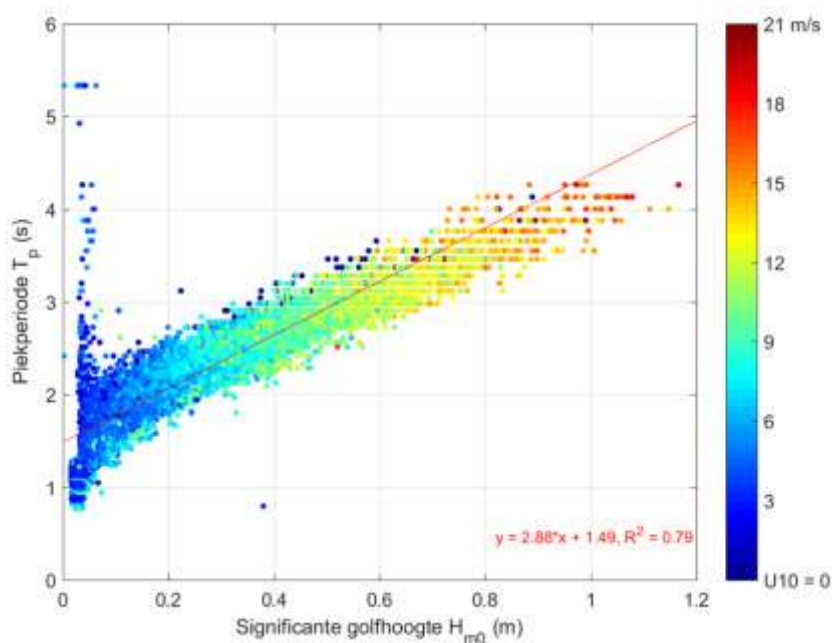
Figuur 5-14 Vergelijking diverse databronnen voor de significante golfhoogte voor de storm van januari 2015.

De vergelijking laat zien dat verschillende methoden tot vrijwel hetzelfde resultaat leiden. Dit geeft vertrouwen in de nabewerking van de ruwe meetdata van de gemeten drukfluctuaties. Het resultaat van het SWAN-model ligt ook tijdens deze storm structureel hoger dan de gemeten waarden.

Deze hogere uitkomsten van het SWAN-model komen door het (veel) grotere frequentiebereik waarmee SWAN rekent. De correcte werkwijze is om het door SWAN berekende golfspectrum te gebruiken om daaruit, door integratie over het frequentiebereik [0.18 Hz, 0.77 Hz], de golfhoogte te bepalen. Deze SWAN-golfhoogte kan dan wel vergeleken worden met de gemeten golfhoogte, omdat de golfhoogte dan op identieke wijze gedefinieerd is.

5.3.4 GOLFPERIODE

De golfperiode is direct gekoppeld aan de golfhoogte. Dit blijkt ook uit de in Figuur 5-15 opgenomen relatie.



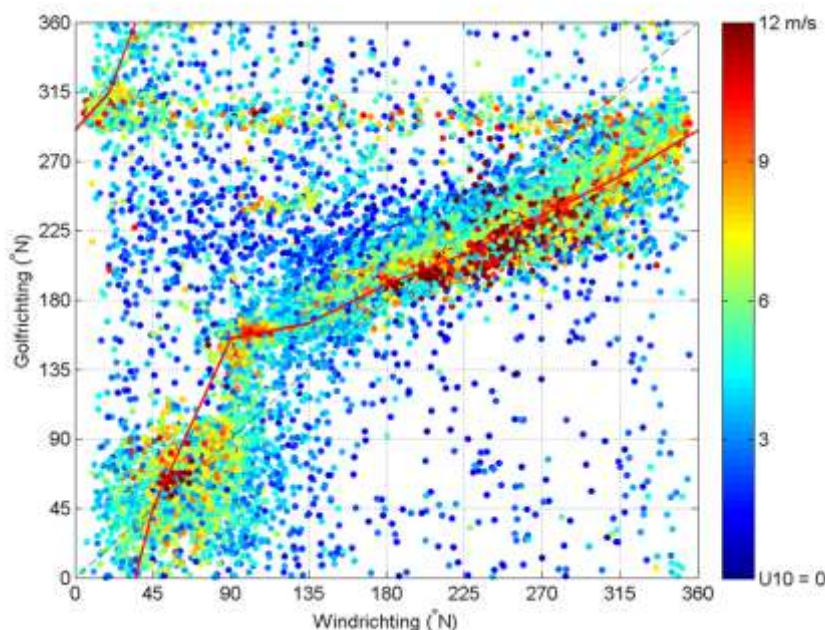
Figuur 5-15 Vergelijking significante golfhoogte H_{m0} (horizontale as) en piekperiode T_p (verticale as), waarbij de markers zijn gekleurd op windsnelheid.

Deze resultaten leiden tot de volgende conclusie:

- De verhouding tussen golfhoogte en golfperiode is vrij consistent.
- Een deel van de golven heeft een grote periode bij een lage golfenergie. Dit is waarschijnlijk een gevolg van het feit dat bij zeer lage golfhoogtes andere processen (zoals stroming, ruis, beperkte luchtdrukfluctuaties als gevolg van windfluctuaties) zichtbaar worden. Hoe dan ook, de invloed van deze laag-energetische golven op de morfologische veranderingen is gering.

5.3.5 GOLFRICHTING

In Figuur 5-16 is de relatie gegeven tussen de gemeten windrichting en de uit de meetresultaten afgeleide gemiddelde golfrichting op de piek van het golfspectrum. Voor het bepalen van de golfrichting is de veelgebruikte methode van Longuet-Higgins et al (1963) gebruikt.



Figuur 5-16 Verhouding tussen windrichting (horizontale as) en golfrichting (verticale as), waarbij de markers zijn gekleurd op windsnelheid.

Conclusies per windrichting:

- Bij windrichtingen tussen Noord en Noordoost (van de dijk afwaaiend) is de golfrichting overwegend Noordwest (parallel aan de dijk). Mogelijk beïnvloedt circulatiestroming in het Markermeer hier de gepresenteerde golfrichting.
- Bij windrichtingen tussen Noordoost en Oost komen windrichting en golfrichting gemiddeld genomen overeen.
- Bij windrichtingen tussen Oost en Zuid is een bijdraaiing van de golven richting Zuid te zien, mogelijk door refractie.
- Tussen zuid en noord is een vrij duidelijke curve aanwezig, waarbij de golven ten opzichte van de windrichting meer in de richting haaks op de dijk bewegen. Ook hier speelt mogelijk refractie een rol.

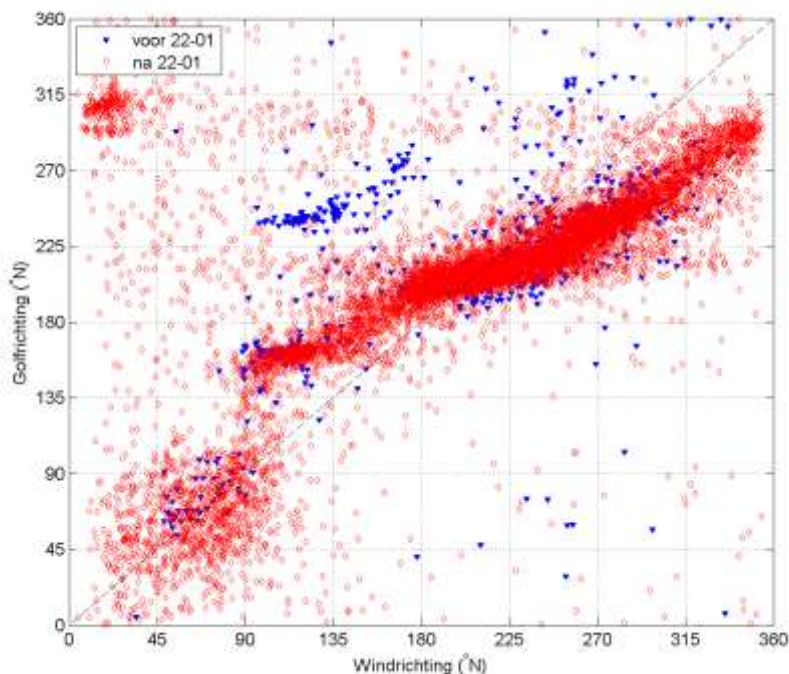
Algemene conclusies:

- De windrichting is mogelijk niet zeer nauwkeurig (zie de paragraaf over wind).
- Er zijn punten in de data aanwezig met een sterk afwijkende golfrichting bij een hoge windsnelheid en een richting tussen 200 en 300 graden t.o.v. Noord.

Nadere interim-analyses

Vóór 22 januari 2015 werd de watersnelheid gecorrigeerd met de uitlezing van het kompas om de richting van de snelheid te krijgen in ENU assenstelsel. Deze automatische procedure bleek tot foutieve golfrichtingen te leiden. Na 22 januari is de automatische, variabele correctie vervangen door een vaste correctie. Alleen golfrichtingen na 22 januari kunnen als betrouwbaar worden gezien (werkdokument). Uit onderstaande figuur blijkt dat in de huidige dataset het beeld vóór en na 22 januari vrij consistent is. Alleen in de periode van voor 22 januari zijn perioden met flinke oostenwind (90-135 graden) opgetreden.

Het is op dit moment nog niet duidelijk welke correcties er zijn toegepast op de data van vóór 22 januari, om deze consistent te krijgen met de data na 22 januari.



Figuur 5-17 Vergelijking van de verhouding tussen windrichting en golfrichting vóór en na 22 januari 2015.

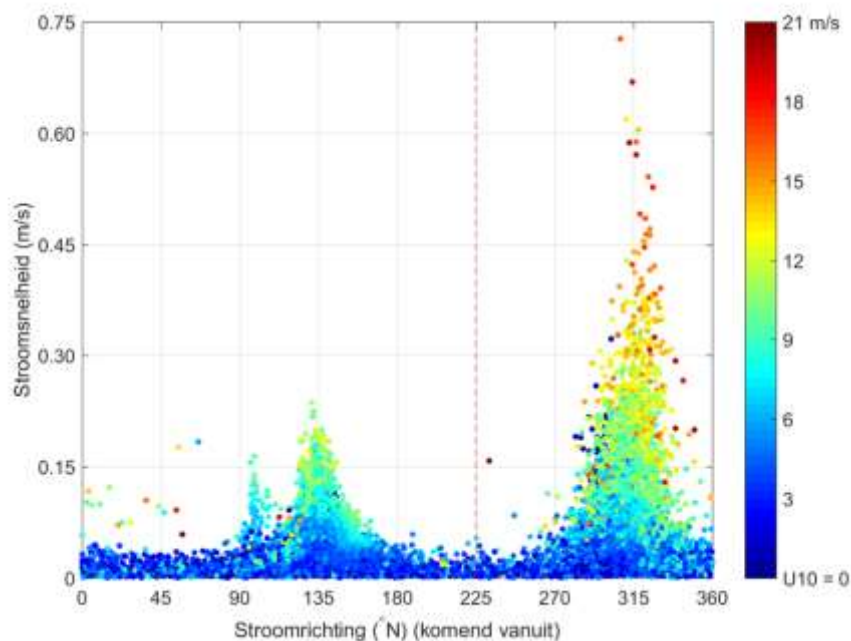
5.3.6 LANGSSTROOMSNELHEID

Onder invloed van de golfaanval is er ook sprake van een (netto) langsstroom langs de dijk. Deze hangt deels ook samen met de grootschalige circulatie die in het Markermeer aanwezig is.

Figuur 5-18 geeft een vergelijking tussen de stroomrichting en de stroomsnelheid ter plaatse van de ADCP op het meetframe. De weergegeven waarden zijn per interval het gemiddelde over een zogenaamde burst van 4096 metingen. Bij een meetfrequentie van 8 Hz is dat 8 minuten en 32 seconden.

Deze snelheidsmeter bevindt zich op ongeveer 1 m boven de bodem bij een waterdiepte van ongeveer 2,5 m. De gemeten snelheden zijn representatief voor de dieptegemiddelde snelheid op deze locatie.

De wind veroorzaakt een circulatiestroming in het Markermeer. Ter plaatse van de proefsectie is dit merkbaar als een stroming parallel aan de Houtribdijk, ofwel een stroming van zuidoost naar noordwest (circa 135 graden, richting damwand), ofwel van noordwest naar zuidoost (richting rijsmatconstructie; circa 315 graden). De stroomsnelheid vanuit zuidoostelijke richting is beperkt tot maximaal 0,25 m/s, terwijl de stroomsnelheid vanuit noordwestelijke richting (richting Lelystad) op kan lopen tot 0,50 m/s (met een incidentele piek tot 0,75 m/s). Hogere stroomsnelheden gaan ook samen met hogere windsnelheden.



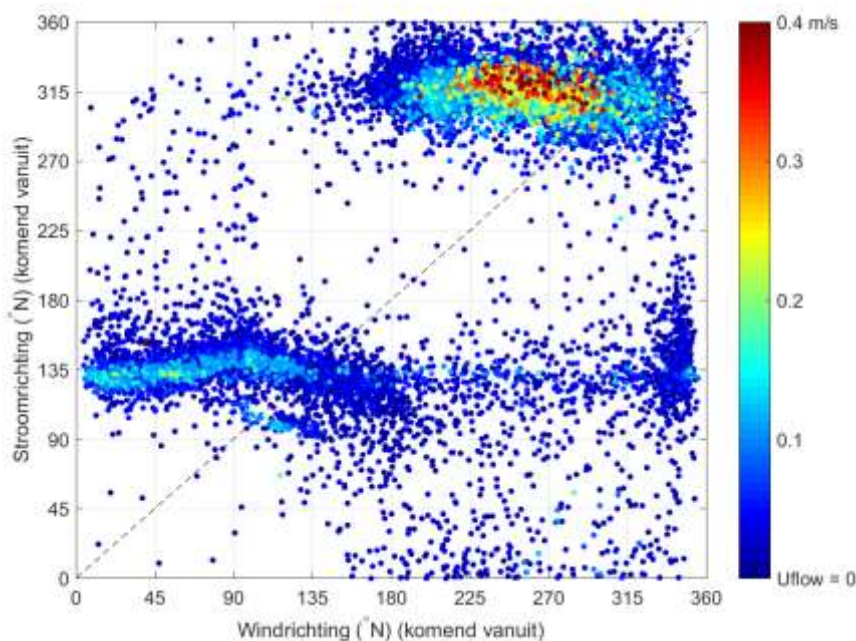
Figuur 5-18 Vergelijking stroomrichting (in graden ten opzichte van noord, gedefinieerd als 'komend vanuit') en stroomsnelheid (verticale as), waarbij de markers zijn gekleurd op windsnelheid.

Opvallend is daarbij de dubbele piek in de noordwestelijke stroomrichting.

Nadere beschouwing van deze oriëntaties laat zien dat de oriëntatie van de proefsectie loodrecht op de 225 graden richting staat en dat er dus stroming evenwijdig aan de oeverlijn van de pilot te verwachten is rond de richtingen 135 en 315 graden.

Verder oostelijk van de proefsectie zouden (gegeven het verschil in oriëntatie tussen de proefsectie en het tracé van de Houtribdijk van ongeveer 15 graden) deze richtingen eerder 150 en 330 graden moeten bedragen.

Figuur 5-19 geeft een vergelijking tussen de windrichting en de stroomrichting. Stroomsnelheden lager dan 0.01 m/s zijn weg gelaten in deze figuur.



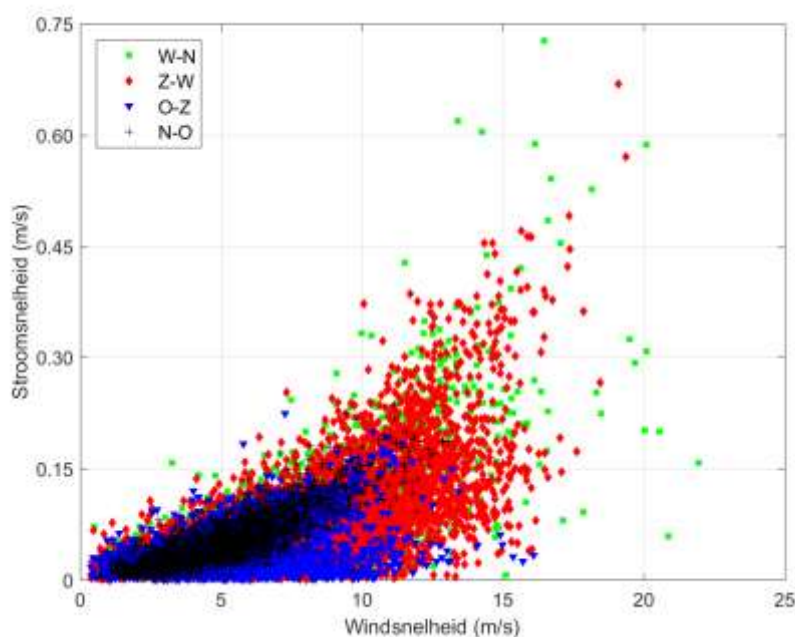
Figuur 5-19 Vergelijking windrichting (horizontale as) en stroomrichting (verticale as, beide in graden ten opzichte van noord, gedefinieerd als 'komend vanuit'), waarbij de markers zijn gekleurd op stroomsnelheid in m/s. Stroomsnelheden onder 0,01 m/s zijn niet weergegeven.

Bij windrichtingen tussen 160 en 330 graden (de westelijke windsector) beweegt de circulatiestroming met de klok mee. In dat geval wordt het water in de noordhoek van het Markermeer opgestuwd en stroomt dan rechtsonder langs de Houtribdijk weer terug. Bij de proefsectie resulteert dit in een stroming (met snelheden tot 0,5 m/s) van noordwest naar zuidoost (richting rijmatconstructie, Lelystad). De relatief hoge snelheden kunnen mogelijk voor een deel worden verklaard uit de aanwezigheid van de damwandconstructie (contractie-effect).

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 damwand, Enkhuizen).

Figuur 5-20 geeft een vergelijking tussen de windsnelheid en de stroomsnelheid bij de proefsectie. Te zien is dat de stroomsnelheid in absolute zin 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 5-20 Vergelijking windsnelheid (horizontale as) en stroomsnelheid (verticale as) voor vier verschillende windsectoren

Te zien is ook dat de hogere snelheden met name optreden bij zuidwesterlijke winden en de daarbij optredende grootschalige stroming met de klok mee.

5.4 OPVULLEN VAN GATEN IN TIJDREEKS

Opmerkingen:

- De data in 'houtribdijk-150902-data.asc' start op 19 november 2014. Volgens het werkdocument is de ADV vanaf deze datum continu operationeel. Het meetframe was echter al aanwezig vanaf 2 oktober 2014. Mogelijk is er ook data beschikbaar tussen 2 oktober en 19 november.
- De monitoringsmast met windmeter en waterstandsmeter is al op 3 september 2014 geplaatst, en er is data beschikbaar vanaf 8 september 2014 op de repository. Deze data is niet verwerkt in 'houtribdijk-150902-data.asc'.
- Van de windrichting, golfrichting, golfhoogte, golfperiode en waterstand ontbreekt data begin december 2014, en medio april 2015. In de tijdreeks van de windsnelheid ontbreekt daarnaast nog data medio januari 2015.
- De tijdreeks van de waterstand heeft vóór begin december geen goede resultaten (waterstand ca. -99 m)

Gaten in de winddata kunnen worden aangevuld met de KNMI-data van Schiphol, met eenzelfde windrichting, maar waarbij voor de windsnelheid een correctie moet worden gehanteerd:

- $U_{HRD} = U_{10_Schiphol} * 1.27$.

Gaten in de hydrodynamica kunnen worden aangevuld op basis van de resultaten van het operationele model van Rijkswaterstaat, met de volgende correcties:

- $H_{m0_HRD} = 0.74 * H_{m0_SWAN} - 0.03$ (Figuur 5-13);
- $T_p_HRD = 2.88 * H_{m0_HRD} + 1.49$ (Figuur 5-15);
- Waterstand gelijk aan waterstand in WAQUA;
- Golfrichting o.b.v. gemeten windrichting via de rode curve in Figuur 5-16.

De data van het operationele model is bij Rijkswaterstaat verloren gegaan voor de periode 4 september tot 13 oktober 2014. Voor deze periode is een richtingsafhankelijke inschatting gemaakt van de opwaaiing en de significante golfhoogte. De geschatte opwaaiing Δh is bij het streefpeil in het Markermeer opgeteld om tot een schatting van de opgetreden waterstand bij de pilot te komen. De coëfficiënten in onderstaande tabel zijn bepaald op basis van regressie.

Windsector	H_{m0}/U_{10}	$\Delta h/U_{10}^2$
0-30	0.02	-0.0004
30-60	0.01	-0.0007
60-90	0.01	-0.0005
90-120	0.02	-0.0004
120-150	0.02	-0.0002
150-180	0.04	0.0001
180-210	0.04	0.0004
210-240	0.05	0.0007
240-270	0.05	0.0006
270-300	0.04	0.0004
300-330	0.03	0.0001
330-360	0.02	-0.0002

Tabel 5-2 Richtingsafhankelijke opwaaiing als functie van karakteristieke golfhoogte/windsnelheidsverhouding).

5.5 KARAKTERISTIEKE CONDITIES PER MEETINTERVAL

5.5.1 INLEIDING

De metingen van de morfologische veranderingen zijn in de periode september 2014 tot en met april 2015 maandelijks uitgevoerd. In totaal zijn er in deze periode 8 morfologische metingen uitgevoerd (zie Hoofdstuk 6 voor meer informatie). De meetfrequentie is daarna, conform het overeengekomen monitoringsprogramma, teruggebracht en zijn er nu nog vijf aanvullende metingen ingepland waarbij de laatste meting op 23 november 2016 is uitgevoerd.

Periode	Interval	Opmerkingen
T1-T2	18-9-14 t/m 25-10-14	Eerste periode na aanleg van de proefsectie
T2-T3	25-10-14 t/m 19-11-14	
T3-T4	19-11-14 t/m 28-12-14	
T4-T5	28-12-14 t/m 23-01-15	
T5-T6	23-01-15 t/m 15-02-15	
T6-T7	15-02-15 t/m 18-03-15	
T7-T8	18-03-15 t/m 06-04-15	Periode met zware storm uit westelijke richting.
T8-T9	06-04-15 t/m 21-08-15	
T9-T10	21-08-15 t/m 15-01-16	
T10-T11	15-01-16 t/m 28-02-16	
T11-T12	28-02-16 t/m 27-05-16	
T12-T13	27-05-16 t/m 23-08-16	
T13-T14	23-08-16 t/m 23-11-16	
T14- ...	23-11-16 t/m ...	

Tabel 5-3 Overzicht beschouwde perioden tot en met T14 (23 november 2016).

Deze paragraaf gaat in op de karakteristieke hydrodynamica in de periodes tussen de metingen. Deze kan vervolgens worden gebruikt voor de analyse van de profielvormen (zie Hoofdstuk 2 in Annex I) en de aansturing van het morfologisch model dat de waargenomen morfologische veranderingen zal moeten simuleren (zie Hoofdstuk 3 in Annex I).

Pas vanaf T3 is lokaal gemeten hydrodynamische data beschikbaar. Voor de intervallen T1-T2 en T2-T3 is de analyse gebaseerd op data van het KNMI, volgens de in de vorige paragraaf beschreven relaties tussen de verschillende parameters.

5.5.2 ALGEMENE KARAKTERISTIEKEN

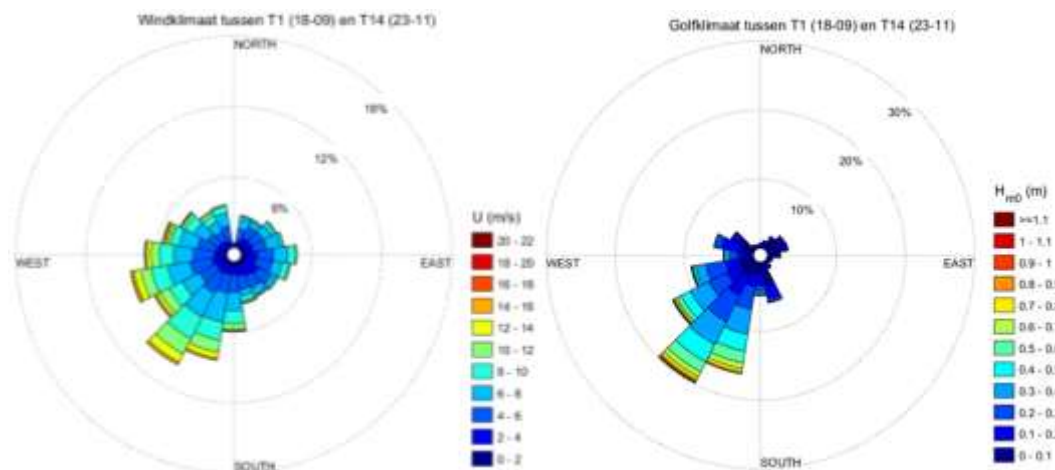
Tabel 5-4 en Figuur 5-21 geven een overzicht van de karakteristieken van de volledige meetperiode.

Grootheid	Symbool	Eenheid	Minimum	5% perc.	Gemiddeld	95% perc.	Maximum
Windsnelheid	U	m/s	0,0	2,1	6,4	12,0	21,9
Waterstand	h	m+NAP	-0,55	-0,42	-0,26	-0,13	0,21
Golfhoogte	H _{m0}	m	0,00	0,02	0,22	0,59	1,27
Golfperiode	T _p	s	0,76	1,05	2,05	3,12	5,33

Tabel 5-4 Algemene karakteristieken hele meetinterval (18-9-2014 t/m 23-11-2016).

De maximale gemeten windsnelheid bedraagt thans bijna 22 m/s (80 km/uur).

De waterstand zit tijdsgemiddeld (NAP-0,25 m) tussen winterpeil en zomerpeil in. De maximale waterstand bedraagt NAP+0,21 m.



Figuur 5-21 Wind- en golfklimaat hele meetinterval tussen T1 en T14.

De golfaanval laat een dominantie uit zuidzuidwestelijke richtingen zien.

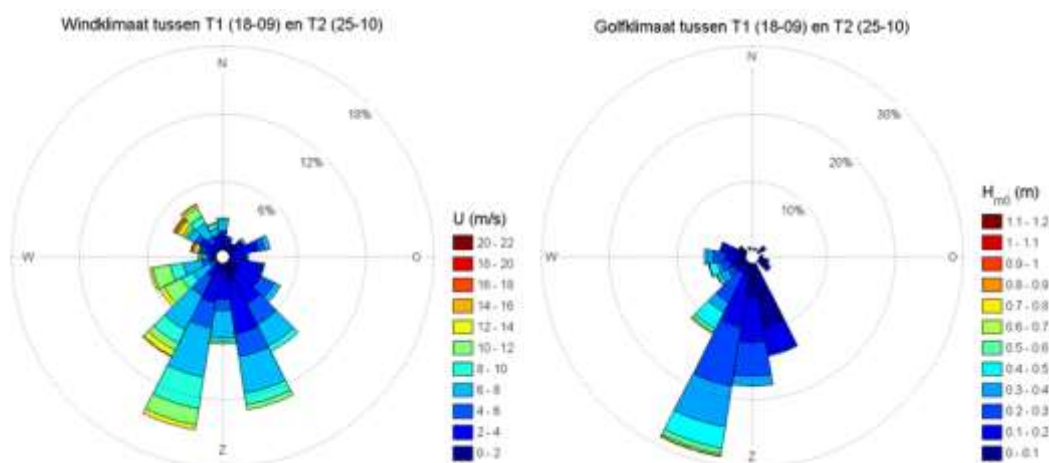
In de volgende secties is per periode tussen opeenvolgende morfologische metingen de karakteristieken van het meteorologische en hydrodynamische klimaat bij de proefsectie beschreven.

Daarbij zijn ook de events beschouwd. Een event is daarbij gedefinieerd als het overschrijden van de 95% percentielwaarde van windsnelheid en/of golfhoogte. Boxplots, windrozen en golfrozen zijn voor elke periode beschikbaar als losse figuren beschikbaar voor detailanalyses.

5.5.3 MEETINTERVAL T1-T2 (18-9-14 T/M 25-10-14)

Beschikbaarheid data

Geen lokaal gemeten hydrodynamische of meteorologische data beschikbaar. Resultaten van operationele model (WAQUA/SWAN) bij Rijkswaterstaat verloren gegaan tot en met 12-10-14. Golfkarakteristieken en waterstanden voor de periode 18-9-14 t/m 12-10-14 zijn gebaseerd op de winddata van het KNMI, en voor de periode 13-10-14 t/m 25-10-14 op de resultaten van het operationele model.



Figuur 5-22 Wind- en golfklimaat tussen T1 en T2.

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 (NAP-0,2 m) in het winterpeil (NAP-0,4 m) gewijzigd. De gemiddelde waterstand in deze periode is geschat op NAP-0,3 m.

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

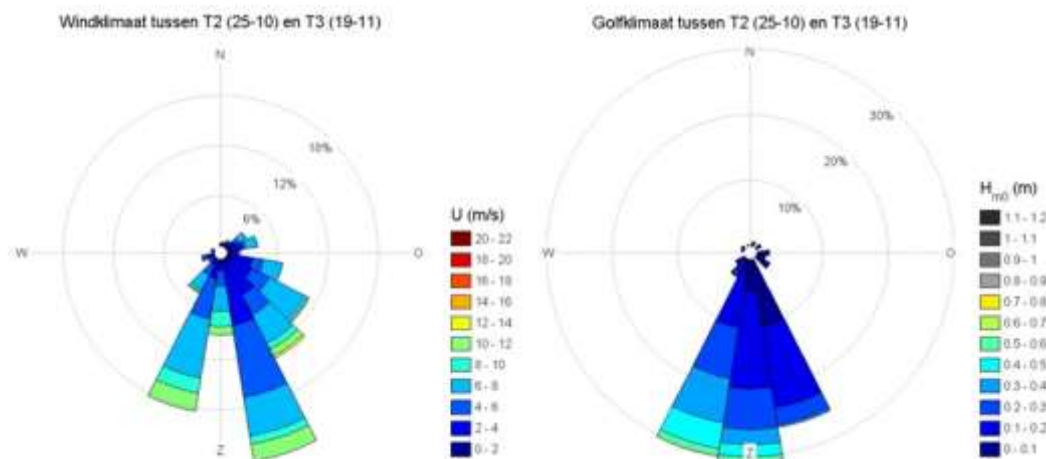
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H_{m0} (golfr.) m
7-10-2014	210	15,2	-0,24	0,72 (200)
19-10-2014	240	12,7	-0,25	0,47 (215)
21-10-2014	200 → 300	14,0 → 16,5	-0,18 → -0,33	0,62 (215) → 0,46 (260)

Tabel 5-5 Overzicht events binnen meetinterval T1 – T2.

5.5.4 MEETINTERVAL T2-T3 (25-10-14 T/M 19-11-14)

Beschikbaarheid data

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



Figuur 5-23 Wind- en golfklimaat tussen T2 en T3.

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 6,4 m/s.

Waterstanden

De gemiddelde waterstand was NAP-0,36 m+, met een maximum van NAP-0,22 m.

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

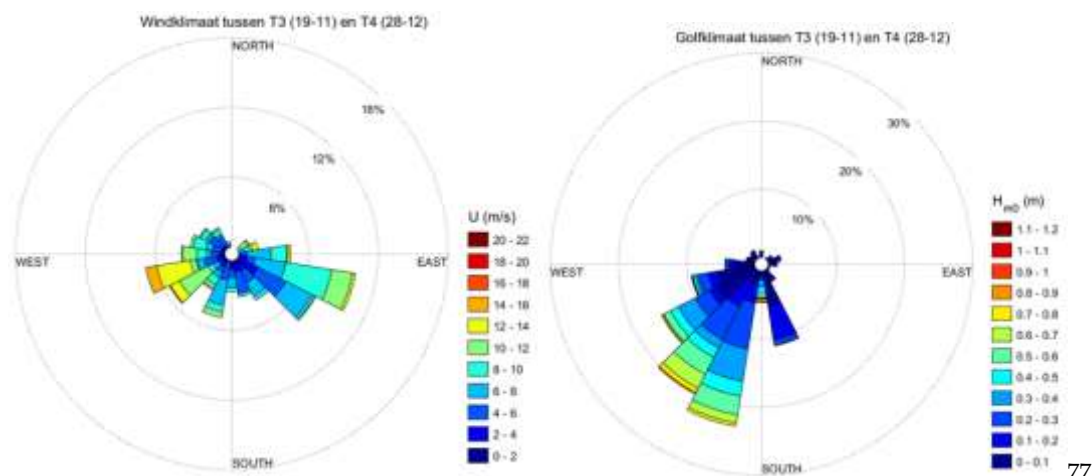
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H _{m0} (golfr.) m
3-11-2014	170	11,4	-0,23	0,58 (185)
7-11-2014	150	12,7	-0,29	0,50 (180)

Tabel 5-6 Overzicht events binnen meetinterval T2 – T3.

5.5.5 MEETINTERVAL T3-T4 (19-11-14 T/M 28-12-14)

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 op basis van data van KNMI-station Schiphol.



Figuur 5-24 Wind- en golfklimaat tussen T3 en T4.

Windklimaat

Deze periode kende een tweedeling: een kalme periode (19-11-14 t/m 5-12-14, gem. windsnelheid 5,8 m/s, OZO) en een periode met veel wind (6-12-14 t/m 28-12-14, gem. windsnelheid 9,3 m/s, ZW).

Waterstanden

Gemiddelde waterstand NAP-0,40 m (19-11-14 t/m 5-12-14) en NAP-0,29 m (6-12-14 t/m 28-12-14).

Golven

In de periode met OZO-wind (19-11-14 t/m 5-12-14) 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 stormen 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

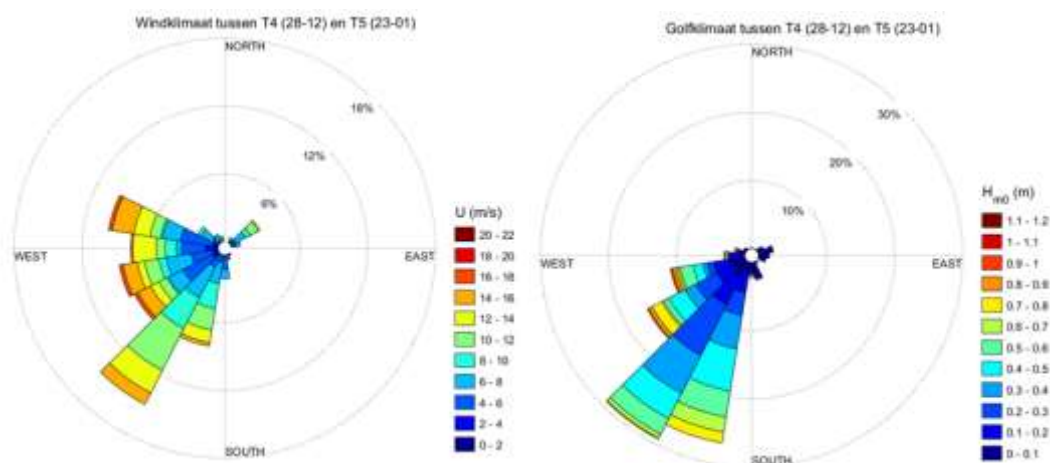
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H _{m0} (golfr.) m
10-12-2014	200	15,2	-0,19	0,73 (200)
11-12-2014	250	16,5	-0,28	0,56 (240)
12-12-2014	210	20,3	+0,01	0,90 (180)
18-12-2014	240	19,1	-0,13	0,67 (220)
20-12-2014	270	16,5	-0,14	0,59 (240)
22 t/m 24-12	240	15,4	-0,02	0,81 (220)
27-12-2014	100	13,4	-0,41	0,23 (160)

Tabel 5-7 Overzicht events binnen meetinterval T3 – T4.

5.5.6 MEETINTERVAL T4-T5 (28-12-14 T/M 23-01-15)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar voor de hydrodynamica. De tijdreeks voor de meteorologie bevatte een gat (14-1-15 tot 22-1-15), wat is gedicht op basis van data van KNMI-station Schiphol.



Figuur 5-25 Wind- en golfklimaat tussen T4 en T5.

Windklimaat

Met een gemiddelde windsnelheid 8,0 m/s duidelijk boven het gemiddelde van 6,4 m/s. Diverse stormen uit richtingen tussen ZZW en WNW.

Waterstanden

Lokale waterstanden gemiddeld (NAP-0,24 m) aanzienlijk boven het streefpeil in het gehele Markermeer van NAP-0,4 m. Hoogst gemeten waterstand NAP+0,11 m.

Golven

Golfrichtingen tussen ZZW en WZW, gemiddelde significante golfhoogte 0,31 m, maximaal 0,99 m significante golfhoogte.

Belangrijkste events

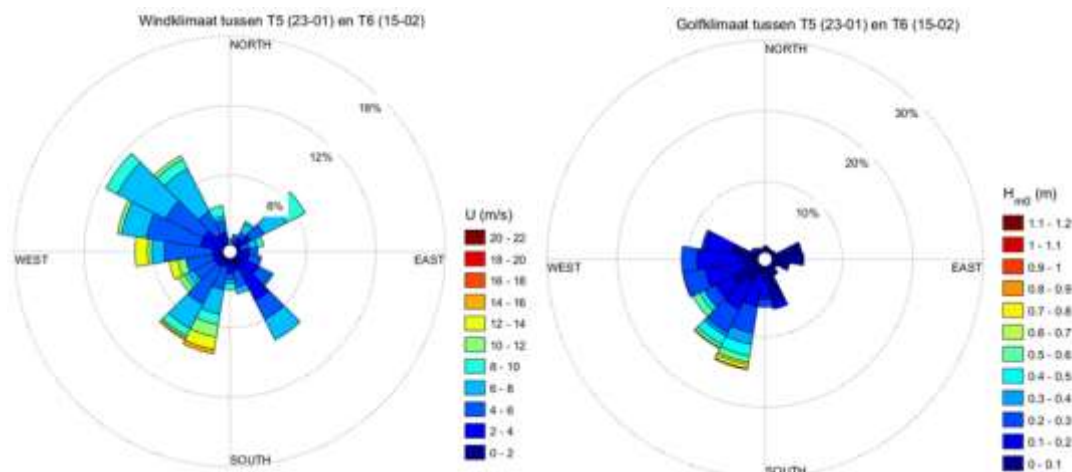
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H_{m0} (golfr.) m
2-1-2015	210	15,3	-0,08	0,75 (200)
8-1-2015	200	13,6	-0,17	0,59 (200)
9-1-2015	240	16,6	0,07	0,94 (260)
10-1-2015	260	17,1	0,11	0,99 (230)
11-1-2015	280	15,9	-0,19	0,59 (250)
12-1-2015	230	14,3	-0,07	0,81 (250)
15-1-2015	200	17,8	-0,04	0,80 (200)

Tabel 5-8 Overzicht events binnen meetinterval T4 – T5.

5.5.7 MEETINTERVAL T5-T6 (23-01-15 T/M 15-02-15)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar voor de hydrodynamica en de meteorologie.



Figuur 5-26 Wind- en golfklimaat tussen T5 en T6.

Windklimaat

Relatief rustige periode na de stormachtige periode tussen T4 en T5. Gemiddelde windsnelheid 5.8 m/s. Dit is onder het gemiddelde van 6.4 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 NAP-0,24 m. Dit is ruim boven het winterpeil van NAP-0,40 m.

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

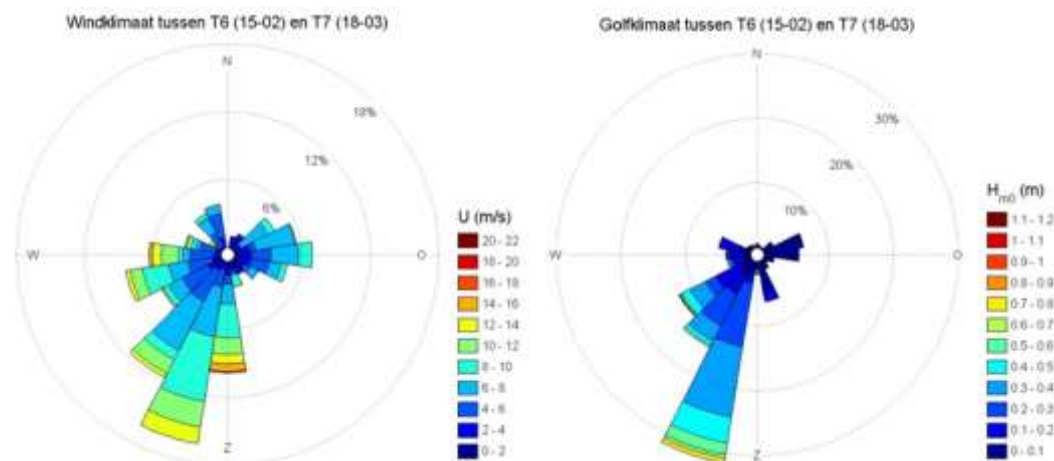
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H_{m0} (golfr.) m
24-1-2015	190	13,1	-0,11	0,62 (200)
28-1-2015	200	15,2	-0,01	0,81 (200)

Tabel 5-9 Overzicht events binnen meetinterval T5 – T6.

5.5.8 MEETINTERVAL T6-T7 (15-02-15 T/M 18-03-15)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar voor de hydrodynamica en de meteorologie.



Figuur 5-27 Wind- en golfklimaat tussen T6 en T7.

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 NAP-0.36 m.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0,20 m. Golven met noemenswaardige energie alleen vanuit richtingen rond ZZW en ZW.

Belangrijkste events

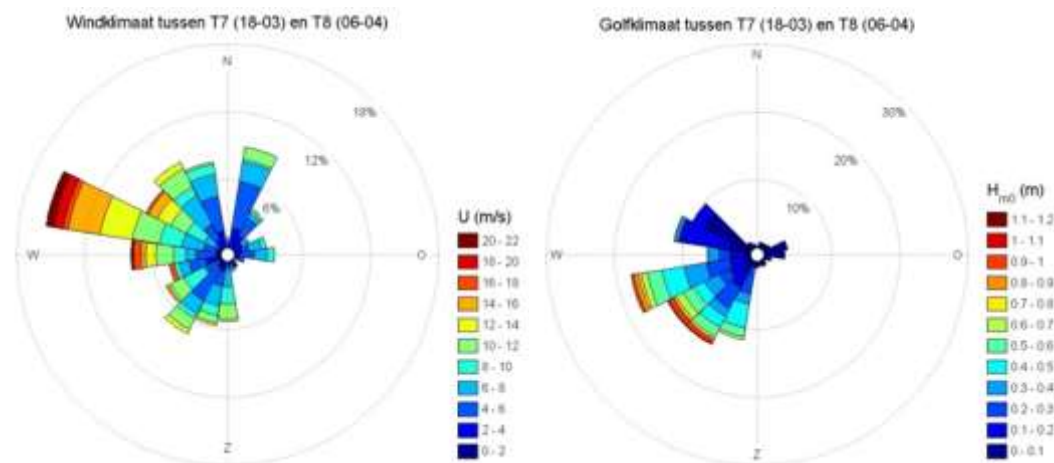
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H_{m0} (golfr.) m
23-2-2015	180	16,0	-0,17	0,79 (190)
24-2-2015	200	13,5	-0,25	0,58 (200)
1-3-2015	185	13,4	-0,24	0,59 (200)
2-3-2015	270	14,9	-0,16	0,73 (235)

Tabel 5-10 Overzicht events binnen meetinterval T6 – T7.

5.5.9 MEETINTERVAL T7-T8 (18-03-15 T/M 06-04-15)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar voor de hydrodynamica en de meteorologie.



Figuur 5-28 Wind- en golfklimaat tussen T7 en T8.

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 6,4 m/s.

Waterstanden

Gemiddelde waterstand NAP-0,26 m. 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 NAP+0,21 m, 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. Dit is nog niet de maximale significante golfhoogte in de periode september 2014 tot september 2015. Deze werd gemeten na de laatste morfologische meting T8, tijdens een storm met een windrichting van 240 graden (en daarmee een grotere strijklengte) op 5 mei 2015 (1.15 m).

Belangrijkste events

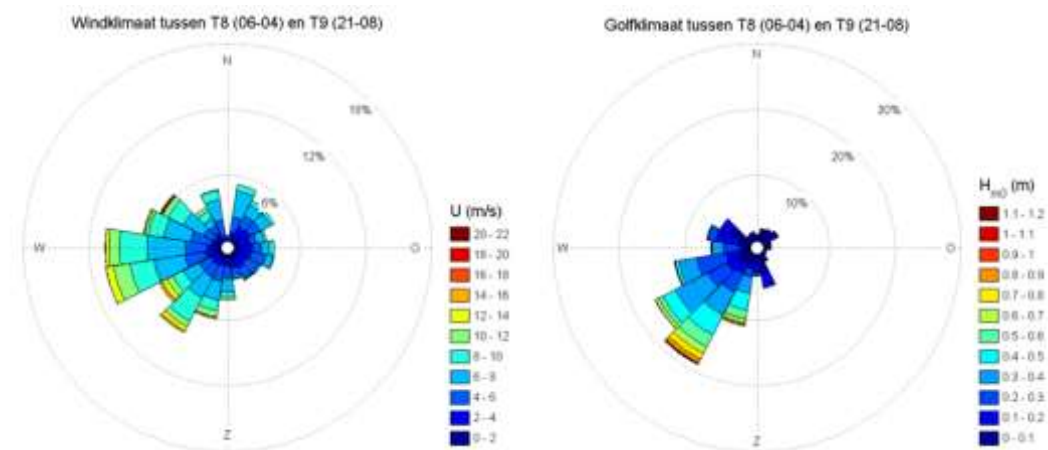
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H_{m0} (golfr.) m
29-3-2015	250 → 300	16,5 → 14,8	0,14 → -0,15	0,99 (215) → 0,58 (250)
31-3-2015	270-290	20,6	0,21	1,07 (220)
1-4-2015	290	16,1	-0,10	0,69 (250)

Tabel 5-11 Overzicht events binnen meetinterval T7 – T8.

5.5.10 MEETINTERVAL T8-T9 (06-04-15 T/M 21-08-15)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar voor de hydrodynamica en de meteorologie.



Figuur 5-29 Wind- en golfklimaat tussen T8 en T9.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 6,2 m/s. Dit is lager dan het gemiddelde van 6,4 m/s.

Gedurende deze periode zijn enkele uitzonderlijk zware zomerstormen langs gekomen, zoals de ZW-stormen op 5-7 mei en 2 juni en de storm vanuit NW op 25 juli. In Nederland was de storm van 25 juli de zelfs zwaarste zomerstorm sinds het begin van de metingen in 1901.

Waterstanden

Gemiddelde waterstand NAP-0,20 m. 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 tot nu toe werd gemeten sinds het plaatsen van de meetopstelling.

Belangrijkste events

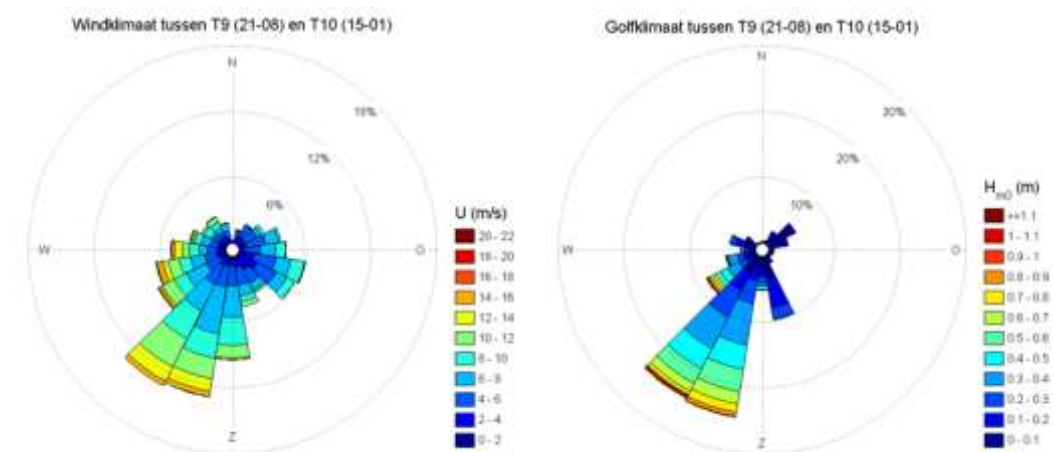
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H_{m0} (golfr.) m
5-5-2015	240	15,1	0,16	1,15
6-5-2015	230	15,6	0,15	1,02
18-5-2015	210	14,2	0,04	0,89
2-6-2015	210	15,6	0,05	0,93
7-7-2015	215	13,3	-0,01	0,93
25-7-2015	310	21,9	0,05	0,90

Tabel 5-12 Overzicht events binnen meetinterval T8 – T9.

5.5.11 MEETINTERVAL T9-T10 (21-08-15 T/M 15-01-16)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar voor de hydrodynamica en de meteorologie.



Figuur 5-30 Wind- en golfklimaat tussen T9 en T10.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 7,0 m/s. Dit is iets hoger dan het gemiddelde van 6,4 m/s. Diverse events in najaar en winter, vrijwel allemaal vanuit ZW richting.

Waterstanden

Gemiddelde waterstand NAP-0.28 m. 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 tot dusver werd gemeten.

Belangrijkste events

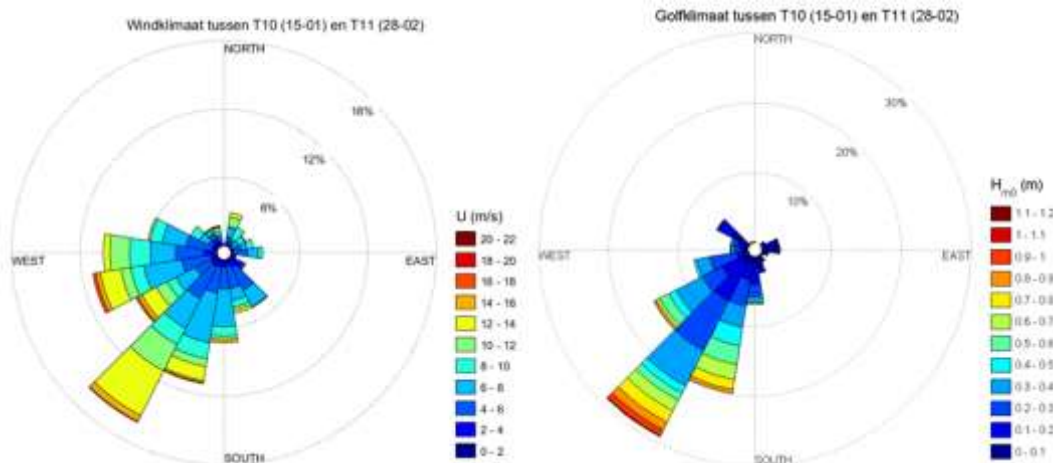
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H _{m0} (golfr.) m
15-11-2015	250	15,9	-0,05	1,02
17-11-2015	250	19,4	0,16	1,27
24-11-2015	200	15,4	-0,08	0,91
28-11-2015	205	16,3	0,01	0,95
29-11-2015	270	17,4	0,14	1,05
30-11-2015	260	15,5	0,07	0,95
05-12-2015	210	15,0	0,01	0,90
12-12-2015	235	16,0	0,16	1,06
21-12-2015	220	15,6	0,02	1,01

Tabel 5-13 Overzicht events binnen meetinterval T9 – T10.

5.5.12 MEETINTERVAL T10-T11 (15-01-16 T/M 28-02-16)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar voor de hydrodynamica en de meteorologie.



Figuur 5-31 Wind- en golfklimaat tussen T10 en T11.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 6,8 m/s. Dit is rond het gemiddelde van 6,4 m/s. Enkele ZW-stormen, maar niet bijzonder zwaar voor deze tijd van het jaar.

Waterstanden

Gemiddelde waterstand bedroeg NAP- 0,26 m.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0,24 m. Maximale golfhoogte 1,02 m.

Belangrijkste events

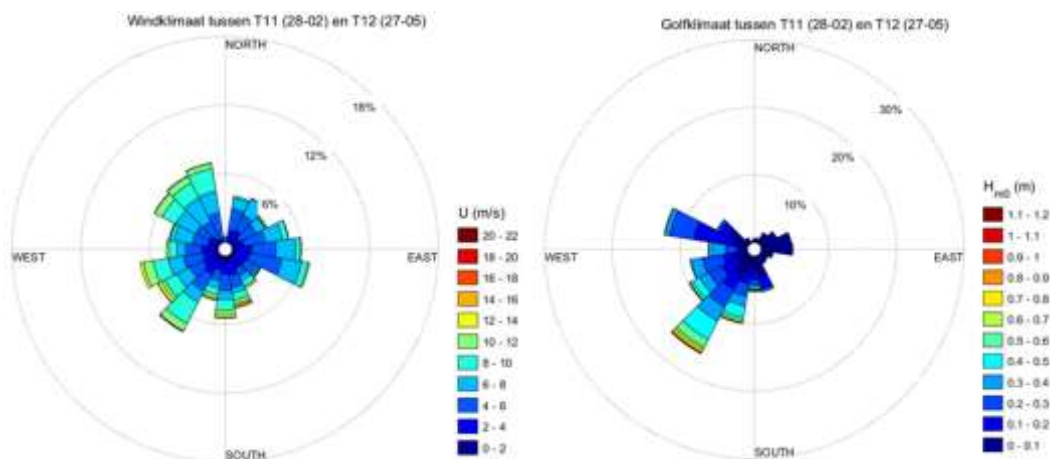
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H_{m0} (golfr.) m
01-02-2016	220	14,2	-0,05	0,84
07-02-2016	210	17,3	0,09	1,02
21-02-2016	235	14,8	0,01	0,88

Tabel 5-14 Overzicht events binnen meetinterval T10 – T11.

5.5.13 MEETINTERVAL T11-T12 (28-02-16 T/M 27-05-16)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar voor de hydrodynamica en de meteorologie.



Figuur 5-32 Wind- en golfklimaat tussen T11 en T12.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 6,0 m/s. Dit is iets lager dan het gemiddelde van 6,4 m/s.

Waterstanden

Gemiddelde waterstand bedroeg NAP- 0,25 m.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0,18 m. Maximale golfhoogte 0,94 m. Geen grote stormen kwamen voor in de periode tussen 28 februari en 27 mei 2016.

Belangrijkste events

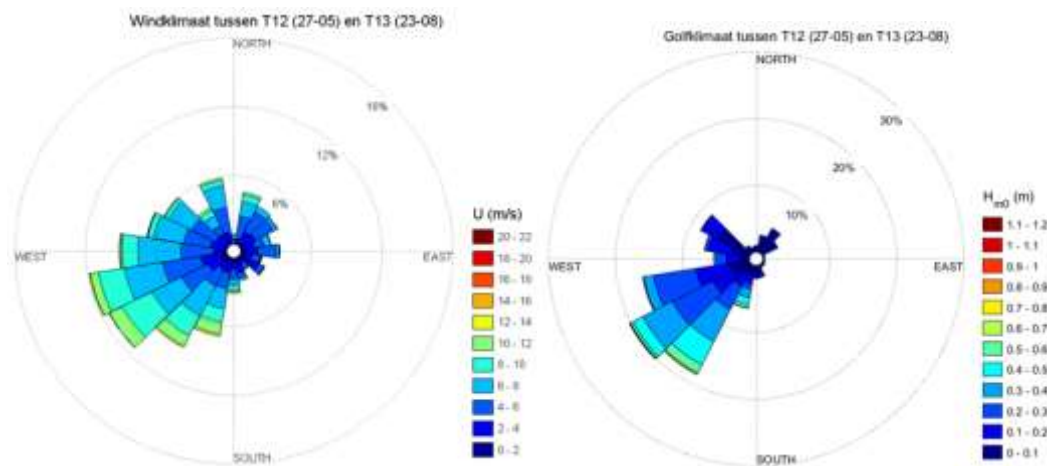
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H_{m0} (golfr.) m
28-03-2016	190	16,0	0,09	0,94
16-04-2016	210	13,0	0,02	0,94
26-04-2016	300	14,1	-0,18	0,5

Tabel 5-15 Overzicht events binnen meetinterval T11 – T12.

5.5.14 MEETINTERVAL T12-T13 (27-05-16 T/M 23-08-16)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar voor de hydrodynamica en de meteorologie.



Figuur 5-33 Wind- en golfklimaat tussen T12 en T13.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 5,75 m/s. Dit is lager dan het gemiddelde van 6,4 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 bedroeg NAP- 0,21 m.

Golven

Gemiddelde golfhoogte 0,19 m. Maximale golfhoogte 0,81 m.

Belangrijkste events

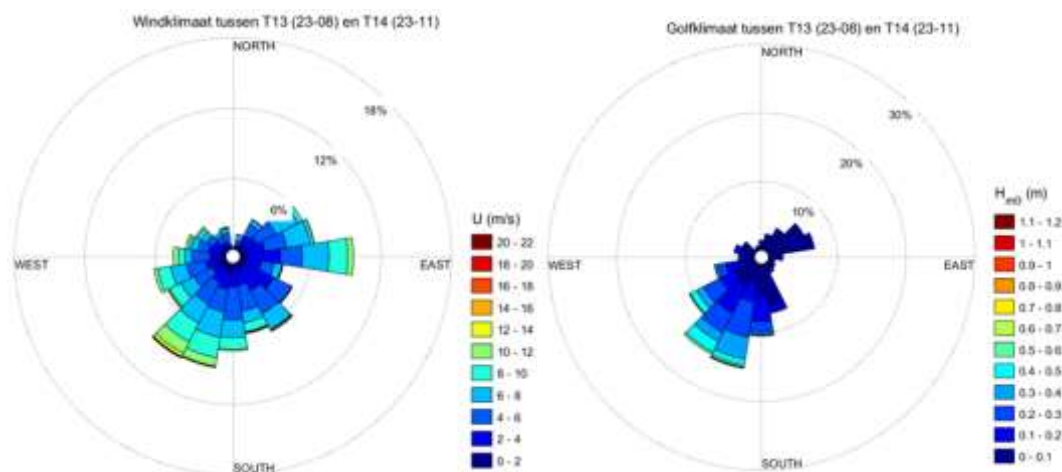
Datum	Windrichting gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H _{m0} (golfr.) m
05-07-2016	270	13,1	-0,06	0,75
11-07-2016	227	13,4	0,02	0,81

Tabel 5-16 Overzicht events binnen meetinterval T12 – T13.

5.5.15 MEETINTERVAL T13-T14 (23-08-16 T/M 23-11-16)

Beschikbaarheid data

In deze hele periode was lokaal gemeten data beschikbaar voor de hydrodynamica en de meteorologie.



Figuur 5-34 Wind- en golfklimaat tussen T13 en T14.

Windklimaat

Gemiddelde windsnelheid 5,4 m/s. Dit is lager dan het jaargemiddelde van 6,4 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 gr. N.	Max. windsnelheid m/s	Max. waterstand m+NAP	Max. H _{m0} (golfr.) m
28-08-2016	250	10,3	-0,14	0,62
04-09-2016	270	11,0	-0,15	0,50
29-09-2016	220	12,7	-0,17	0,59
20-11-2016	210	18,8	0,16	1,07

Tabel 5-17 Overzicht events binnen meetinterval T13 – T14.

6

Basisinfo bodemligging

6.1 INLEIDING

Het inmeten van de lokale bodemligging is in de periode september 2014 tot en met april 2015 maandelijks uitgevoerd door Shore Monitoring. Daarna is een lagere meetfrequentie gehanteerd en zijn opnames uitgevoerd in augustus 2015 en januari, februari, mei, augustus en november 2016.

Dit heeft tot nu toe geleid tot een 14-tal veldrapportages alsmede een oplevering van de onderliggende bodemdata (Shore Monitoring, 2016).

Deze laatste zijn beschikbaar gemaakt op de repository en kunnen zo worden gebruikt voor de verdere analyses.

In Tabel 6-1 is een overzicht gegeven van de tot op heden (23 februari 2017) uitgevoerde inmetingen.

Opname	Datum	Opmerkingen
T1	18 september 2014	Eerste volledige inmeting
T2	25 oktober 2014	
T3	19 november 2014	
T4	28 december 2014	
T5	23 januari 2014	
T6	15 februari 2015	
T7	18 maart 2015	Onderwaterdeel aangevuld op 21 maart 2015
T8	6 april 2015	
T9	21 augustus 2015	Vlak voor verwijdering tijdelijke beschermingswandje
T10	15 januari 2016	
T11	28 februari 2016	
T12	27 mei 2016	
T13	23 augustus 2016	
T14	23 november 2016	

Tabel 6-1 Overzicht uitgevoerde bodempeilingen tot en met augustus 2016.

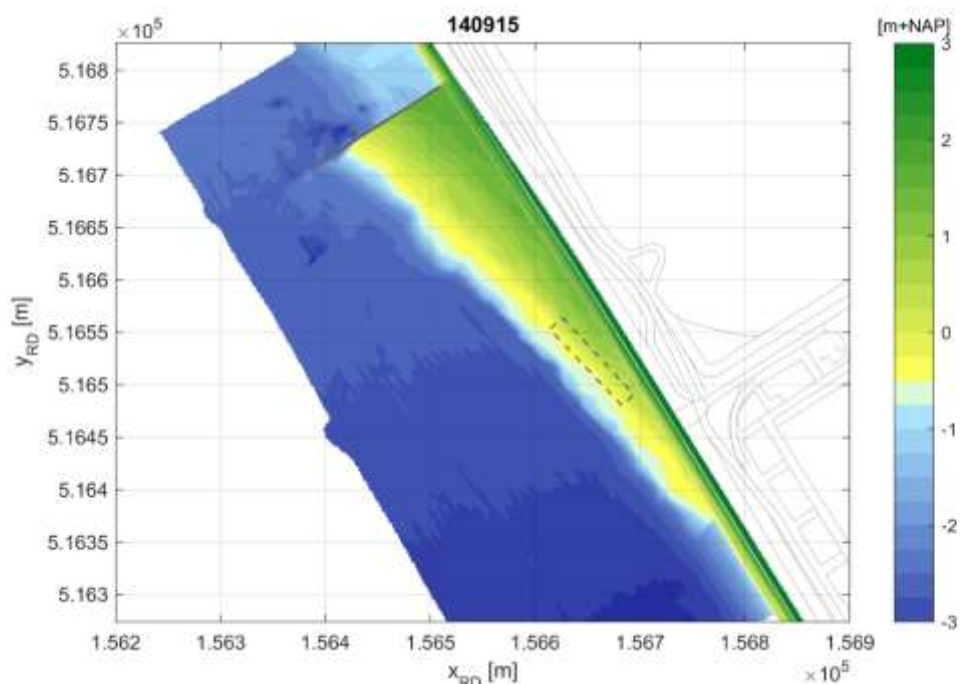
In aanvulling op de gebiedsdekkende inmetingen zijn door Shore Monitoring ook zettingen van de ondergrond gemeten (6 zakbakens) en sedimentmonsters genomen. De resultaten van de sedimentmonsters komen samen met de resultaten van de opnames van Alterra aan de orde in Hoofdstuk 7 van deze rapportage. De basisanalyse van de zettingsinformatie is ondergebracht in Paragraaf 6.4.

6.2 BESCHRIJVING MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING OP HOOFDLIJNEN

6.2.1 INLEIDING

In het volgende is een korte schets gegeven van de waargenomen morfologische ontwikkelingen. Voor meer gedetailleerde informatie kan worden verwezen naar de door Shore Monitoring opgestelde veldrapportages (Shore Monitoring, 2016).

Figuur 6-1 geeft de situatie zoals deze aanwezig was ten tijde van de eindpeiling van de aannemers-combinatie.



Figuur 6-1 Bodemligging conform eindpeiling DE Combinatie van 15 september 2014.

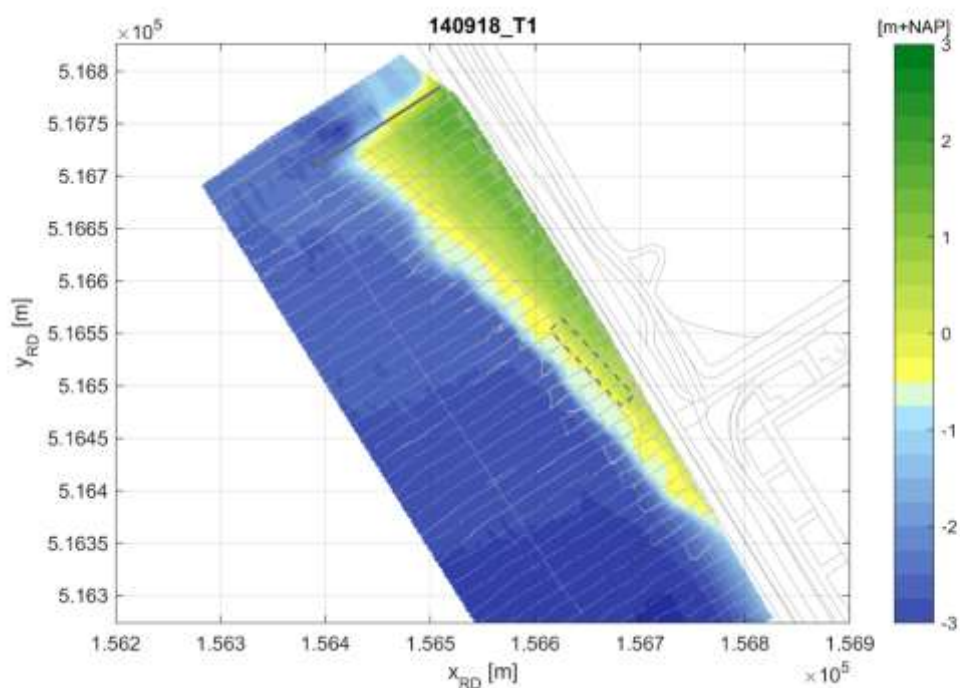
Deze bodemligging heeft dus betrekking op de situatie voor de feitelijke start van het monitorings-programma. In deze (en de volgende) figuren is naast de positie van de damwand tevens de locatie van de zogenaamde rijsmatconstructie aangegeven.

6.2.2 BODEMLIGGING PER OPNAME

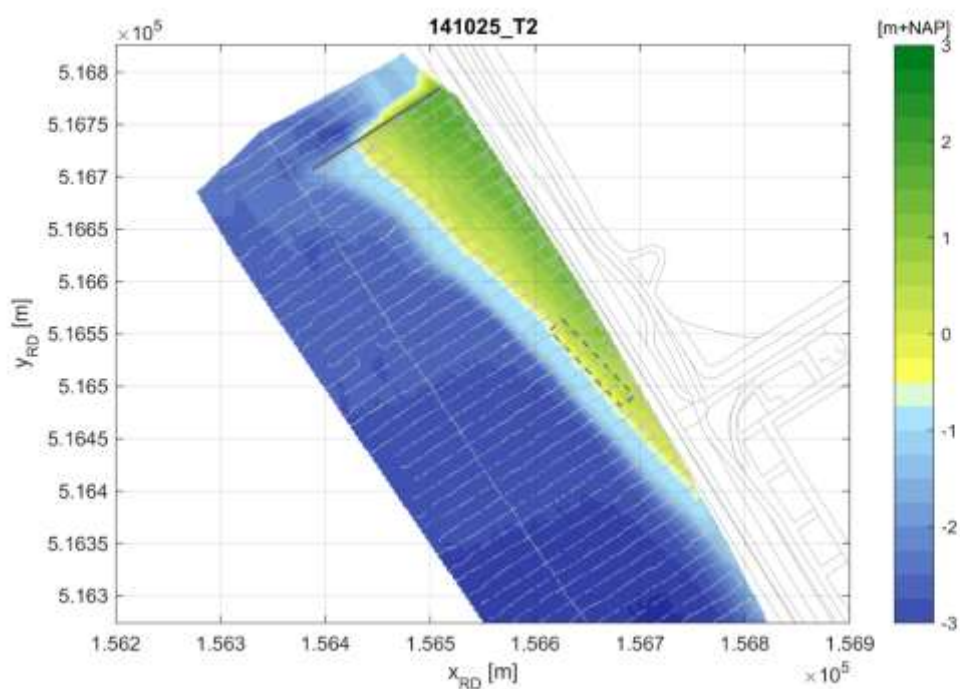
Resultaten van de uitgevoerde inmetingen zijn in bovenaanzicht samengebracht in Figuur 6-2 tot en met Figuur 6-15. Hierin zijn ook de door Shore Monitoring aangehouden meettracks (grijze lijntjes) herkenbaar. In het totaal gaat het om 43 verschillende dwarsprofielen die reiken tot op een afstand van maximaal 250 m uit de dijk.

De onderlinge afstand tussen deze profielen bedraagt 15 m. Het meest noordwestelijke profiel (#01) bevindt zich op een afstand van 45 m noordwestelijk van de damwand. Profiel #04 heeft betrekking op het eerste profiel aan de proefsectiezijde naast de damwand terwijl profiel #19 zich (op 240 m) nog net noordwestelijk van de (oorspronkelijke) rijsmatconstructie bevindt. De profielen #11 en #12 liggen centraal op het tussengelegen vak en geven mogelijk een zo ongestoord mogelijk beeld van de ontwikkeling van het dwarsprofiel.

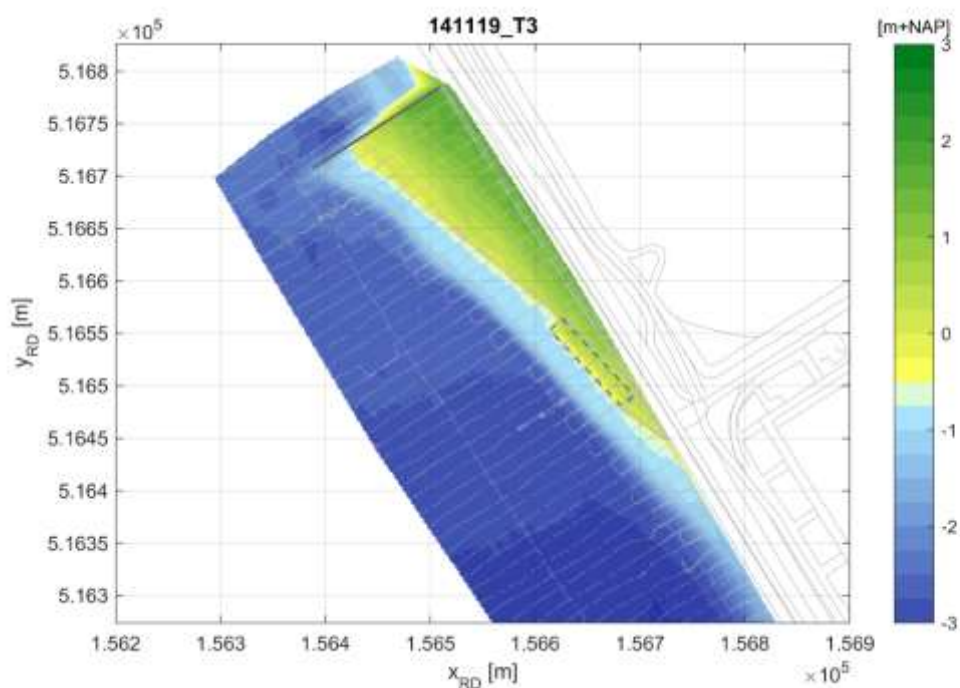
Het meest zuidoostelijke profiel (#43) ligt op een afstand van 600 m van de damwand.



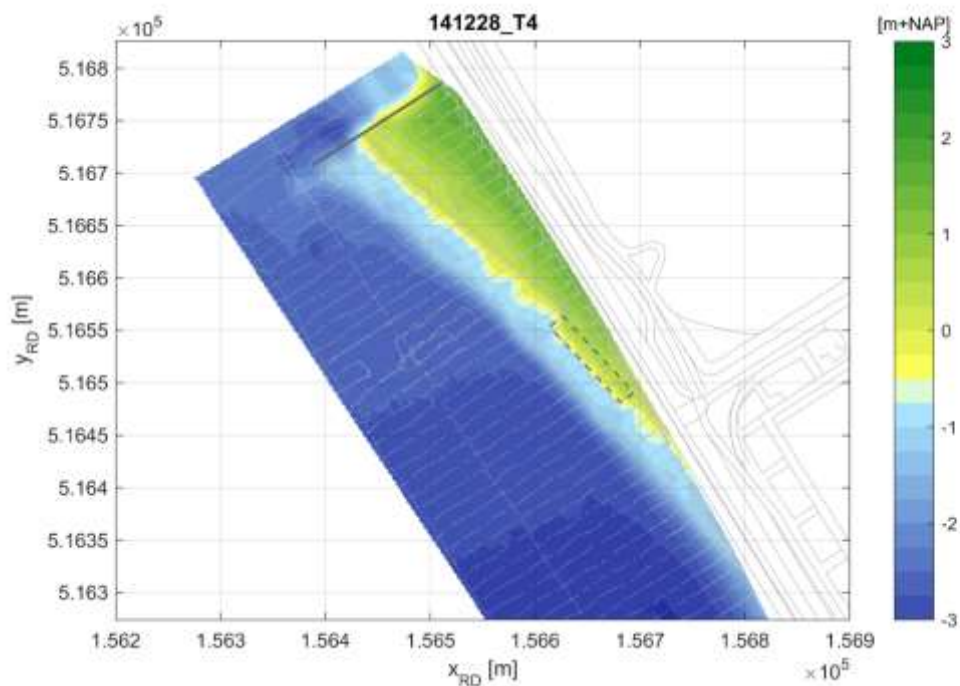
Figuur 6-2 Overzicht bodemligging T1-inmeting op 18 september 2014.



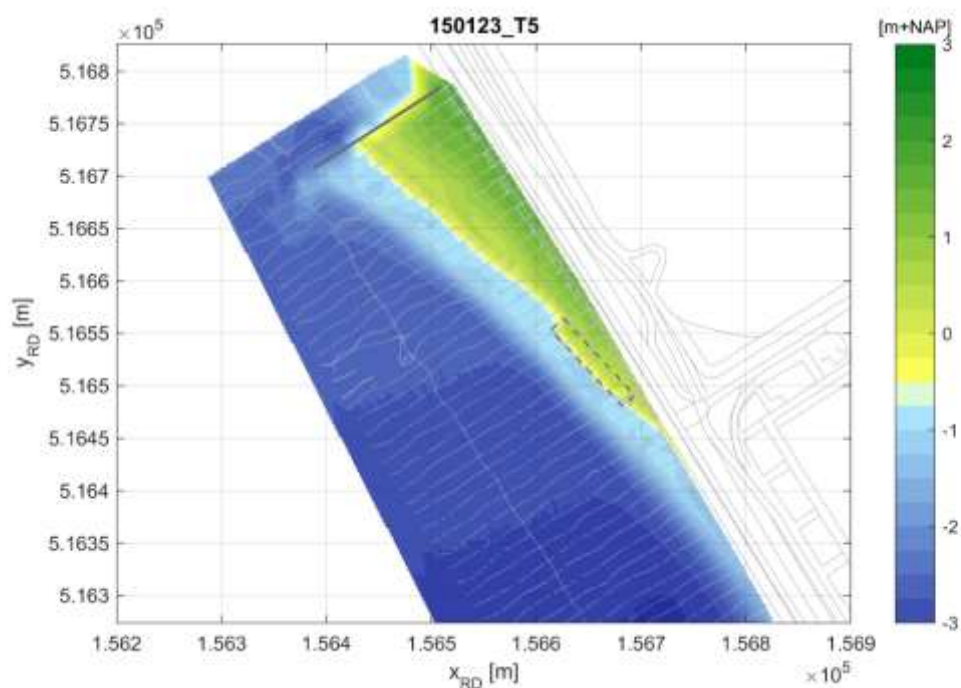
Figuur 6-3 Overzicht bodemligging T2-inmeting op 25 oktober 2014.



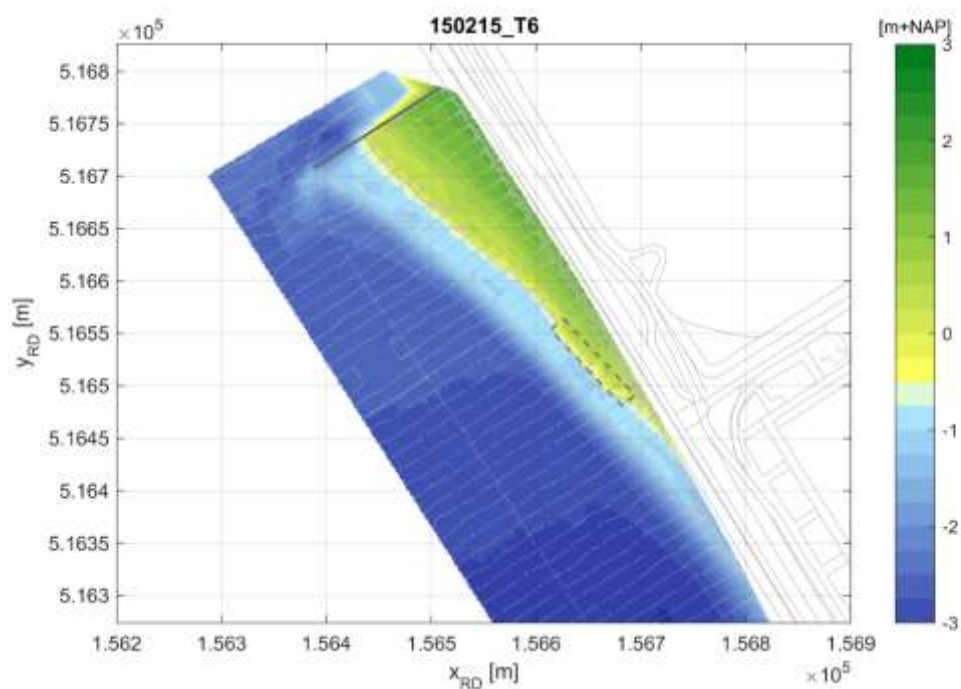
Figuur 6-4 Overzicht bodemligging T3-inmeting op 19 november 2014.



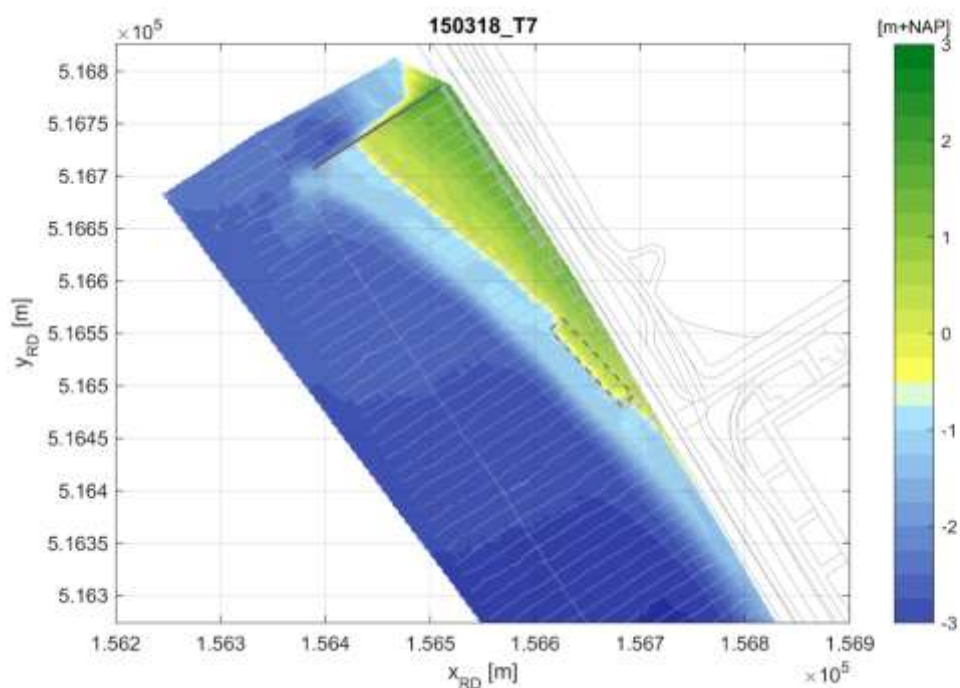
Figuur 6-5 Overzicht bodemligging T4-inmeting op 28 december 2014.



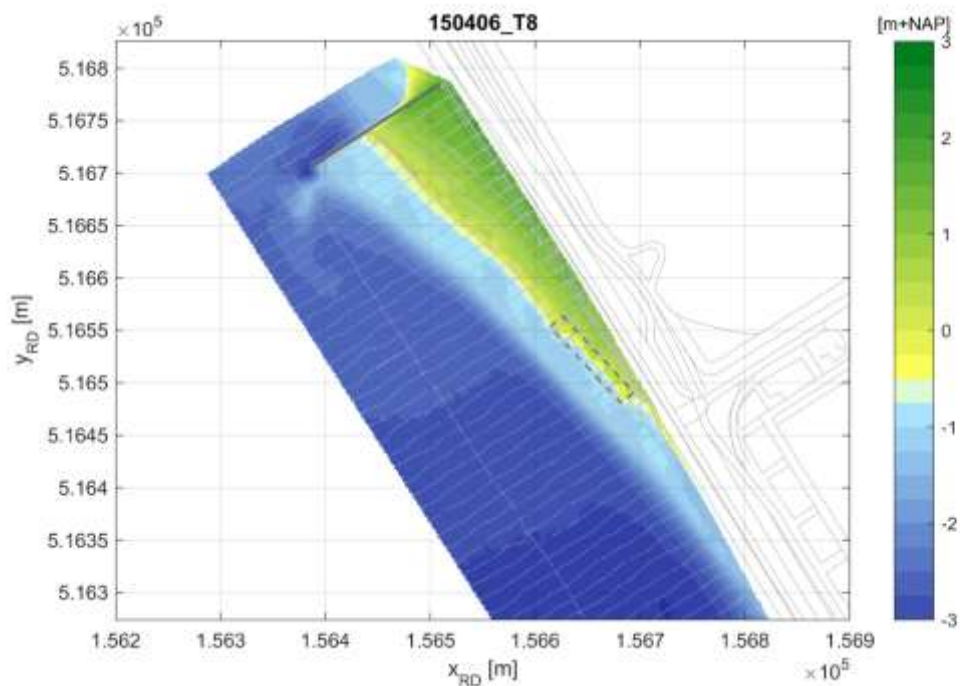
Figuur 6-6 Overzicht bodemligging T5-inmeting op 23 januari 2015.



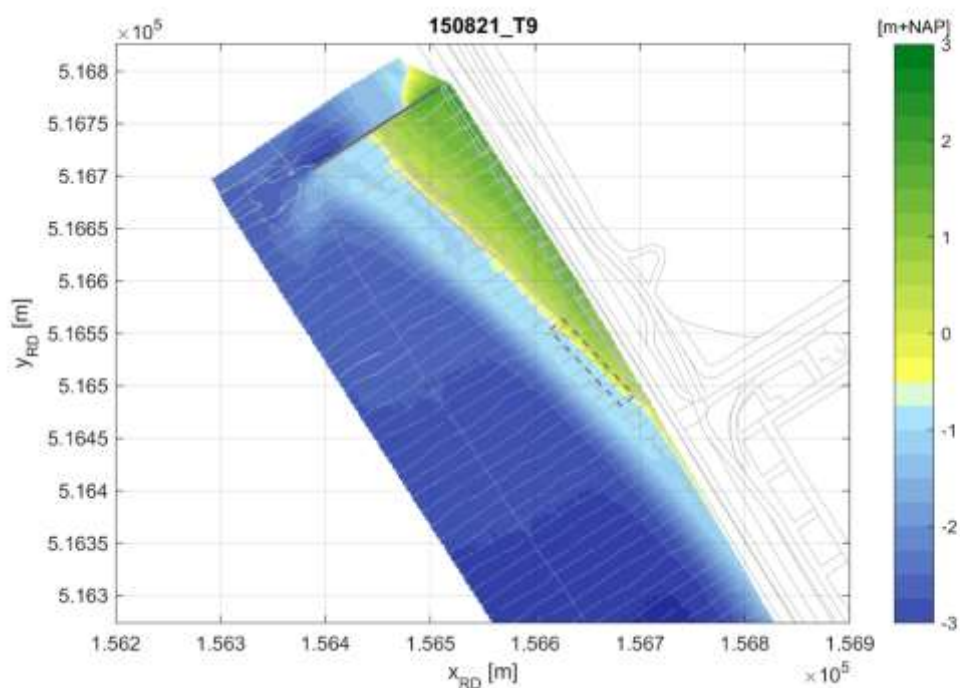
Figuur 6-7 Overzicht bodemligging T6-inmeting op 14 februari 2015.



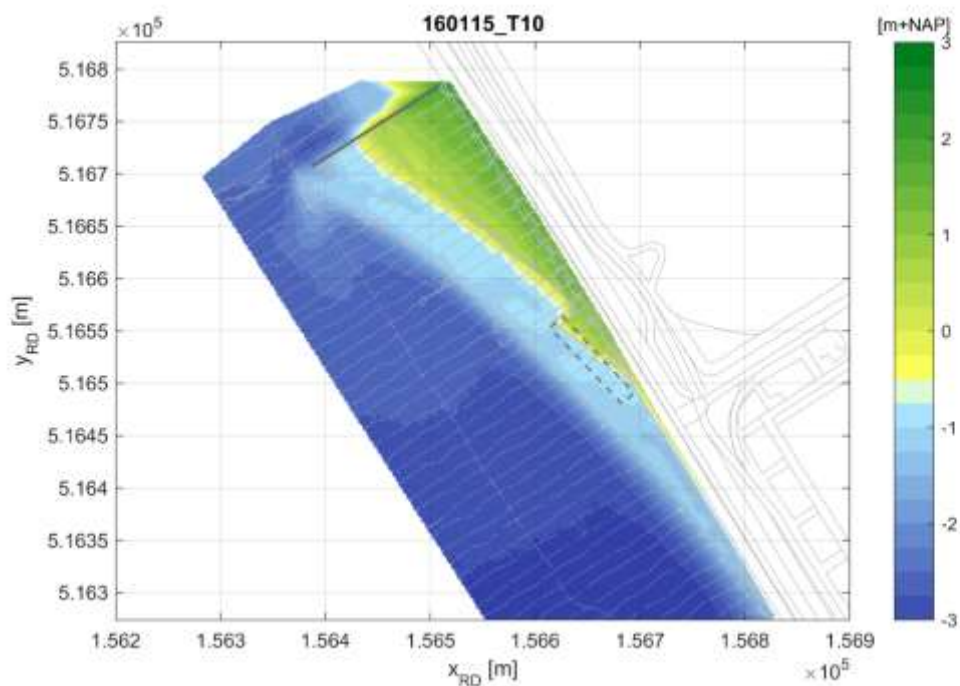
Figuur 6-8 Overzicht bodemligging T7-inmeting op 18 (en 21) maart 2015.



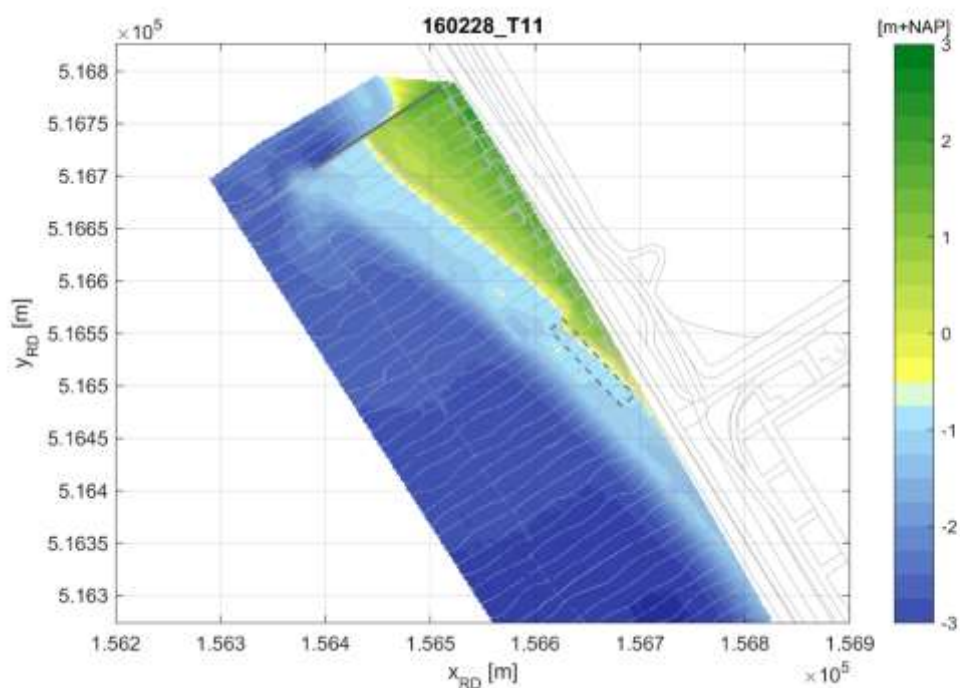
Figuur 6-9 Overzicht bodemligging T8-inmeting op 6 april 2015.



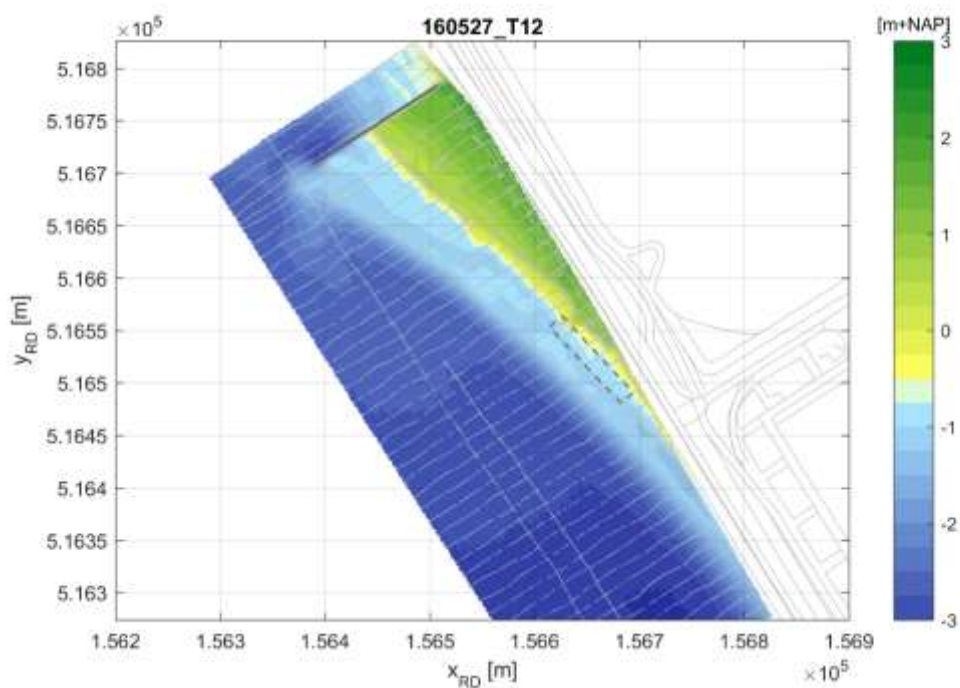
Figuur 6-10 Overzicht bodemligging T9-inmeting op 21 augustus 2015.



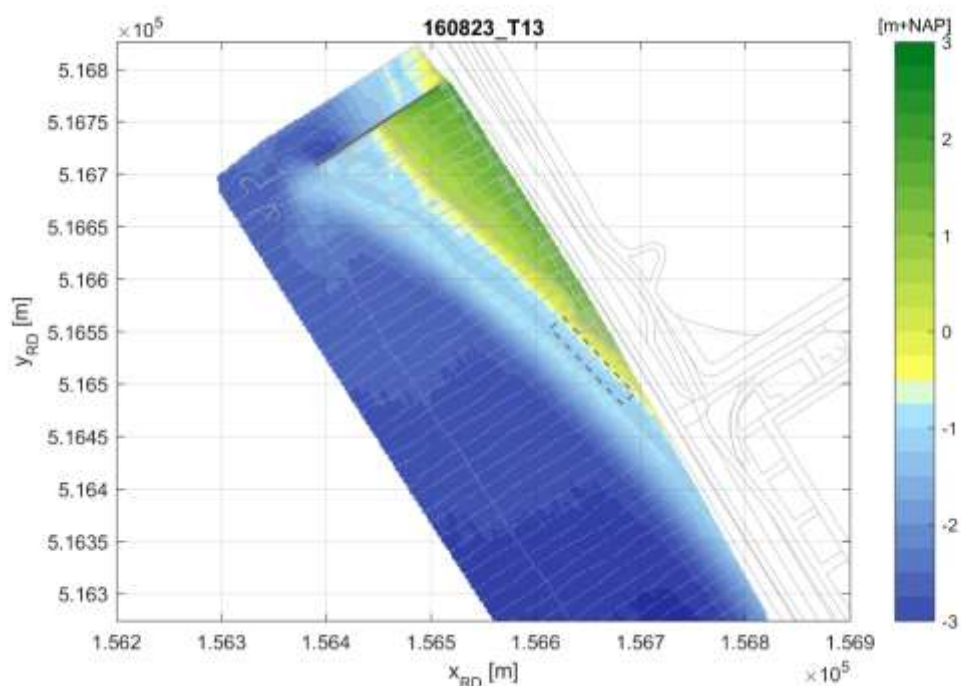
Figuur 6-11 Overzicht bodemligging T10-inmeting op 15 januari 2016.



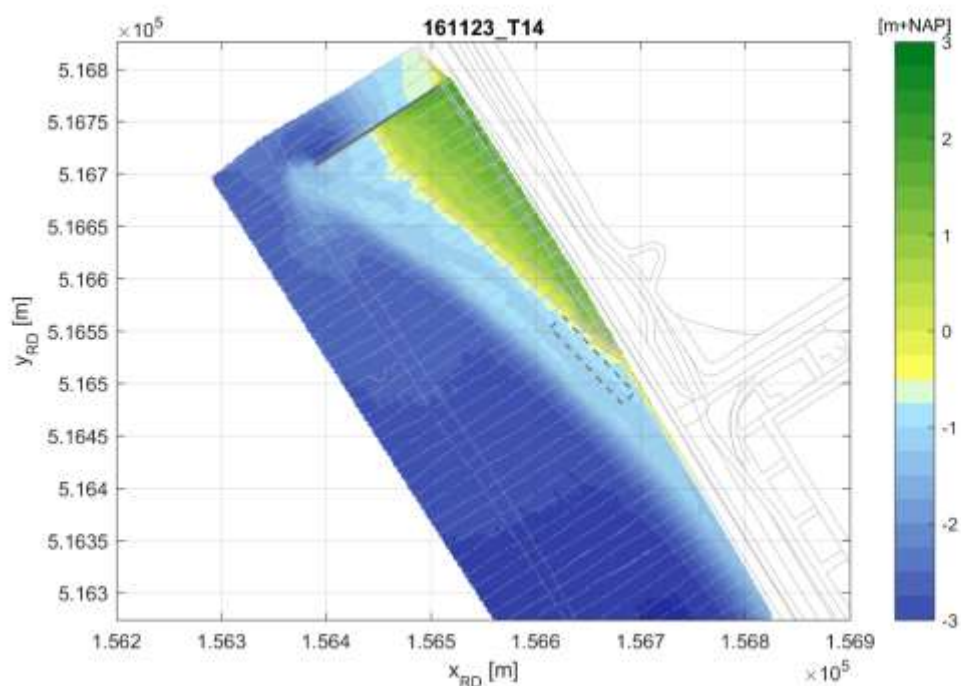
Figuur 6-12 Overzicht bodemligging T11-inmeting op 28 februari 2016.



Figuur 6-13 Overzicht bodemligging T12-inmeting op 27 mei 2016.



Figuur 6-14 Overzicht bodemligging T13-inmeting op 23 augustus 2016.



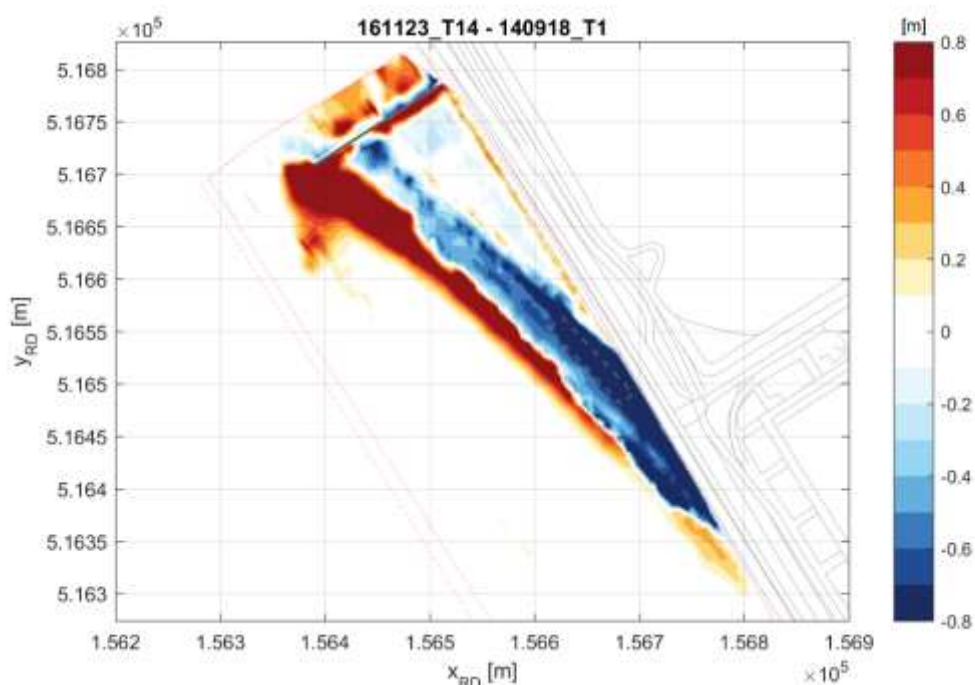
Figuur 6-15 Overzicht bodemligging T14-inmeting op 23 november 2016.

6.2.3 BESCHRIJVING ONTWIKKELING OP HOOFDLIJNEN

Een nadere analyse van de gepresenteerde ontwikkeling laat zien dat:

- Het aangebrachte materiaal grotendeels in de proefsectie blijft liggen;
- Er geen echte verliezen optreden;
- Er wel sprake is van een interne herverdeling van het aangebrachte materiaal;
- Er significante erosie plaatsvindt bij de rijsmatconstructie en dat deze inmiddels (zomer 2016) volledig is verdwenen;
- Er rond de waterlijn en hoger primair sprake is van een ontwikkeling in dwarsrichting;
- De oriëntatie van de buitenrand van deze bovenlaag direct gekoppeld is aan het (in het voorliggende tijdsinterval) aanwezige golfklimaat;
- De verliezen naar dieper water met name ten goede komen aan de vorming van een op het uiteinde van de damwand aansluitende onderwaterrand.

Dit laatste komt ook naar voren in de zogenaamde verschilbodem (zie Figuur 6-16). Deze geeft het verschil in bodemligging tussen de eerste T1-opname van 18 september 2014 en de laatste inmeting (T14) van 23 november 2016.



Figuur 6-16 Verschillen in bodemligging tussen eerste (T1) en de als laatste uitgevoerde inmeting (T14).

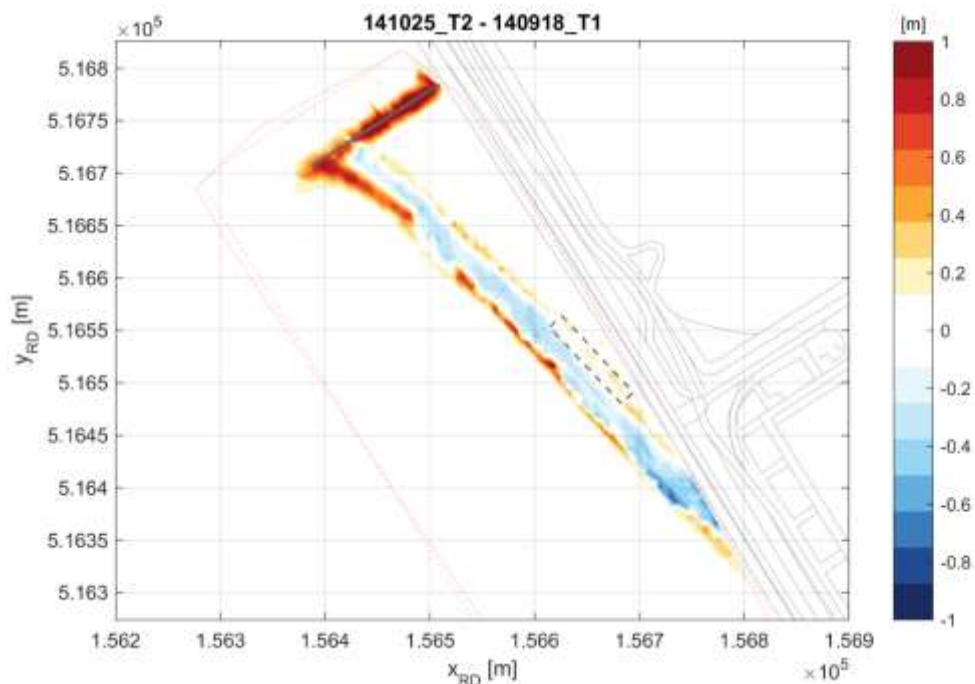
Op deze verschilkaart kunnen een aantal ontwikkelingen worden onderscheiden, te weten:

- De ontwikkelingen rond de damwandconstructie (welke deels toe te schrijven zijn aan interpolatieproblemen) waarbij er sprake is van een wind-geïnduceerde afzetting op de proefsectie tegen de damwand alsmede een zandige opvulling van de hoek noordwestelijk van de opsluitconstructie;
- De afzetting boven op het talud, parallel aan de dijk ter plaatse van het hier aanwezige windscherm dat zorgde voor een netto invang van het soms optredende windtransport;
- De erosie ter plaatse van de rijsmattenconstructie, deels als gevolg van de overgang van de kale dijk naar het zandige voorland, ook samenhangt met de netto bijdraaiing van het bovenplateau (waardoor deze positie relatief gezien verder uitsteekt);

- De ontwikkeling van de oeverlijn op het centrale deel van de proefsectie (tussen damwand en rijsmatconstructie) welke, gemiddeld genomen, primair het gevolg is van dwarstransportprocessen maar inmiddels (zomer 2016) overloopt in een ongestoorde ontwikkeling van de volledige proefsectie.
- De ontwikkeling van een doorgaande onderwaterrand die aansluit op de afzetting net voor de beëindiging van de damwand.

6.2.4 BESCHRIJVING ONTWIKKELING PER INTERVAL

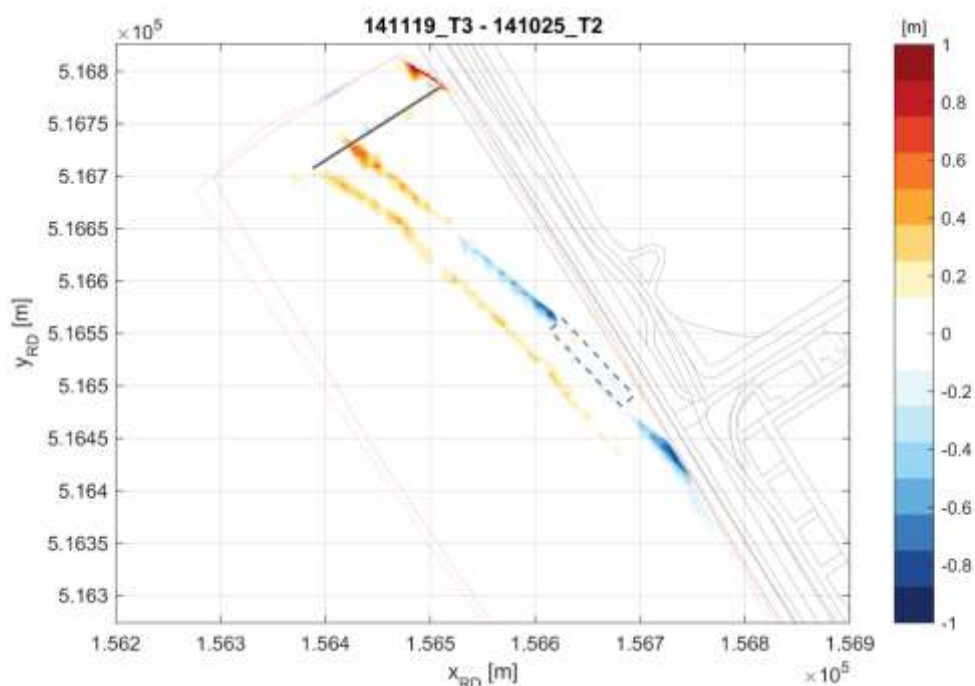
In Figuur 6-17 tot en met Figuur 6-26 is een overzicht gegeven van de tijdens de opeenvolgende meetintervallen opgetreden verschillen in bodemligging. Feitelijk is dit aanvullend op de ontwikkeling tijdens de aanleg zoals beschreven in de notitie over de aanleg (EcoShape, 2015c).



Figuur 6-17 Verschil in bodemligging tussen T1- en T2-opname.

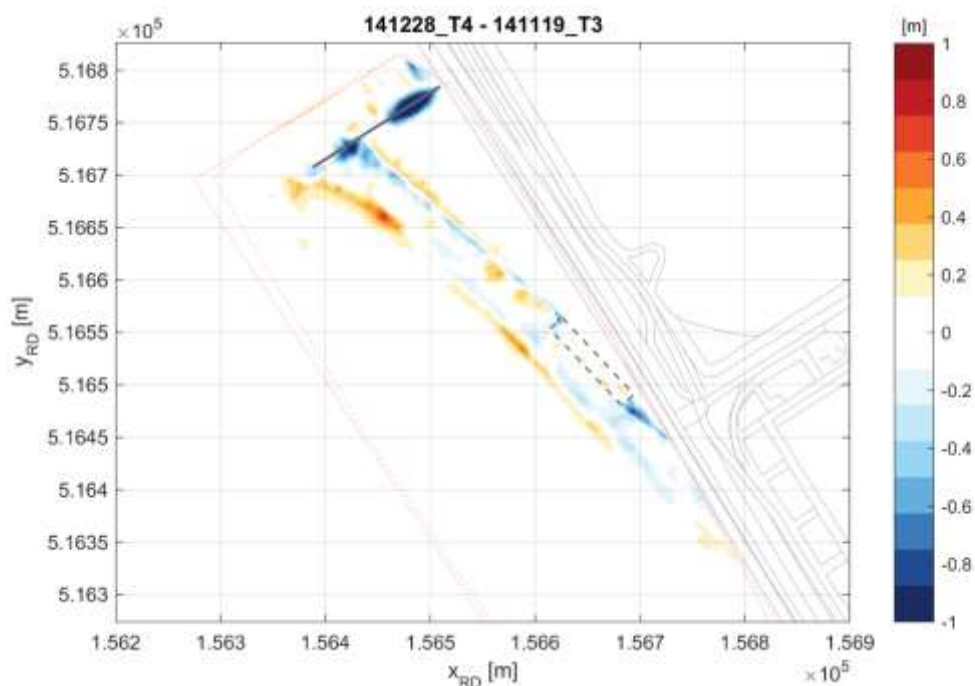
Tijdens de eerste periode (18 september tot 14 oktober; Figuur 6-17) is er duidelijk sprake van een instelling van een stabiele oeverligging. Dit lijkt met name te gelden voor de profielontwikkeling in dwarsrichting.

De afzetting in de omgeving van de damwand is gerelateerd aan een numeriek interpolatie-probleem.

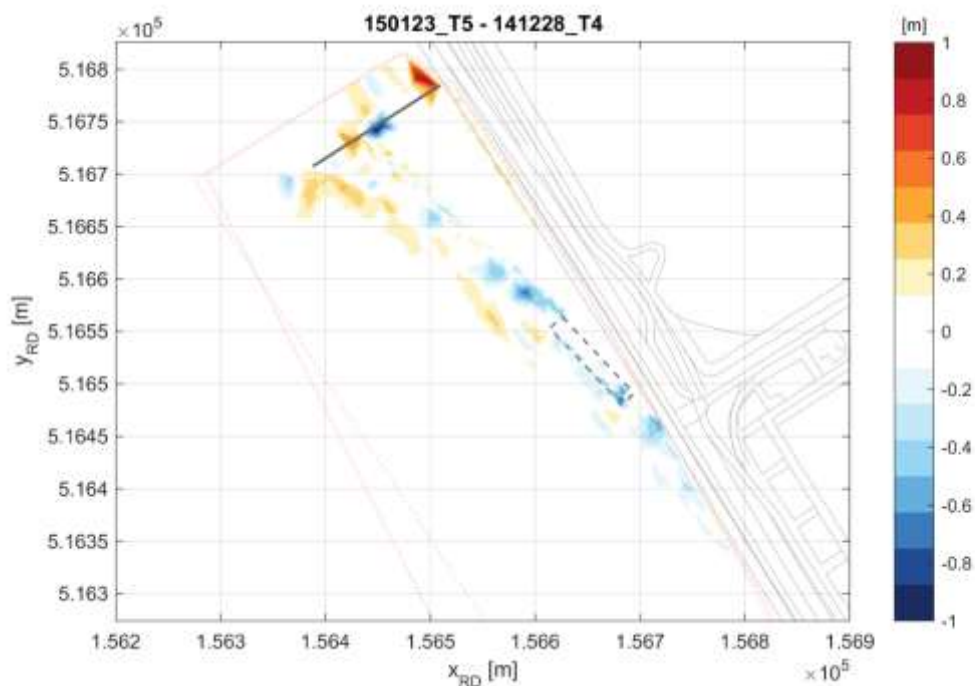


Figuur 6-18 Verschil in bodemligging tussen T2- en T3-opname.

De tweede periode (Figuur 6-18) laat primair het effect zien van een bijdraaiing van het centrale deel van de proefsectie (tegen de klok in). Dit is het gevolg van de tijdens deze periode overheersend oostelijke windrichtingen (zie ook Paragraaf 5.5). In dwarsrichting gebeurt er (zeker ten opzichte van de eerste periode) niet heel erg veel.

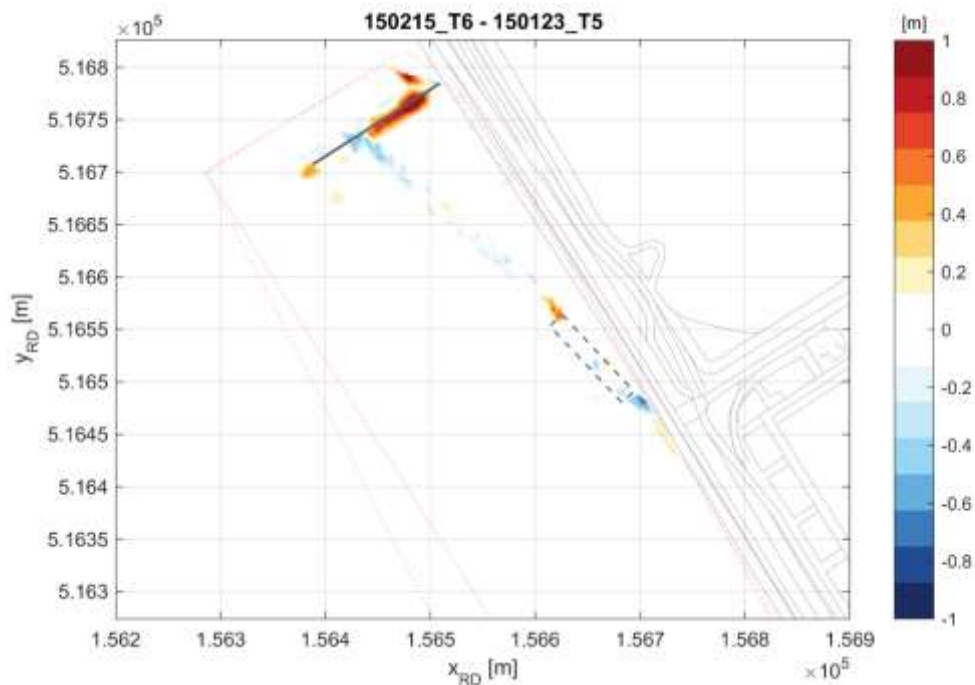


Figuur 6-19 Verschil in bodemligging tussen T3- en T4-opname.

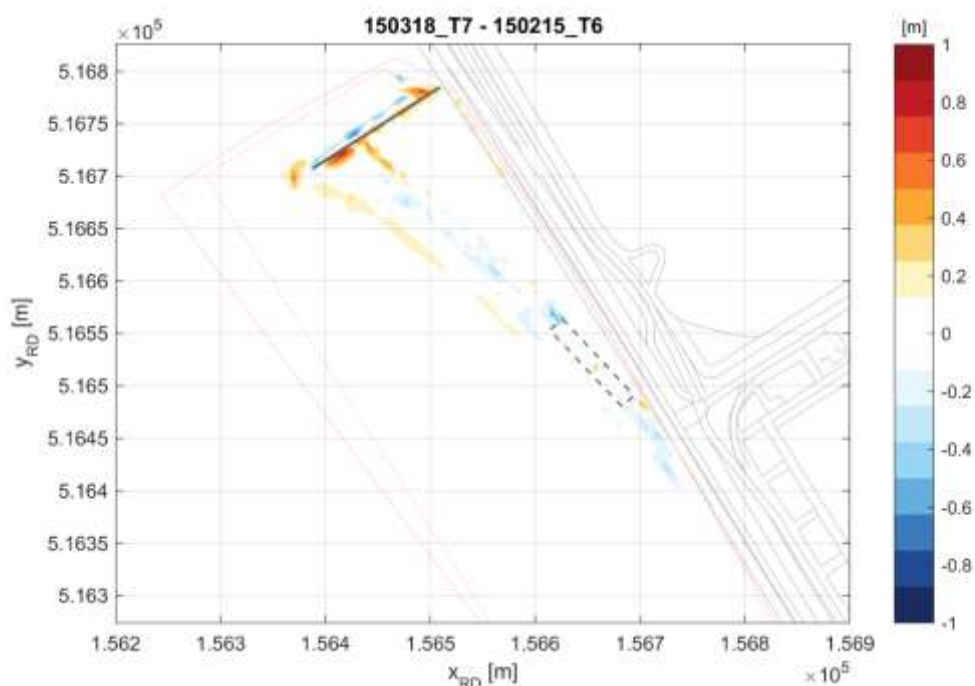


Figuur 6-20 Verschil in bodemligging tussen T4- en T5-opname.

Zowel tijdens de derde (Figuur 6-19) als de vierde periode (Figuur 6-20) zijn de veranderingen relatief beperkt en lijkt er al sprake te zijn van een min of meer stabiele bodemligging. Wel is zichtbaar dat zich ten zuidwesten van de kop van de damwand een afzetting gaat ontwikkelen.



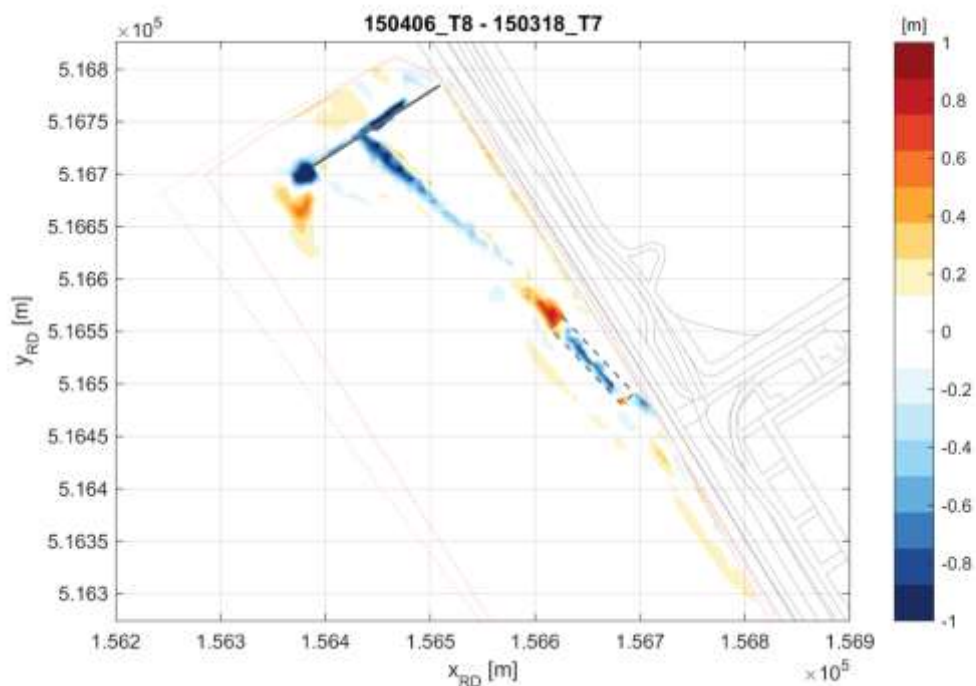
Figuur 6-21 Verschil in bodemligging tussen T5- en T6-opname.



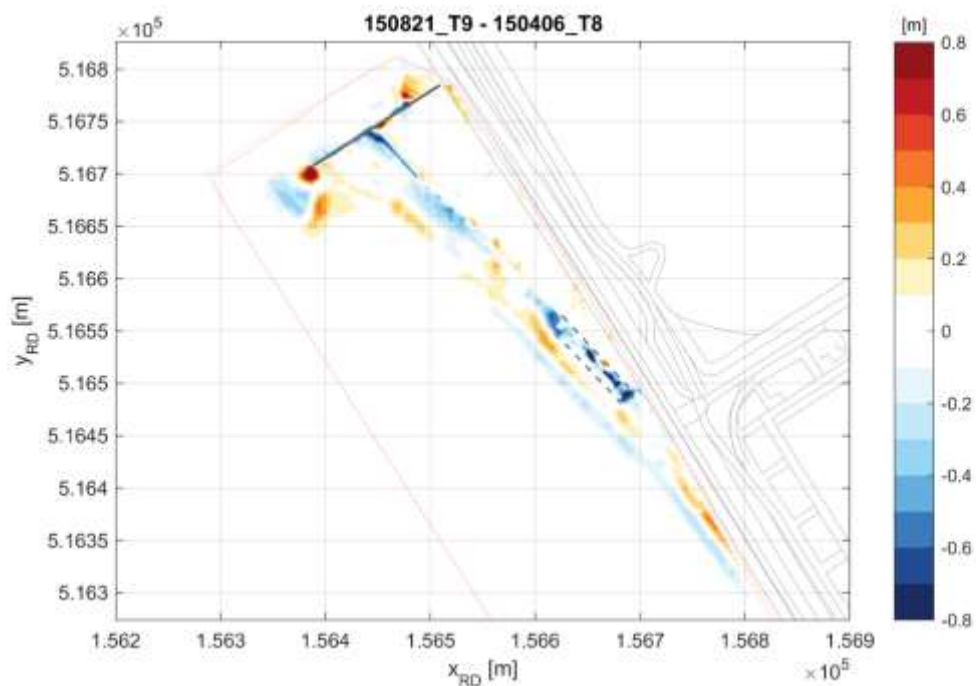
Figuur 6-22 Verschil in bodemligging tussen T6- en T7-opname.

Dit laatste geldt ook voor vijfde en zesde periode (Figuur 6-21 en Figuur 6-22).

In de zevende periode (Figuur 6-23) was er eind maart sprake van een vrij zware storm uit het westen. Deze had als gevolg dat de oriëntatie van de oeverlijn in het centrale deel van de proefsectie enigszins met de klok mee draaide. Dit leidde tot een achteruitgang van het dwarsprofiel bij de damwand een enige aanzanding tegen en op de noordwestelijke beëindiging van de rijsmatconstructie. Ook heeft dit geleid tot de ontwikkeling van een ontgrondingskuil bij de beëindiging van de damwand. Het hier geërodeerde materiaal heeft zich zuidelijk van deze verdieping weer afgezet.

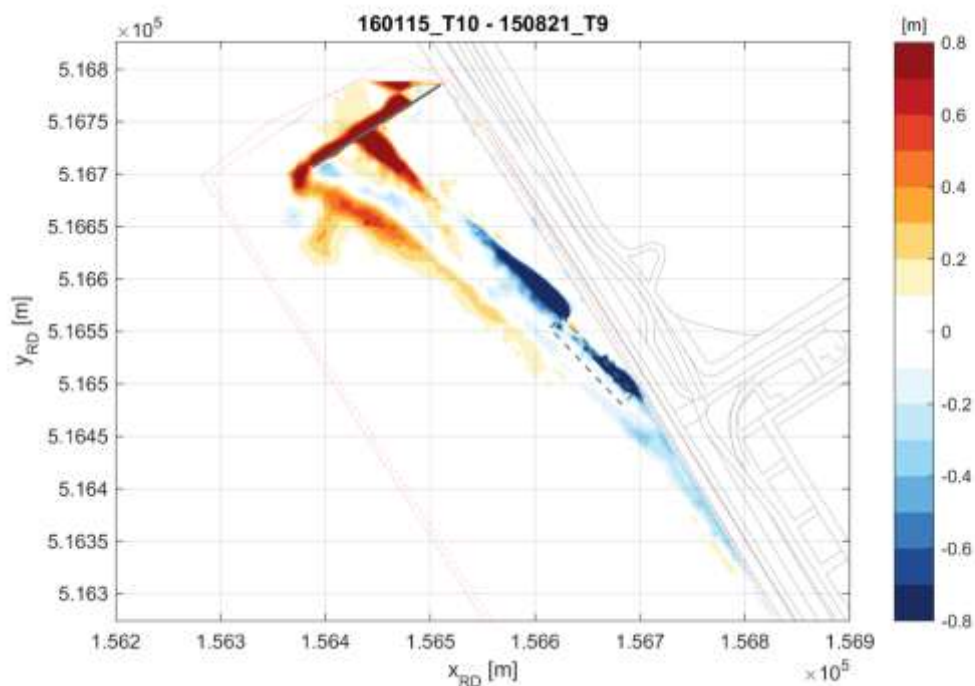


Figuur 6-23 Verschil in bodemligging tussen T7- en T8-opname.



Figuur 6-24 Verschil in bodemligging tussen T8- en T9-opname.

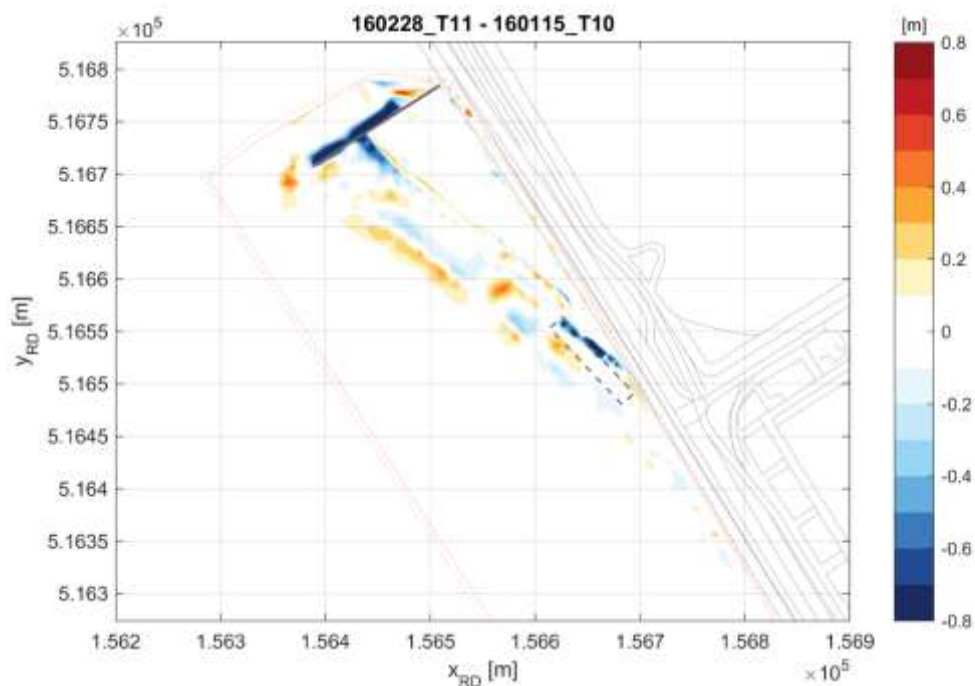
Figuur 6-24 laat zien dat de eerder gevormde kuil bij de damwand weer grotendeels wordt gedicht. Ook zien we (vergelijkbaar met Figuur 6-23) de doorgaande vorming van een doorlopende onderwateroever op het gebied zuidoostelijk van de rijsmatconstructie.



Figuur 6-25 Verschil in bodemligging tussen T9- en T10-opname.

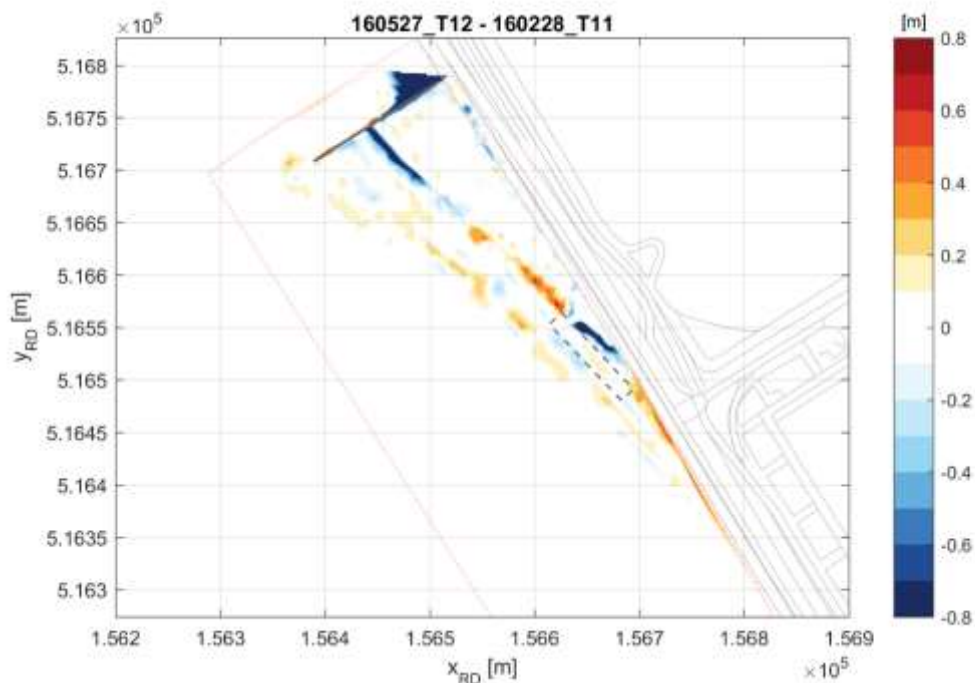
Tijdens de lange periode tussen augustus 2015 (T9) en januari 2016 (T10) was er met name in de maand december sprake van een meer zuidoostelijk georiënteerde golfaanval (zie Figuur 6-25). Dit heeft geleid tot een zeer sterke bijdraaiing (tegen de klok in) van het tussen damwand en rijsmatconstructie gelegen bovenste deel van het profiel, met aanzanding/uitbouw bij de damwand en erosie naast de noordwestelijke beëindiging van de rijsmatconstructie.

Ook de onderlaag laat in het noordwestelijke deel een verdere uitbouw zien met afzettingen tot orde 0,6 m.



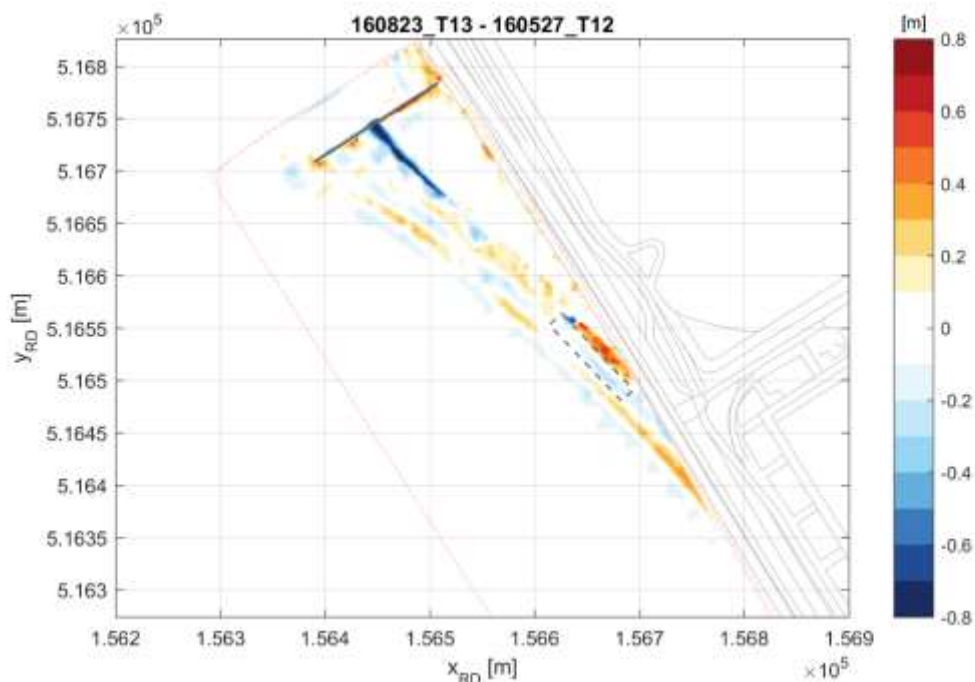
Figuur 6-26 Verschil in bodemligging tussen T10- en T11-opname.

In de daaropvolgende relatief korte periode tussen januari 2016 (T10) en februari 2016 (T11) draait de oeverlijn weer iets terug met een vrij lokale teruggang direct naast de damwand (zie Figuur 6-26). Verder is er sprake van een uitbouw van de onderwaterrand met op het centrale deel een aanzanding tot orde 0,3 m.



Figuur 6-27 Verschil in bodemligging tussen T11- en T12-opname.

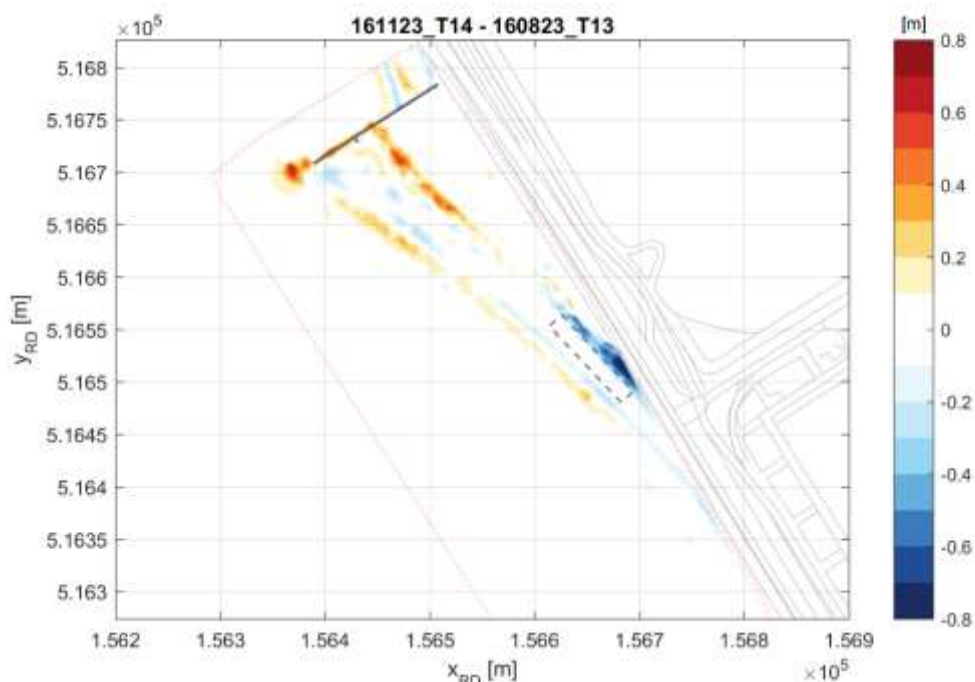
Figuur 6-27 laat de verandering zien zoals deze zijn opgetreden tussen februari en mei 2016. Te zien is dat er ter plaatse van de rijsmatconstructie wederom sprake is van een achteruitgang van de waterlijn. In het centrale vak tussen de damwand en de rijsmatconstructie is sprake van een beperkte bijdraaiing (met de klok mee) van de buitenrand van de bovenlaag. De uitbouw van de onderlaag blijft lokaal beperkt tot maximaal 0,2 m hetgeen zou kunnen duiden op het ontstaan van een min of meer stabiele evenwicht voor deze diepere contour.



Figuur 6-28 Verschil in bodemligging tussen T12- en T13-opname.

Figuur 6-28 toont de verandering tussen mei en augustus 2016. Te zien is dat er ter plaatse van de eerst nog aanwezige hoek van de rijsmatconstructie nu ook erosie plaatsvindt. De functie als ‘ophanging’ van het eerdergenoemde centrale deel van de proefsectie komt daarmee dan ook te vervallen. Vanaf dat moment is er in toenemende mate dan ook sprake van een uniforme proefsectie. De eerder aanwezige erosiespot (zie Figuur 6-27) komt hiermee te vervallen en wordt nu weer opgevuld. Deze herverdeling van materiaal gaat ten koste van het in de centrale sectie aanwezige zandvolume. Daarnaast is er in deze periode opnieuw een beperkte bijdraaiing (met de klok mee) van de buitenrand van de bovenlaag aanwezig die dit effect waarschijnlijk nog iets versterkt. Combinatie van beide mechanismen zal mogelijk leiden tot enige extra achteruitgang van de oeverlijn in het bredere deel van de proefsectie (zie ook Paragraaf 2.2 in Annex III; pagina 198).

Ook zien we dat de onderlaag in dit deel van de proefsectie zich ook nog iets uitbouwt.



Figuur 6-29 Verschil in bodemligging tussen T13- en T14-opname.

In Figuur 6-29 is de ontwikkeling van augustus tot november 2016 te zien. Onder invloed van de overheersende golfvalsrichting heeft in deze periode een netto verdraaiing tegen de klok in plaatsgevonden. Als gevolg hiervan is de waterlijn bij de damwand iets uitgebouwd. Als gevolg daarvan is de ontgrondingskuil voor de damwand enigszins opgevuld. De bijdraaiing heeft ook geresulteerd in een verdergaande erosie van de bij de rijsmatconstructie gelegen deel van de proefsectie.

De over de gehele periode (vanaf 18 september 2014) waargenomen ontwikkeling is combinatie van:

- Profielontwikkeling in dwarsrichting als gevolg van waterstand en golfaanval;
- Bijdraaiing proefsectie als gevolg van een tijdsvariatie in golfrichtingen en interactie met 'constructies';
- Het afnemend (en inmiddels zelfs volledig afwezig) belang van de rijsmatconstructie als 'tijdelijke' opsluiting van de centrale sectie.
- De vorming van een doorgaande onderwaterrand;
- Transport richting dijk en damwand als gevolg van transport door wind;
- Zettingen van de ondergrond.

Voor elk van de genoemde processen zijn verschillende tijdschalen van toepassing. Voor de eerste twee, zijnde de ontwikkeling van het dwarsprofiel en het instellen op de momentaan dominante golfvalsrichting is deze kort. Voor de vorming van een doorgaande onderwaterrand en de zettingen gelden weer langere tijdschalen.

6.2.5 NADERE UITWERKING

De resultaten van de nadere verwerking zijn onderdeel van lopende activiteiten (Arcadis, 2015c) en zullen onder andere moeten leiden tot nieuwe inzichten in de stabiele profielvorm (zie Hoofdstuk 2 in Annex I) alsmede een beschrijving van de morfologische veranderingen (zie Hoofdstuk 2 in Annex III).

De laatste resultaten aangaande deze uitwerkingen zijn op hoofdlijnen geïntegreerd in deze versie van de interim-rapportage.

6.3 ALTERNATIEVE DATA-INWINNING VIA ANALYSE SATELLIETBEELDEN

6.3.1 INLEIDING

In de vorige paragraaf zijn de resultaten gepresenteerd van de fysieke inmeting van de bodemgeometrie aan de hand van de door Shore Monitoring uitgevoerde metingen (Shore Monitoring, 2016).

Parrallel hieraan is ook onderzocht in hoeverre de ontwikkeling van de morfologie op een innovatieve manier kon worden afgeleid door toepassing van remote sensing technieken.

Hiervoor is gebruik gemaakt van de Spot satellietbeelden uit het Nationaal Satelliet Dataportaal. Deze informatie is ook gebruikt voor het in op een innovatieve manier in kaart brengen van de ontwikkeling van de biomassa van de vegetatie (zie Paragraaf 8.4).

Voor meer achtergronden kan worden verwezen naar de door Alterra opgestelde deel van de werkrapportage (Deltares/Alterra, 2017).

6.3.2 GEBRUIKTE INFORMATIE

Als input-bestanden voor deze analyse is dus gebruikt gemaakt van Spot satellietbeelden uit het Nationaal Satelliet Dataportaal. Deze beelden zijn maandelijks beschikbaar en getracht wordt om met behulp van de weersvoorspelling de te gebruiken opnamedagen zo te kiezen dat de kans op bewolking klein is. Dat dit meestal goed lukt laat het grote aantal beelden vanaf november 2014 zien (zie ook Tabel 6-3).

De Spot satelliet heeft de beschikking over vier spectrale banden in het blauw, groen, rood en 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 (Tabel 6-2).

Karakteristiek	Toelichting
Temporele resolutie	Zie volgende tabel
Ruimtelijke resolutie	Panchromatisch: 1.5 m Multi-spectraal: 6 m
Spectrale resolutie	Panchromatisch - Zwartwit (450-745 nm) Multi-spectraal - Blauw (450-525 nm) - Groen (530-590 nm) - Rood (625-695 nm) - NIR (760-890 nm)

Tabel 6-2 Karakteristieken van de Spot satelliet.

De hoge resolutie panchromatische band wordt gebruikt om zo gedetailleerd mogelijk het zandoppervlak van de vooroever te bepalen. De omtrek van het zandlichaam wordt gedigitaliseerd en de oppervlakte berekend. Zo kan bijna maandelijks de zandafslag (of toename) worden bepaald van de vooroever. Dit is gebeurd voor de in Tabel 6-3 genoemde opnamedagen.

Jaar	Opnamedatum
2014	21 november 2014 26 december 2014
2015	16 februari 2015 12 maart 2015 10 mei 2015 4 juni 2015 3 juli 2015 9 augustus 2015 9 september 2015 10 oktober 2015 26 november 2015
2016	28 januari 2016 16 maart 2016 11 april 2016 5 mei 2016 5 juni 2016 28 juli 2016 18 augustus 2016 13 september 2016 4 oktober 2016 11 november 2016
2017	

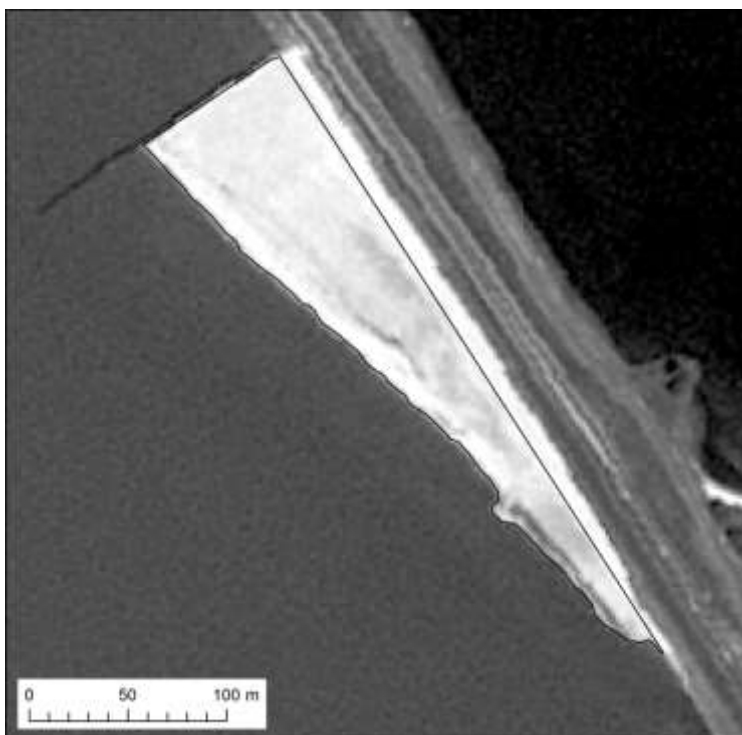
Tabel 6-3 Overzicht gebruikte opnamen van de Spot satelliet.

6.3.3 RESULTATEN

Zoals gezegd wordt de omtrek van het zandoppervlak handmatig gedigitaliseerd aan de hand van de panchromatische Spot satellietbeelden. Figuur 7.2 is een voorbeeld van een dergelijk satellietbeeld en de gedigitaliseerde omtrek. De boven- en rechterkant van het zandlichaam zijn vast begrenst middels de aangebrachte damwand en de oude grens tussen water en Houtribdijk, zodat variaties in zand op het oude dijklichaam niet worden meegenomen.

We kunnen nu verschillende gedigitaliseerde polygonen een kleur geven en over elkaar heen projecteren; zo wordt het mogelijk de dynamiek van de zandafslag en toename te visualiseren. Dit is gedaan in Figuur 7.3 voor de oppervlaktes in de maand november van de jaren 2014 t/m 2016. De oorspronkelijke omtrek van de vooroever op 21 november 2014 is als zwarte polygoon eroverheen geprojecteerd. Duidelijk is dat er overal een zandafslag plaatvond in de loop van deze jaren. In eerste instantie heeft de aanleg van de wilgenmatten nog een positief effect op de zandafslag gehad. Echter in november 2016 is vrijwel de gehele zuidelijke punt van het zandlichaam afgeslagen. Het oppervlak in november 2016 was nog 75% van het totale aangelegde oppervlak in november 2015.

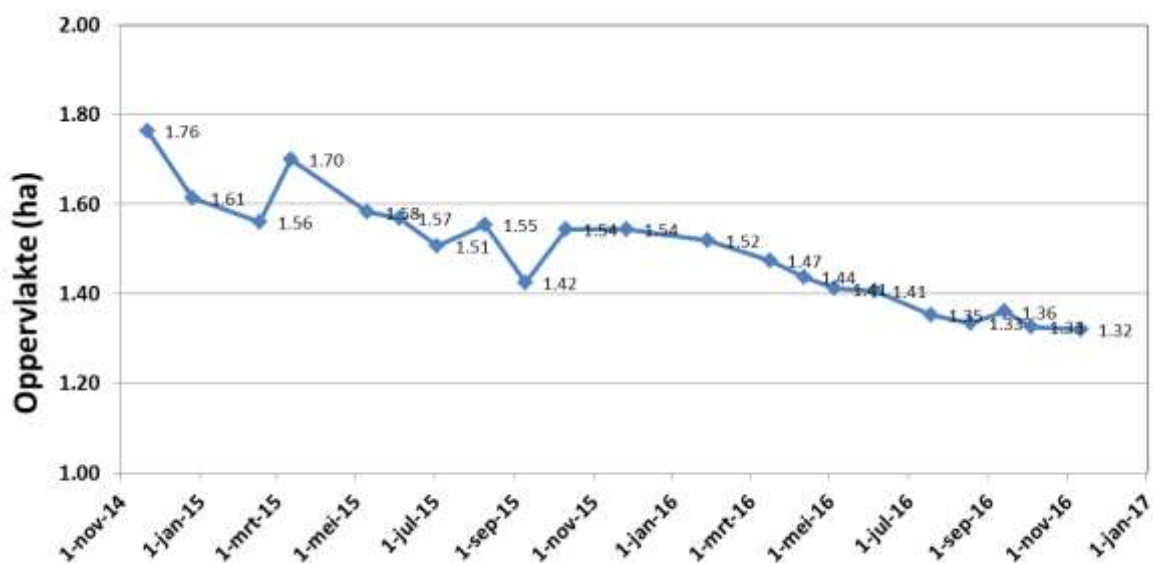
De gemeten oppervlaktes van het droge deel van zandlichaam, afkomstig van de maandelijkse satellietopnames zijn uitgezet tegen de tijd in Figuur 7.4. Na een eerste grillig verlopen jaar van zandafslag en soms ook zandtoename is vanaf najaar 2015 de zandafslag meer geleidelijk gegaan en lijkt zelfs af te vlakken naar een waarde van 1,3 ha in het najaar van 2016.



Figuur 7.2 Het satellietbeeld van 4 juni 2015 met de gedigitaliseerde omtrek als zwarte polygoon eroverheen geprojecteerd.



Figuur 7.3 De zandafslag en toename van de zandige vooroever aan de houtribdijk in de november maand van 2014, 2015 en 2016. De zwarte polygoon geeft de oorspronkelijke vorm weer van de vooroever, zoals aanwezig op 21 november 2014. De gevlochten wilgenmatten zijn hierin gearceerd weergegeven.



Figuur 7.4 Ontwikkeling oppervlakte van het boven water gelegen deel van de vooroever vanaf moment van oplevering in november 2014.

6.3.4 CONCLUSIES

Hoge resolutie satellietbeelden, zoals afkomstig van de Spot satelliet, bieden prachtige mogelijkheden tot het in detail monitoren van de dynamiek van een zandlichaam zoals de vooroever Houtribdijk. Vanaf november 2014 tot november 2016 zijn er 21 beelden beschikbaar gekomen en geanalyseerd. Deze beelden laten een in het begin grillige, maar later geleidelijke afname van het zandoppervlak zien tot november 2016 (75% van de oorspronkelijke omvang). De zandafslag lijkt te stabiliseren in de laatste maanden van 2016.

6.4 BASISRESULTATEN ZETTINGEN

6.4.1 INLEIDING

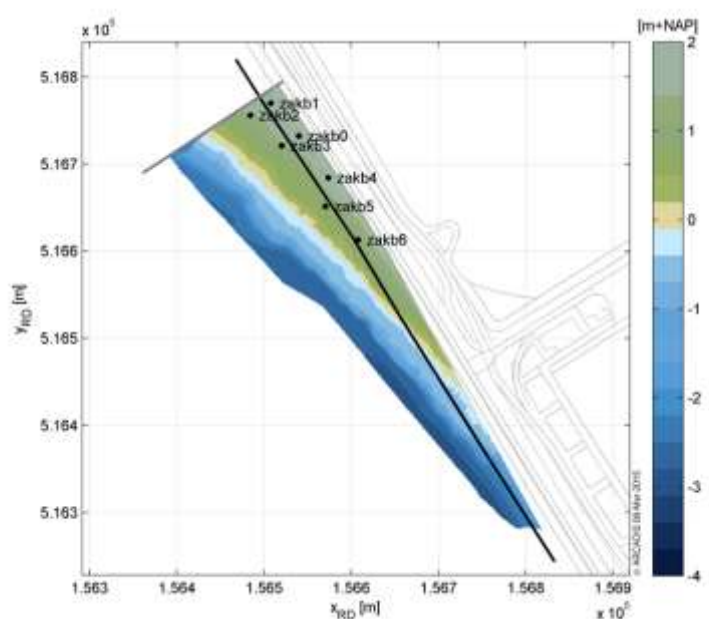
Deze paragraaf beschrijft de gebruikte methode voor de analyse van de zettingsmetingen. Ook worden de belangrijkste bevindingen beschreven. Een uitwerking met iets meer achtergronden is beschikbaar in een werkrapportage (Arcadis, 2016c).

6.4.2 GEBRUIKTE DATA

Voor het bepalen van de zettingen zijn zogenaamde zakbakens geplaatst in het droge gebied van de pilot. Zakbakens zijn lange metalen pijpen die zijn geplaatst op een voetplaat. Alle zakbakens hebben een totale lengte van 4 m en de voetplaat wordt op een zekere diepte ingegraven in het strand. Door regelmatig de verticale positie van de top van het baken te meten, wordt de lokale zakking bepaald van de ondergrond bepaald.

Voor de pilot zijn zeven bakens gebruikt. Figuur 6-30 toont de posities van de zakbakens zoals die zijn aangetroffen in het veld.

Zakbakens zakb2, zakb3 en zakb5 zijn het meest ver van de dijk afgelegen en liggen bovendien ter plaatse van de grotere ophogingen. Verwacht mag worden dat de zetting op deze posities dan ook het grootst zal zijn.



Figuur 6-30 Overzicht positie van de zeven geplaatste zakbakken, inclusief de veronderstelde positie van de buitenbegrenzing van het cunet (zwarte lijn).

6.4.3 AANPAK DATA-ANALYSE

De zettingen worden op verschillende manieren geanalyseerd. Ten eerste wordt naar de absolute verticale posities en de bijbehorende zettingen van de zakbakken gekeken. Vervolgens wordt de relatie tussen de dikte van het lokale zandpakket en de zettingen in kaart gebracht. Door vervolgens de afstand van de meetstations tot de Houtribdijk in kaart te brengen, kan worden ingeschat of het meetstation zich al dan niet boven het cunet van de dijk bevindt. Tot slot kunnen de gemeten zettingen met de verwachte zettingen worden vergeleken. Voor deze theoretische zettingen is in een eerder stadium een analyse gemaakt waarvan de resultaten zijn opgenomen in de rapportage over de aanleg (EcoShape, 2015c).

In Tabel 6-1 zijn de data van de beschikbare metingen getoond. Tijdens de aanleg van de proefsectie (vanaf begin juli en medio september 2014) zijn er waar mogelijk al enkele zettingsmetingen uitgevoerd. Daarna is er in eerste instantie maandelijks gemeten en is (in de eerste kolom van de tabel) ter referentie ook het volgnummer van de door Shore Monitoring uitgevoerde inmeting toegevoegd.

Opname	Zakb0	Zakb1	Zakb2	Zakb3	Zakb4	Zakb5	Zakb6
			17-7-2014	17-7-2014		17-7-2014	17-7-2014
			25-7-2014	25-7-2014			
			15-8-2014	15-8-2014			
	21-8-2014	21-8-2014		21-8-2014	21-8-2014	21-8-2014	21-8-2014
	28-8-2014	28-8-2014	28-8-2014	28-8-2014	28-8-2014	28-8-2014	28-8-2014
	30-9-2014	30-9-2014	30-9-2014	30-9-2014	30-9-2014	30-9-2014	30-9-2014
	15-9-2014	15-9-2014	15-9-2014	15-9-2014	15-9-2014	15-9-2014	15-9-2014
T1	18-9-2014	18-9-2014	18-9-2014	18-9-2014	18-9-2014	18-9-2014	18-9-2014
T2	25-10-2014	25-10-2014	25-10-2014	25-10-2014	25-10-2014	25-10-2014	25-10-2014
T3	19-11-2014	19-11-2014	19-11-2014	19-11-2014	19-11-2014	19-11-2014	19-11-2014
T4	28-12-2014	28-12-2014	28-12-2014	28-12-2014	28-12-2014	28-12-2014	28-12-2014
T5	23-01-2014	23-01-2014	23-01-2014	23-01-2014	23-01-2014	23-01-2014	23-01-2014
T6	15-02-2015	15-02-2015	15-02-2015	15-02-2015	15-02-2015	15-02-2015	15-02-2015
T7	18-03-2015	18-03-2015	18-03-2015	18-03-2015	18-03-2015	18-03-2015	18-03-2015
T8	06-04-2015	06-04-2015	06-04-2015	06-04-2015	06-04-2015	06-04-2015	06-04-2015
T9	21-08-2015	21-08-2015	21-08-2015	21-08-2015	21-08-2015	21-08-2015	21-08-2015
T10	15-01-2016	15-01-2016	15-01-2016	15-01-2016	15-01-2016	15-01-2016	15-01-2016
T11	28-02-2016	28-02-2016	28-02-2016	28-02-2016	28-02-2016	28-02-2016	28-02-2016
T12	27-05-2016	27-05-2016	27-05-2016	27-05-2016	27-05-2016	27-05-2016	27-05-2016
T13	23-08-2016	23-08-2016	23-08-2016	23-08-2016	23-08-2016	23-08-2016	23-08-2016
T14	23-11-2016	23-11-2016	23-11-2016	23-11-2016	23-11-2016	23-11-2016	23-11-2016

Tabel 6-4 Overzicht data inmeting van de verschillende zakbakens.

In Tabel 6-5 is ter informatie ook de ontwikkeling van dikte van het zandpakket ter hoogte van de zakbakens gedurende de aanleg van de proefsectie weergegeven.

Opname	Zakb0	Zakb1	Zakb2	Zakb3	Zakb4	Zakb5	Zakb6
07-07-2014	0	0	0	0	0	0	0
25-07-2014	2,14	2,59	2,61	2,17	0,71	0,18	0
15-08-2014	2,43	2,59	3,38	3,68	1,16	1,0	0,02
21-08-2014	2,57	2,57	2,53	2,38	2,45	2,08	1,36
28-08-2014	2,62	2,61	2,57	2,48	2,48	1,88	1,94
15-09-2014	2,52	2,58	2,45	2,41	2,42	2,09	2,20

Tabel 6-5 Dikte zandpakket (in meters) ter hoogte van de zakbakens gedurende de aanleg van de proefsectie.

Te zien is dat de proefsectie vanuit de damwand is aangelegd. Deze informatie is met name voor de analyses van de volumes in de aanlegfase gebruikt (zie ook (EcoShape, 2015c)).

6.4.4 ABSOLUTE NIVEAU-ONTWIKKELING

In Figuur 6-31 tot en met Figuur 6-37 is de ontwikkeling in de tijd van het niveau van de top van de zakbakens getoond. Daarnaast is ook de totaal opgetreden zetting weergegeven. De zetting is het verschil in verticale positie van de top van het bakken tussen de metingen.

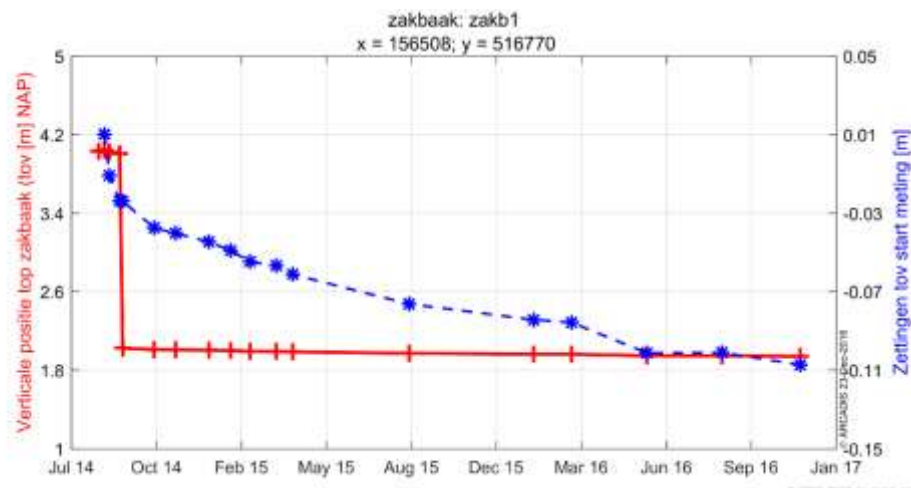
Figuur 6-31 en Figuur 6-32 tonen een grote sprong in de verticale positie van de top van de bakens zakb0 en zakb1. Dit komt doordat de lengte van deze bakens is ingekort met ongeveer twee meter. In het veld bleek dat deze bakens relatief ondiep zijn ingegraven, waardoor er een groot gedeelte van het baken boven het zand uit stak. Hierdoor ontstaat het risico dat het baken scheef gaat staan, wat de metingen kon beïnvloeden.

Figuur 6-31 laat zien dat op 15 september 2014 een meting is uitgevoerd met het originele (lange) baken, terwijl op 18-9-2014 de eerste meting met het ingekorte baken is uitgevoerd. Tussen deze metingen zit dus slechts drie dagen. Hierdoor kan met vrij grote zekerheid worden aangenomen dat de opgetreden zetting op 15-9-2014 drie dagen later nauwelijks is veranderd. Door dit aan te nemen en de positie van het baken op 18-9-2014 als nieuwe referentie te gebruiken, is toch een zettingsverloop in de tijd afgeleid.

Voor alle bakens neemt de verticale positie van de top van het baken af in de tijd. Dit geeft aan dat er dus inderdaad sprake is van zetting van het zandpakket. Voor bakens 3, 5 en 6 is goed te zien dat de toename van de zetting afneemt in de tijd tot april 2015. Daarna neemt de zetting voor deze bakens juist weer toe. De andere bakens tonen een mindere of zelfs helemaal geen afname van de zettingssnelheid. Dit zal vermoedelijk te maken hebben met lokale verschillen in de samenstelling van de ondergrond. Over het algemeen tonen de resultaten dat de ondergrond nog niet is gestabiliseerd.



Figuur 6-31 Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb0 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).



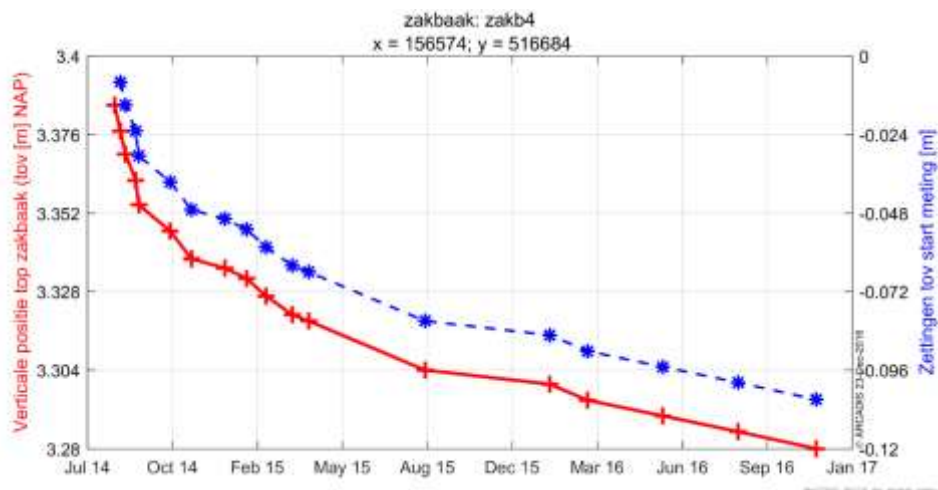
Figuur 6-32 Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb1 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).



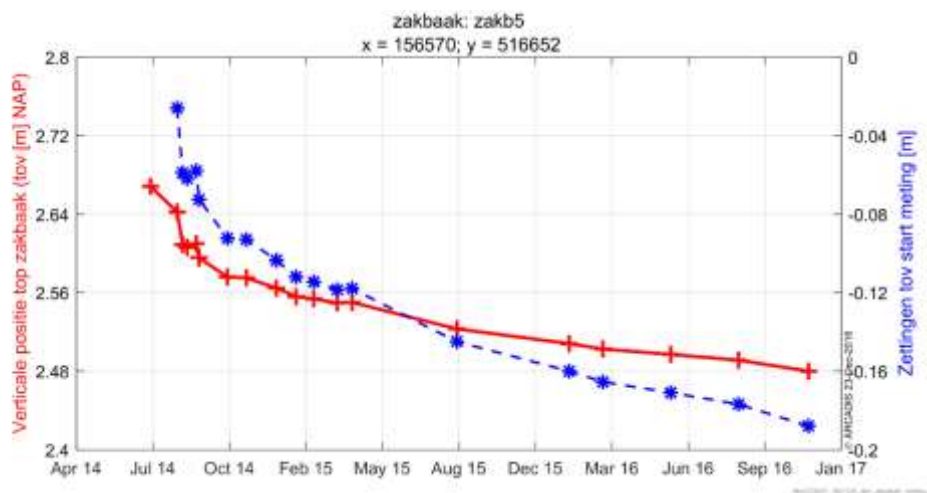
Figuur 6-33 Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb2 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).



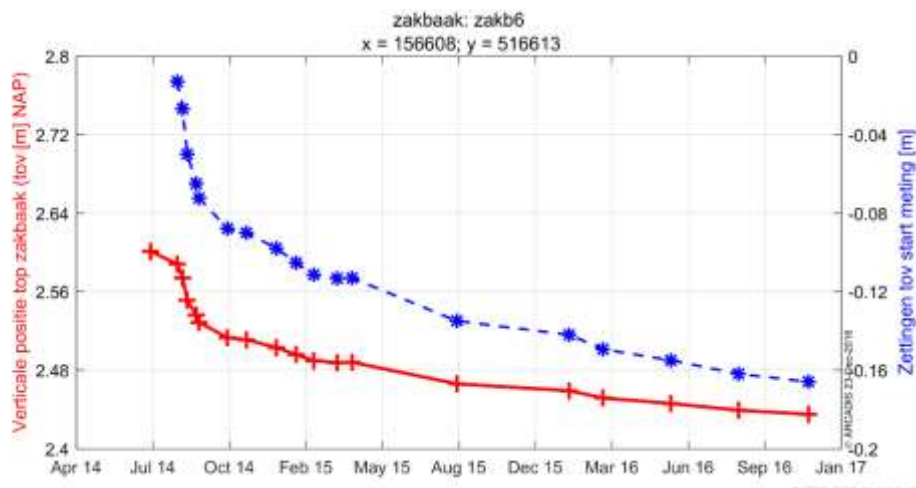
Figuur 6-34 Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb3 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).



Figuur 6-35 Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb4 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).



Figuur 6-36 Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb5 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).



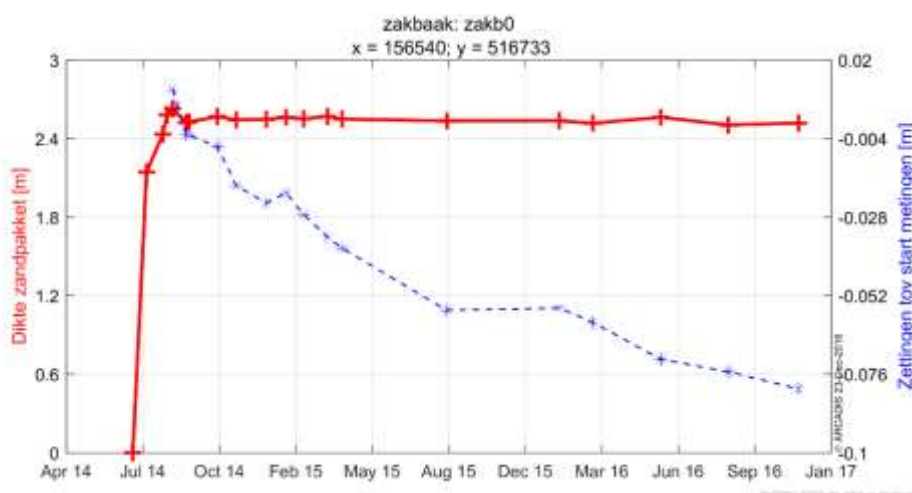
Figuur 6-37 Absolute ontwikkeling top van het zakbaken voor zakb6 (rode lijn), samen met de bijbehorende zetting (blauwe lijn).

De tot op heden opgetreden zetting bedraagt, afhankelijk van de positie en bovenbelasting van het zakbaken, 10 tot 20 cm.

6.4.5 RELATIE ZETTINGEN EN DIKTE ZANDPAKKET

In Figuur 6-38 tot en met Figuur 6-44 is de ontwikkeling in de tijd van de top van de zakbakens getoond, in relatie met de dikte van het lokale zandpakket. Tijdens de aanlegfase (tot halverwege september 2014) is de bathymetrie en de zettingen niet in dezelfde frequentie gemeten (vergelijk ook Tabel 6-4 met Tabel 6-5). Tijdens de monitoringsfase is dat in het eerste jaar wel gebeurd.

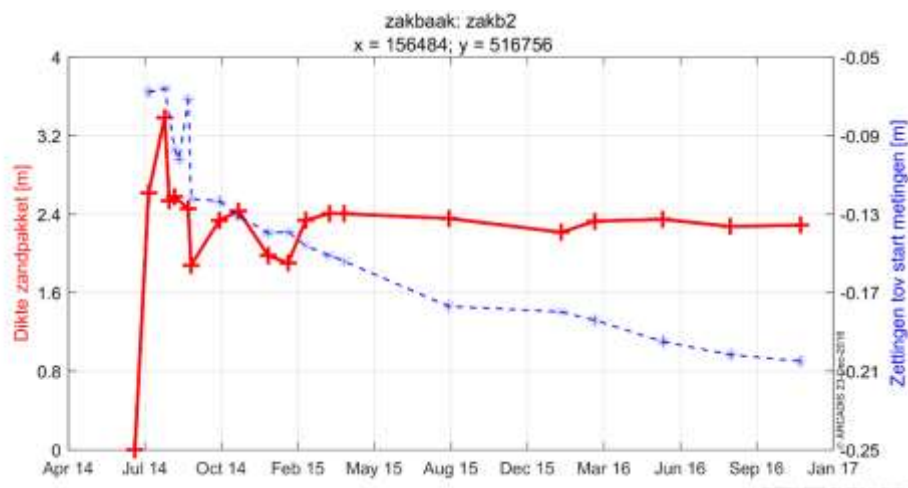
Voor vrijwel alle bakens geldt dat na aanleg de dikte van het zandpakket nauwelijks verandert. De zakbakens bevinden zich relatief hoog in het profiel, waardoor erosie door golfafslag of sediment langtransport nauwelijks voorkomt. Winderosie heeft hier wel invloed, maar dat is nauwelijks terug te zien in de profielen.



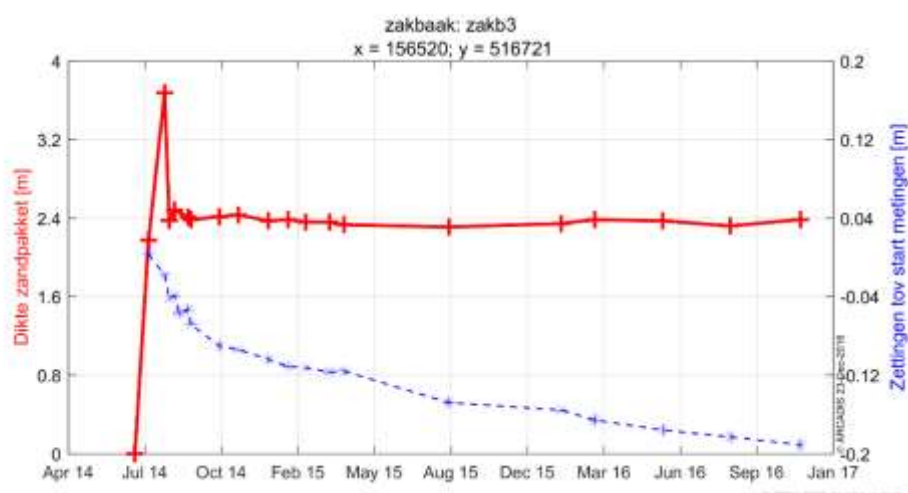
Figuur 6-38 Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb0.



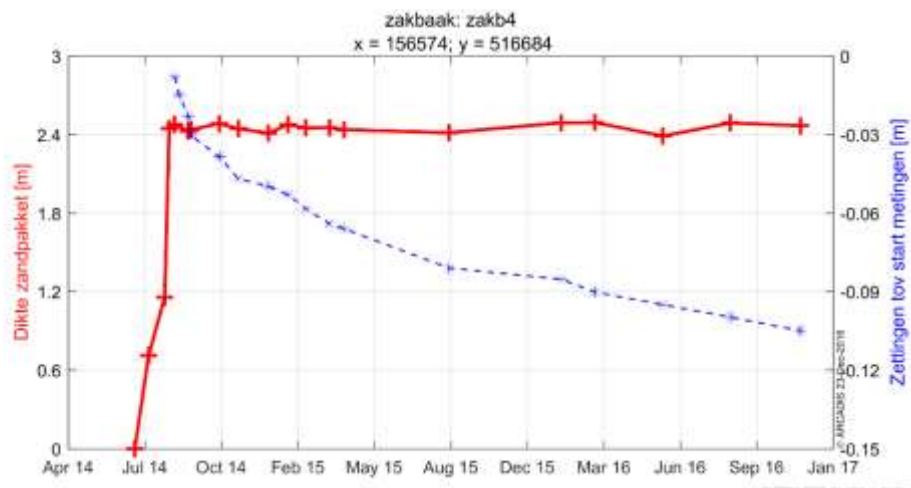
Figuur 6-39 Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb1.



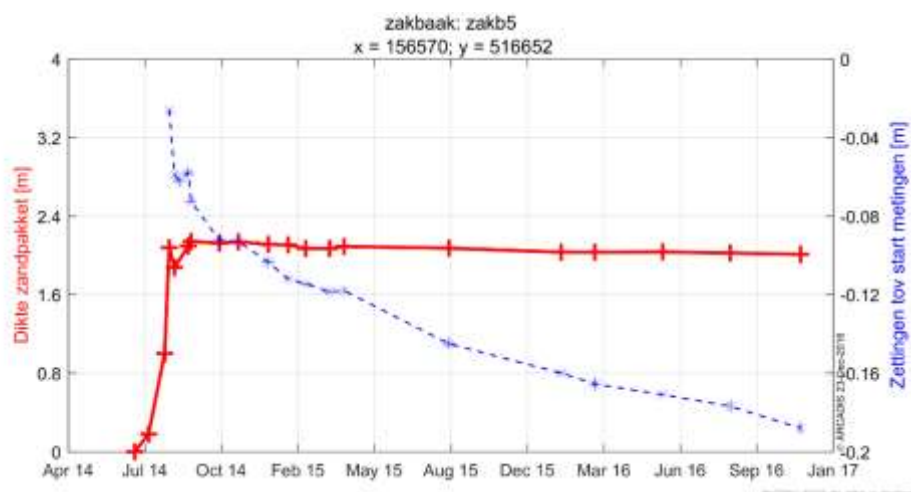
Figuur 6-40 Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb2.



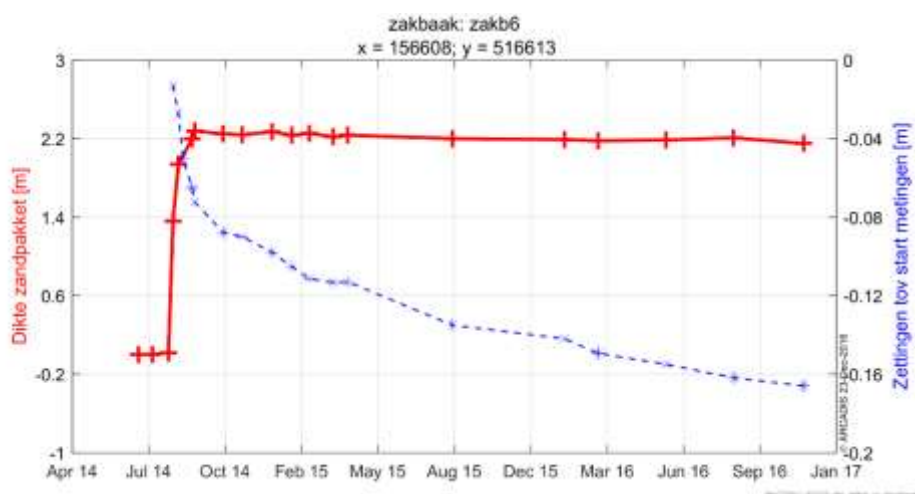
Figuur 6-41 Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb3.



Figuur 6-42 Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb4.



Figuur 6-43 Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb5.



Figuur 6-44 Opgetreden zettingen in relatie met de dikte van het zandpakket in zakb6.

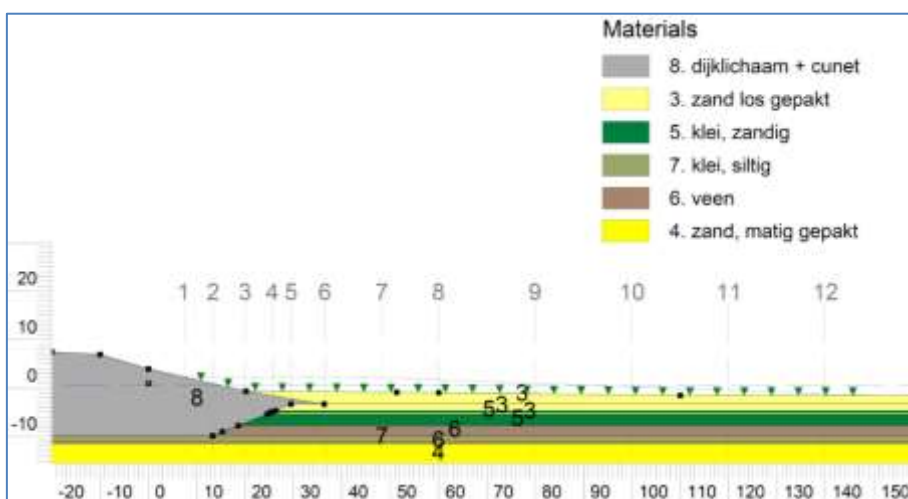
Alleen de dikte van het pakket bij zakb2 vertoont een wat grilliger verloop (zie Figuur 6-40). Dit zakbaken bevindt zich van alle bakens het meest dicht bij de waterlijn. Wellicht dat golven hier wel enige invloed hebben gehad (zie Figuur 6-30). Voor zakb2 is de dikte van het zandpakket een klein beetje afgenomen tussen november 2014 en januari 2015. Dit lijkt invloed gehad te hebben op de gemeten zetting, welke tussen de meetpunten vrijwel constant is gebleven. Vervolgens is de dikte van het zandpakket tussen januari 2015 en maart 2015 weer toegenomen. Dit lijkt zich ook te hebben vertaald in de zetting welke in deze periode ook weer iets is versneld.

De verschillen zijn overigens wel erg klein, dus een harde conclusie kan hier niet aan worden verbonden.

6.4.6 VOORSPELDE ZETTINGEN

Zoals eerder aangegeven is in de voorbereidingsfase, op basis van de resultaten van een zevental sonderingen als gerapporteerd in (Fugro Geoservices, 2014), de theoretische zetting langs een standaard zandig profiel voor de Houtribdijk bepaald (Arcadis, 2014). Dit profiel, inclusief de ondergrond, is getoond in Figuur 6-45.

De afstand in kustdwarsrichting is bepaald ten opzichte van een referentiepunt op de dijk (nulpunt in het profiel), welke ligt op ongeveer NAP+4 m. Daarnaast is in de figuur te zien dat er zich onder de Houtribdijk een cunet bevindt en dat het profiel van het zandige voorland voor een gedeelte over dit cunet loopt, ongeveer tot 37 m in kustdwarsrichting, gemeten ten opzichte van het genoemde referentiepunt.

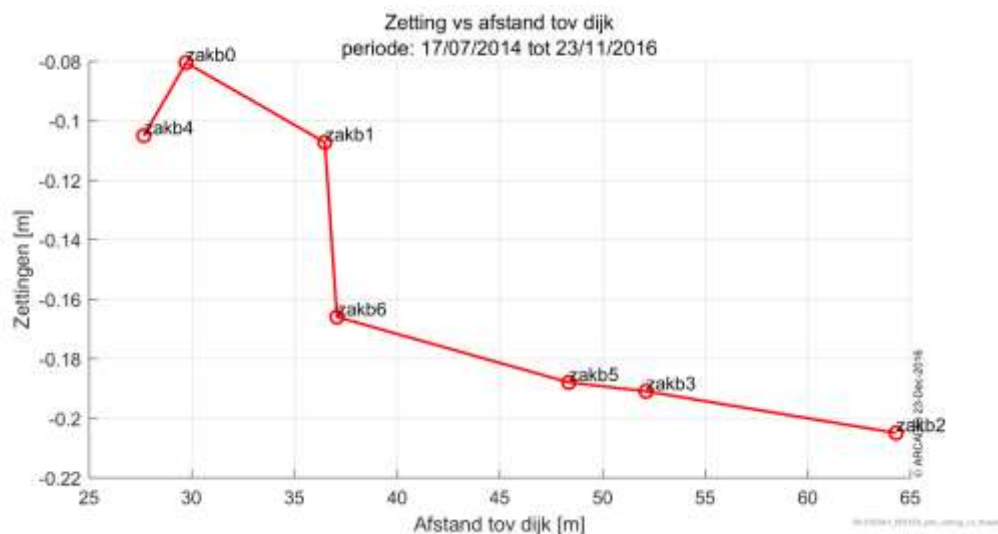


Figuur 6-45 Schematisatie ondergrond Houtribdijk ter plaatse van pilot.

Om met meer nauwkeurigheid te bepalen welke zakbakens zich boven het cunet bevinden en welke niet, is het dus van belang om de afstand uit de dijk van de zakbakens te bepalen. Hiervoor is in de gemeten bathymetrie een referentielijn door het punt NAP+4 m bepaald. De hieruit volgende begrenzing van het cunet en de locaties van de zakbakens zijn weergegeven in de eerder gepresenteerde Figuur 6-30. De getoonde dieptekaart is zoals ingemeten op 15-9-2014 (T1-opname).

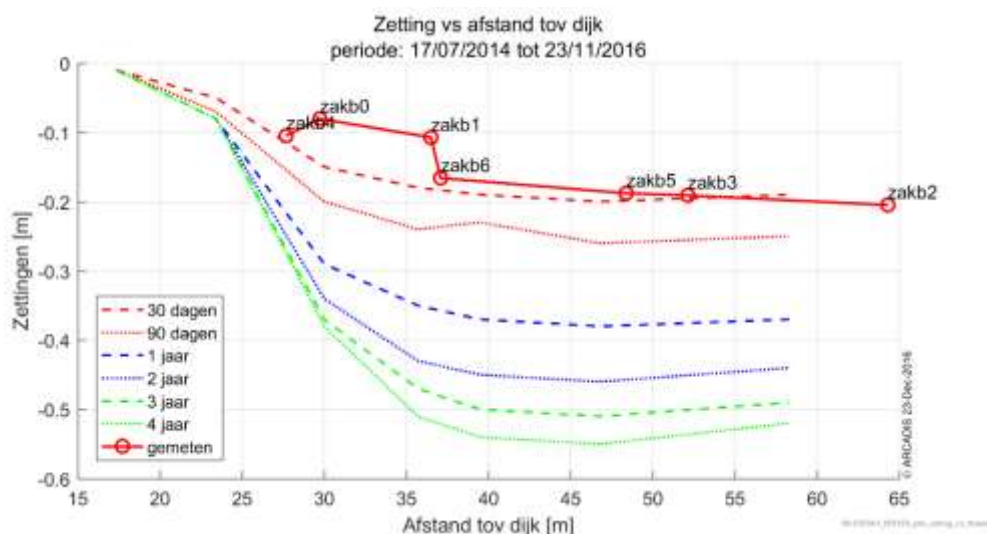
Een laatste detailleringstap is gemaakt door voor ieder zakbaken de positie ten opzichte van de referentielijn (de lijn door NAP+4m) te bepalen (Figuur 6-46). Hieruit volgt dat het cunet zich onder zakbakens zakb0, zakb1 en zakb4 bevindt. Zakb6 bevindt zich waarschijnlijk net niet boven het cunet en onder zakb2, zakb3 en zakb5 bevindt zich zeker geen cunet. De figuur laat wel zien dat de zettingen in

zakb0, zakb1 en zakb4 duidelijk achterblijven met de zetting in de overige punten. Hieruit blijkt de invloed van het cunet en de door de dijk aanwezige voorbelasting.



Figuur 6-46 Gemeten zettingen uitgezet tegen de afstand in kustwaarsrichting.

De eerder afgeleide theoretische zettingen zijn in Figuur 6-47 vergeleken met de gemeten zettingen. In september 2014 is de pilot opgeleverd. Tot en met november 2016 betekent dit ongeveer 27 maanden.



Figuur 6-47 Gemeten zettingen in kustwaarsrichting vergeleken met de voorspelde zettingen op meerdere momenten in de tijd.

De doorgetrokken rode lijn zou volgens de theorie dus onder de blauwe stippellijn (2 jaar) moeten liggen. De gemeten zettingen blijven dus overduidelijk (ongeveer 0,3 m) achter met de theoretisch verwachte zettingen.²

6.4.7 ZETTINGSONTWIKKELING

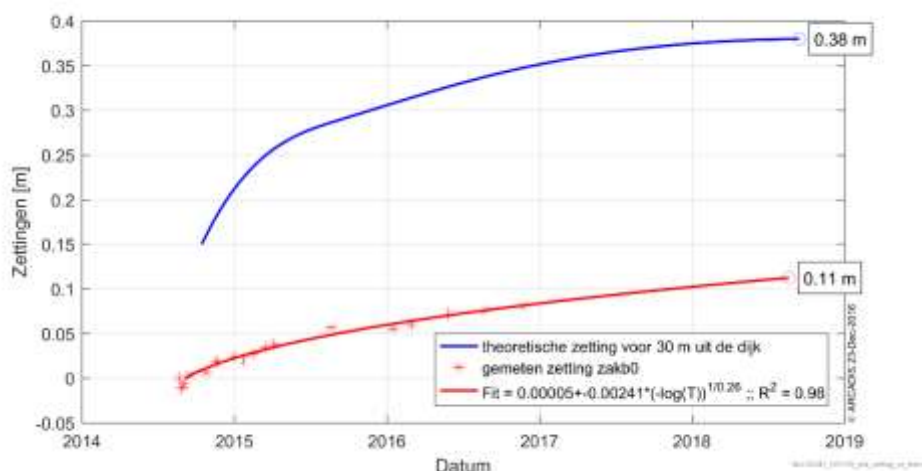
Een reden hiervoor kan zijn dat de aangehouden zandpakketdiktes voor de bepaling van de theoretisch zettingen groter zijn dan de diktes die daadwerkelijk zijn aangelegd. Aangezien voor ieder meetpunt de

² Er vindt nog overleg plaats over een adequate verklaring voor dit verschil.

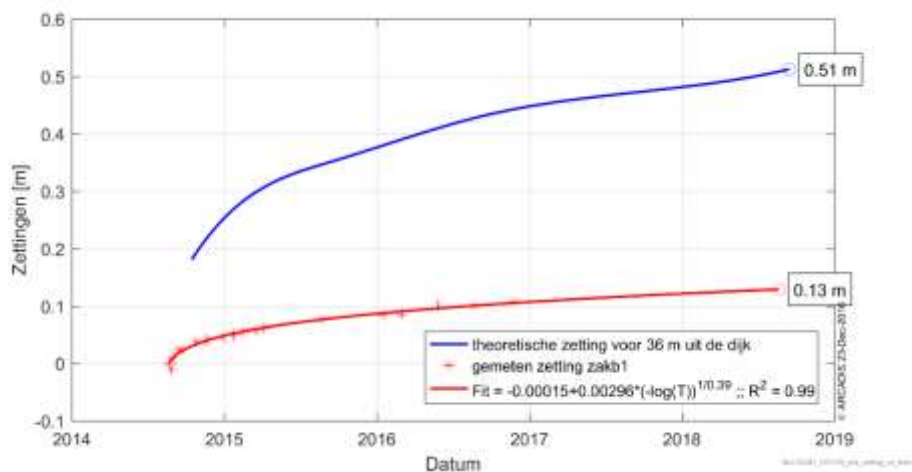
dikte van het zandpakket bekend is, kan ook het theoretische zettingsverloop voor ieder punt in meer detail worden bepaald. Dit is gedaan voor alle zakbakens (zie Figuur 6-48 tot Figuur 6-54). Over het algemeen laten de figuren zien dat ook nu de metingen achterblijven bij het theoretisch afgeleide verloop. Alleen de zettingen in zakb2 (het verst van de dijk gelegen punt; zie Figuur 6-50) liggen initieel dicht tegen het voorspelde verloop aan. De zettingen boven het cunet (zakb0, zakb1 en zakb4) blijven het meest achter bij de voorspellingen. Blijkbaar speelt niet alleen de afwezigheid van de slechte grond een rol, maar ook het feit dat er sprake is van een meer voorbelaste ondergrond. Dit zou de waargenomen verschillen tussen de metingen en de voorspellingen kunnen verklaren.

Er is ook een kromme gefit door de gemeten zettingen. Deze is ook te zien in Figuur 6-48 tot Figuur 6-54. De fit is redelijk tot goed met een R^2 tussen 0,92 en 0,99. Door de kromme door te trekken in de tijd is de opgetreden zetting aan het einde van de looptijd van de pilot (voorjaar 2018) voorspeld. De figuren van de gefitte kromme vertonen tot op zekere hoogte dezelfde vorm als de theoretische zettingscurve. De verwachting is daarom dat de zetting gedurende de gehele looptijd van de pilot minder zal zijn dan voorspelde zetting. Het verschil tussen de voorspelde eindzetting op basis van de metingen en de theorie varieert tussen de 17 (zakb5) en 38 cm (zakb1) en bedraagt gemiddeld ongeveer 0,3 m.

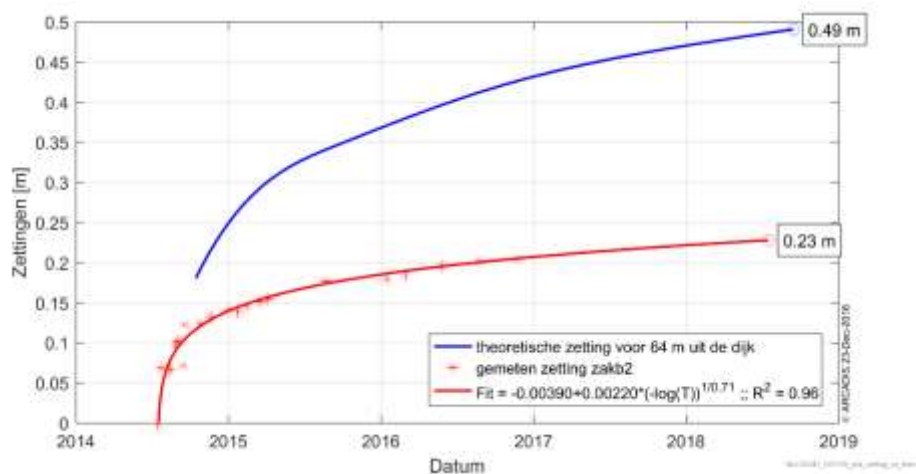
Voor vrijwel alle meetstations (behalve zakb0) geldt dat de snelheid van de zetting geleidelijk begint af te nemen. Dit is duidelijk te zien door het flauwer worden van de helling van de gefitte kromme.



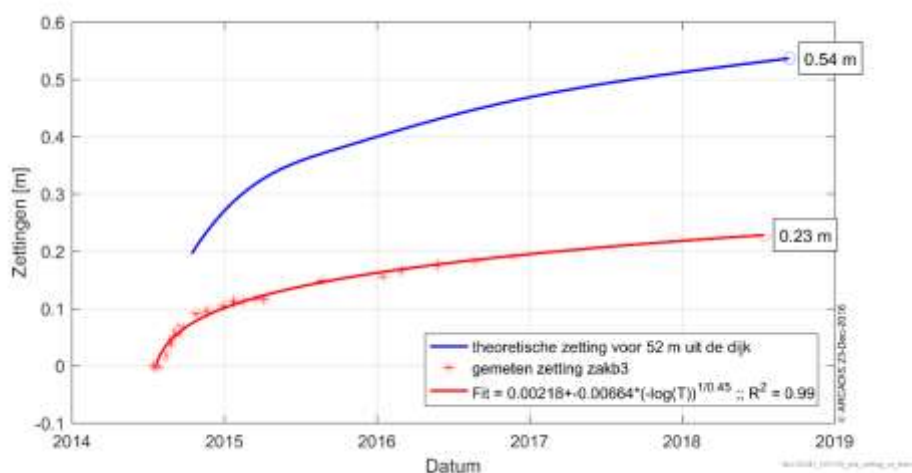
Figuur 6-48 Gemeten zettingen in zakb0 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.



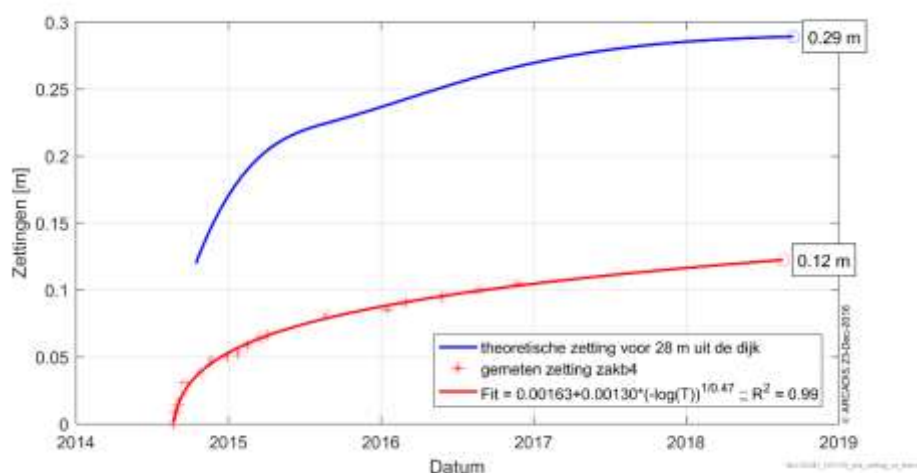
Figuur 6-49 Gemeten zettingen in zakb1 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.



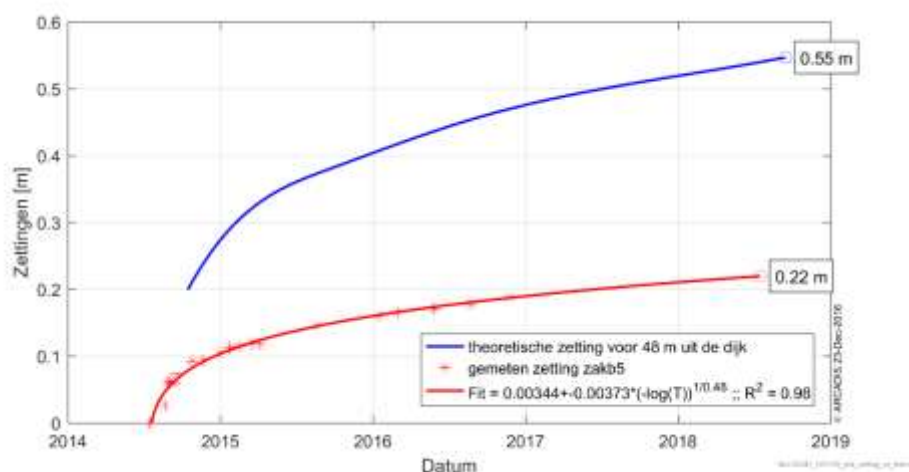
Figuur 6-50 Gemeten zettingen in zakb2 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.



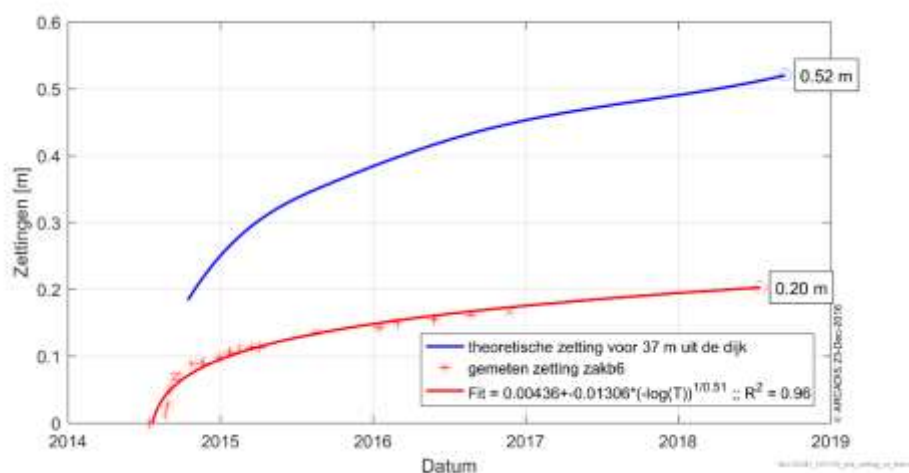
Figuur 6-51 Gemeten zettingen in zakb3 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.



Figuur 6-52 Gemeten zettingen in zakb4 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.



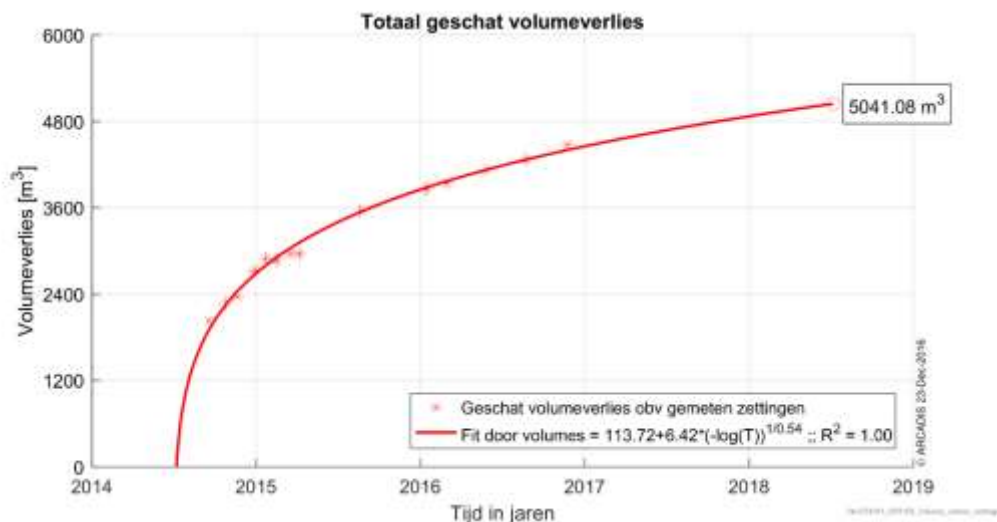
Figuur 6-53 Gemeten zettingen in zakb5 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.



Figuur 6-54 Gemeten zettingen in zakb6 vergeleken met de theoretische zetting voor dit punt.

6.4.8 SCHATTING VOLUME ZETTINGSVERLIES

Op basis van de hierboven gepresenteerde resultaten is ook een inschatting gemaakt van het opgetreden volumeverlies van de pilot als gevolg van de zettingen alleen. Hiervoor is voor iedere meetlocatie de opgetreden zetting vertaald naar een zetting per dikte van de lokale suppletie laag. Vervolgens is een gemiddelde genomen van deze laag dikte afhankelijke zetting. Dit is gedaan voor de meetlocaties boven het cunet en buiten het cunet. Vervolgens is de zetting van de gehele pilot bepaald op basis van deze afgeleide gemiddeldes. Door de zetting te vermenigvuldigen met het oppervlak van de pilot boven het cunet en buiten het cunet is het volume verlies afgeschat. Dit is gedaan voor alle meetmomenten in de tijd.



Figuur 6-55 Geschat verloop van het zetting gerelateerd volumeverlies.

Het resultaat is getoond in Figuur 6-55. De figuur laat zien dat tot aan de meest recente T14-meting een totaal zetting gerelateerd volumeverlies van bijna 4.500 m³ is opgetreden. Op basis van de gefitte kromme is geschat dat het totale zetting gerelateerd volumeverlies medio 2018 ongeveer 5.000 m³ zal bedragen. Tijdens de monitoringsperiode (vanaf september 2014) bedraagt het opgetreden volumeverlies ongeveer 2.100 m³.

6.4.9 VOORLOPIGE CONCLUSIES

Op basis van de eerste resultaten van de zettingsmetingen wordt geconcludeerd dat:

- De invloed van het cunet duidelijk zichtbaar is in de opgetreden zettingen. De opgetreden zettingen in zakb0, zakb1 en zakb4 blijven structureel achter bij de opgetreden zettingen in de overige bakens;
- De gemeten zettingen blijven ook op hoofdlijnen achter bij de voorspelde zettingen, iets wat mogelijk te maken heeft met de voorbelaste ondergrond;
- De snelheid van de zetting begint enkele maanden na de aanleg af te nemen, maar de zetting zal de komende jaren wel door blijven gaan;
- Het huidige verlies ongeveer 500 m³/jaar bedraagt;
- Er sinds het begin van de monitoringscampagne ongeveer 2.400 m³ zetting-gerelateerd verlies heeft plaatsgevonden.
- Er in totaal ongeveer 5.000 m³ materiaal verloren zal gaan als gevolg van zetting waarvan dus ongeveer 3.000 m³ sinds het begin van het monitoringsprogramma.

Gerelateerd aan de grootschalige zandbalans betekent dit dat:

- Er sinds het begin van het monitoringsprogramma ongeveer 2.100 m³ zetting-gerelateerd verlies aanwezig is hetgeen als negatieve post in de sedimentbalans moet worden meegenomen.
- Het huidige verlies van ongeveer 500 m³/jaar (met zettingen in zakb2 van ongeveer 2 cm/jaar) ook zal leiden tot een (beperkte) zetting-gerelateerde verplaatsing van de oeverlijn.

7

Basisinfo sedimentkarakteristieken

7.1 INLEIDING

Zowel door Alterra als door Shore Monitoring zijn sedimentgegevens verzameld welke door Alterra nader zijn geanalyseerd. In het volgende is op hoofdlijnen ingegaan op deze resultaten.

Voor meer informatie kan worden verwezen naar de huidige versie van de werkrapportage (Deltares/Alterra, 2017), alsmede naar een notitie met recente uitwerkingen (Alterra, 2016). Deze laatste zal in later stadium nog worden geïntegreerd in een update van de als eerste genoemde werkrapportage. In aanvulling hierop zullen ook de resultaten van een recent opgestart afstudeeronderzoek worden opgenomen welke zich specifiek richt op de sedimentkarakteristieken en de hiermee samenhangende morfologische processen (Arcadis, 2016c).

7.2 TE BEANTWOORDEN VRAAGSTUKKEN

Tijdens de uitvoering van de monitoringscampagne en de inrichting van de nadere analyses zijn een aantal vraagstukken gedefinieerd waar aandacht aan moeten worden besteed en waarvan de resultaten uiteindelijk terug moeten komen in de voorliggende rapportage.

Het gaat daarbij om de volgende vraagstukken:

Algemeen

- Naar welke karakteristieke maten kijken we überhaupt (D50, steilheid curve D85-D15 of zo, percentage fijn, ...)
- Nu vooral zeefkrommen, maar vertaling naar karakteristieken levert voor vergelijkbaarheid mogelijk meer inzicht.

Aanvoer

- Wat is nu de karakteristieke gemiddelde diameter van het aangevoerde materiaal?
- Zitten hierin duidelijke outliers en levert analyse van een ander monster per aanvoerdag een ander resultaat op?
- Wat is het karakteristieke percentage fijn?
- Leidt de tijdsvariatie ook tot een plaatsvariatie in de korrelgrootte?

Talud

- Wat is de invloed van het anders bemonsteren?
- Hoe vergelijk je de taludmonsters met de aanvoermonsters?
- Wat is de gemiddelde D50 en het percentage fijn
- Hoe verhoudt zich dit ten opzichte van het aangevoerde materiaal

- Is de D50 vergelijkbaar (en zo nee, wat is daarvoor de verklaring)
- Is er sprake van een afname van het percentage fijn materiaal en wat betekent dit voor het aanlegverlies
- Is per zone sprake van een langsvariatie (en past dat in het beeld van de tijdsvariatie van de diameter bij de aanvoer)
- Wat is de dwarsvariantie (is al kort beschreven) en wat betekent dit en hoe komt dit?
- Welke rol speelt het al dan niet aanwezig zijn van holoceen materiaal

Onder water

- Is er sprake van een langsvariatie of is dwarsvariantie dominant.
- Wat is de afhankelijkheid van de diepte (niveau t.o.v. NAP?) als je de monsters van meerdere opnamen bekijkt ...
- Hoe verklaren we deze variaties?

7.3 GEVOLGDE METHODE KORRELGROOTTE-ANALYSE

7.3.1 INLEIDING

Er zijn sedimentmonsters voor korrelgrootteverdeling genomen tijdens de aanleg, elk bezoek van Alterra voor het bovenwaterdeel van de proefsectie en vanaf opname T3 door Shore Monitoring voor het onderwaterdeel.

7.3.2 BEMONSTERING AANLEG

De monsters tijdens aanleg zijn genomen uit een monster van circa 1 liter dat van elke aanvoerboot genomen is. In eerste instantie is in 2014 per losdag van één aanvoerboot een monster door Alterra geanalyseerd. In december 2015 zijn de analyses aan alle overige monsters van de aanleg uitgevoerd. De resultaten van de eerste analyse zijn al opgenomen in de notitie waarin de ervaringen tijdens de aanleg van de proefsectie zijn beschreven (EcoShape, 2015c).

7.3.3 BEMONSTERING TALUD (DROGE DEEL)

Tijdens het veldbezoek op 3 november 2014 zijn 53 monsters genomen, verdeeld over 3 raaien (zie Figuur 3.5).

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 circa 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 ter plaatse van de rijsmatconstructie. Raai 2 bestond uit 17 monsterpunten en raai 3 uit 14 monsterpunten.



Figuur 7-1 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

Met behulp van een grondboor is op elk monsterpunt ca. 5 gram verzameld van de top laag (ca. 0,5 cm). De grondboor is horizontaal gebruikt, zodat specifiek het laagje wat zou kunnen verstuiven bemonsterd werd (zie Figuur 7-2).



Figuur 7-2 Horizontale monsterneming met grondboor zodat alleen de bovenste 0,5 cm wordt bemonsterd.

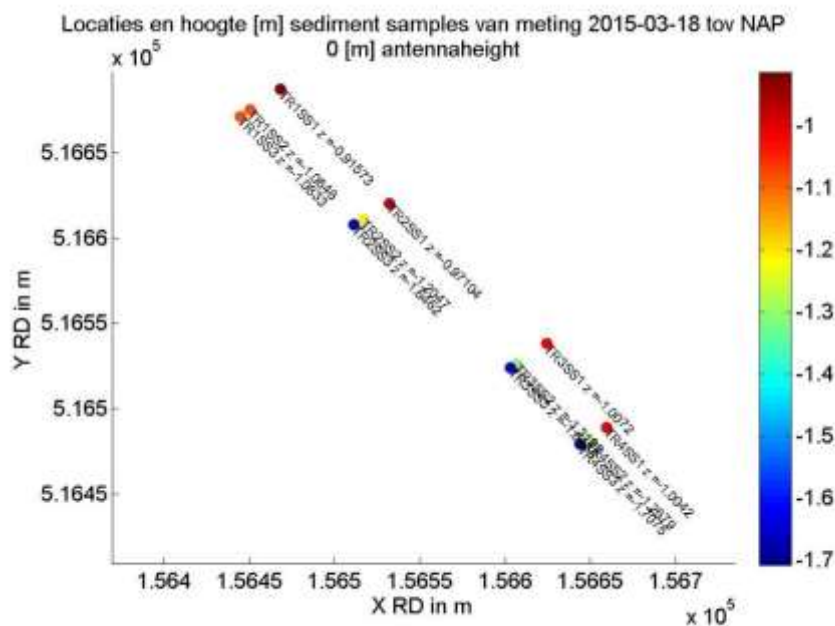
7.3.4 BEMONSTERING ONDERWATERDEEL

Shore Monitoring heeft tijdens hun bemonsteringen vanaf opname T3 (19 november 2014) ook sediment-monsters onder water verzameld. Per keer zijn (met een Van Veen grab) 12 monsters verzameld, per vak een transect resulterend in 4 transecten, en per transect drie dieptes. De eerste keer zijn de monsterpunten gekozen op NAP -0,5 m, NAP -1,0 m en NAP -1,5m. Op elk monsterpunt is sediment bemonsterd van de bovenste 2 cm.³

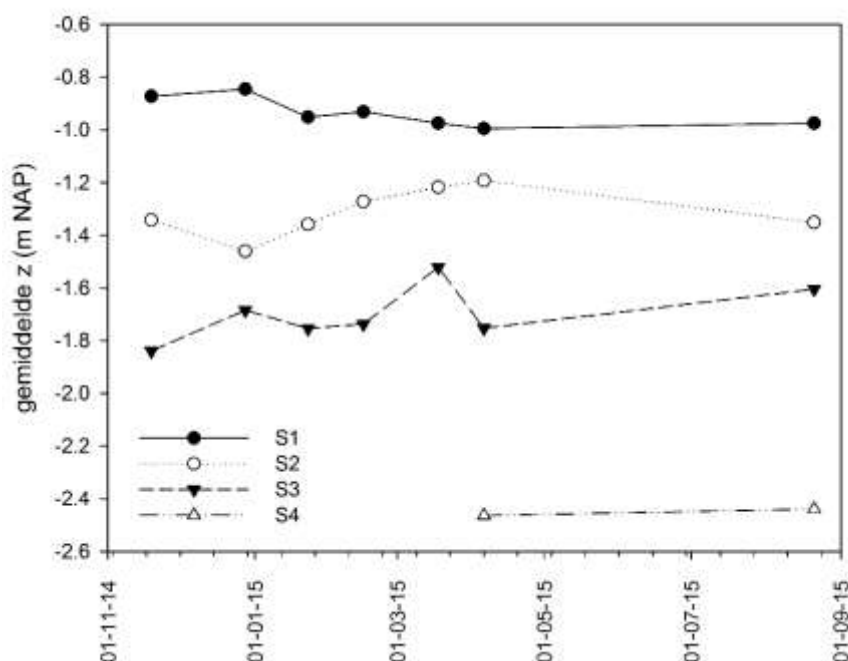
Tijdens deze T3-meting zijn deze monsterpunten precies ingemeten, op de daaropvolgende bemonsteringen is op dezelfde plek bemonsterd.

³ Nog checken!

Door erosie en sedimentatie kan de diepte in de daaropvolgende bemonsteringen dus anders zijn dan bij T3 (zie Figuur 7-3 en Figuur 7-4). Vanaf T8 is er per transect ook een vierde punt bemonsterd, en wel op NAP-2 m.⁴



Figuur 7-3 Locatie monsterpunten onderwater bemonsterd door Shore Monitoring, met weergegeven de diepte van elk monsterpunt op T7.



Figuur 7-4 Gemiddelde diepte per monsterpunt in de tijd (gemiddelde van 4 transecten).

⁴ Ook hier weer op een vaste positie in de tijd (check!).

7.3.5 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. Tevens bleek uit een vergelijk van voorbehandelde en niet-voorbehandelde monsters van het talud (november 2014) maar een zeer klein verschil. Daarom is er voor de latere monsters voor gekozen om alleen niet-voorbehandelde monsters te meten.

Deze meting geeft namelijk weer hoe groot de deeltjes zijn die door wind en/of water verplaatst kunnen worden.

De ruwe data geven een volume percentage verdeling per diameter klasse. In totaal worden er 93 klassen gemeten, van 0,375 μm tot 2.000 μm (2 mm).

Uit deze volumeverdeling zijn in de analyses de volgende parameters bepaald:

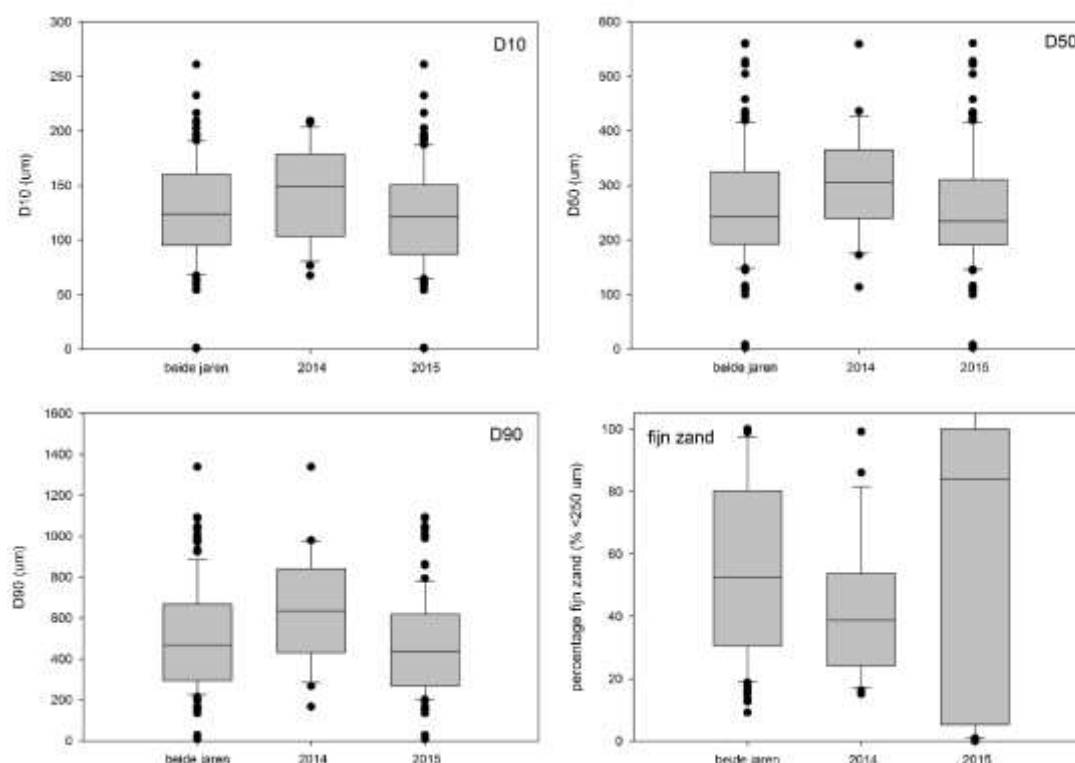
- Diameter bij piek in verdeling;
- Diameter bij de helft van het maximum (laag en hoog);
- Breedte verdeling (hoog – laag);
- Percentage fijn zand (fractie met korrelgrootte < 250 μm).

7.4 RESULTATEN

7.4.1 BEMONSTERING AANLEG

In eerste instantie zijn in 2014 23 monsters geanalyseerd, per losdag 1 monster, waarbij met laserdiffractie de korrelgrootte verdeling is bepaald. In 2014 zijn alle monsters ontkalkt, en het organisch materiaal is verwijderd. In december 2015 zijn de overige monsters geanalyseerd, zonder voorbehandeling.

Figuur 7-5 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 opmerkelijk verschil tussen de 2014 en 2015 analyses. De D10-, D50- en D90-waarden liggen in de 2015 analyses in het algemeen iets lager dan in de 2014 analyses, wat inhoudt dat er in de latere analyse blijkbaar meer kleinere korrels zijn. Dit komt overeen met het grotere percentage fijn zand in 2015 vergeleken met 2014 (zie figuur rechtsonder). Het verschil tussen de analysejaren is significant voor D10 en D90, en niet voor D50. De gemiddelde D50 van het aangevoerde zand bedraagt 264 μm ($\pm 106 \mu\text{m}$).

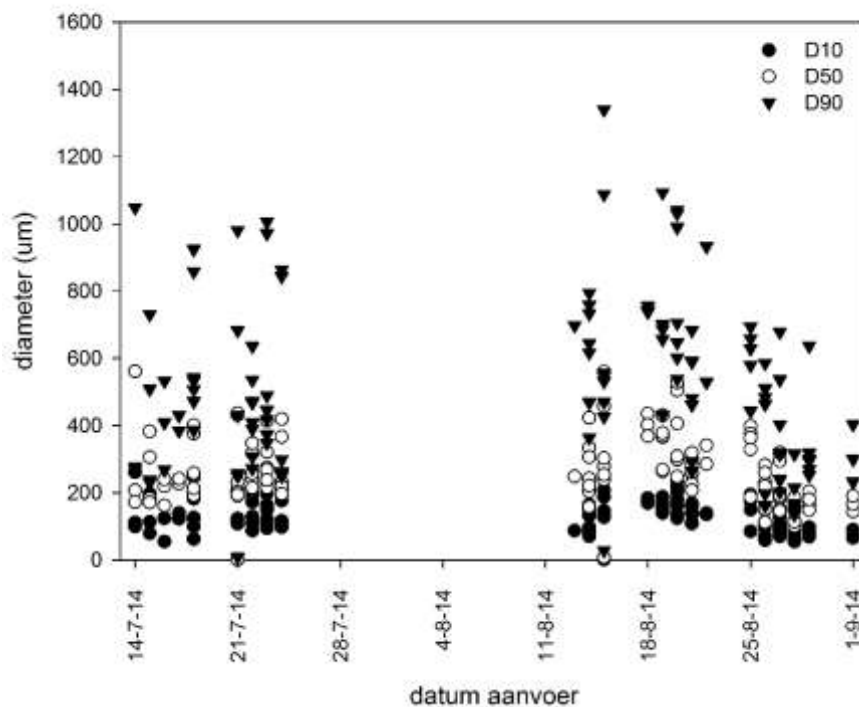


Figuur 7-5 Boxplots van D10, D50 (rechtsboven), D90 en % fijn zand (rechtsonder), voor beide jaren samen (n=125), en uitgesplitst voor de analyse in 2014 (n=23) en 2015 (n=102). De (boven en onderzijde van de) box geven het 25 en 75 percentiel aan, de horizontale lijn de mediaan, de vlaggen (horizontale lijnen) zijn het 5 en 95 percentiel, de stippen daarbuiten zijn de zogenaamde outliers.

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, en zou je meer kleinere deeltjes verwachten. 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 °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.⁵

Als de D10, D50 en D90 wordt uitgezet tegen datum aanvoer (Figuur 7-6), 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. Omdat de aanleg bij de damwand is begonnen, en van daaruit naar het zuidoosten is aangelegd, volgt de verwachting dat er ook een ruimtelijke spreiding zal zijn in de korrelgrootte op de proefsectie, namelijk een afname van de korreldiameter is zuidoostelijke richting. Dit wordt overigens onderschreven door de resultaten van de taludmonsters (zie Figuur 7-8).

⁵ Conclusie is eigenlijk dat een duidelijke verklaring voor het waargenomen verschil thans nog ontbreekt.



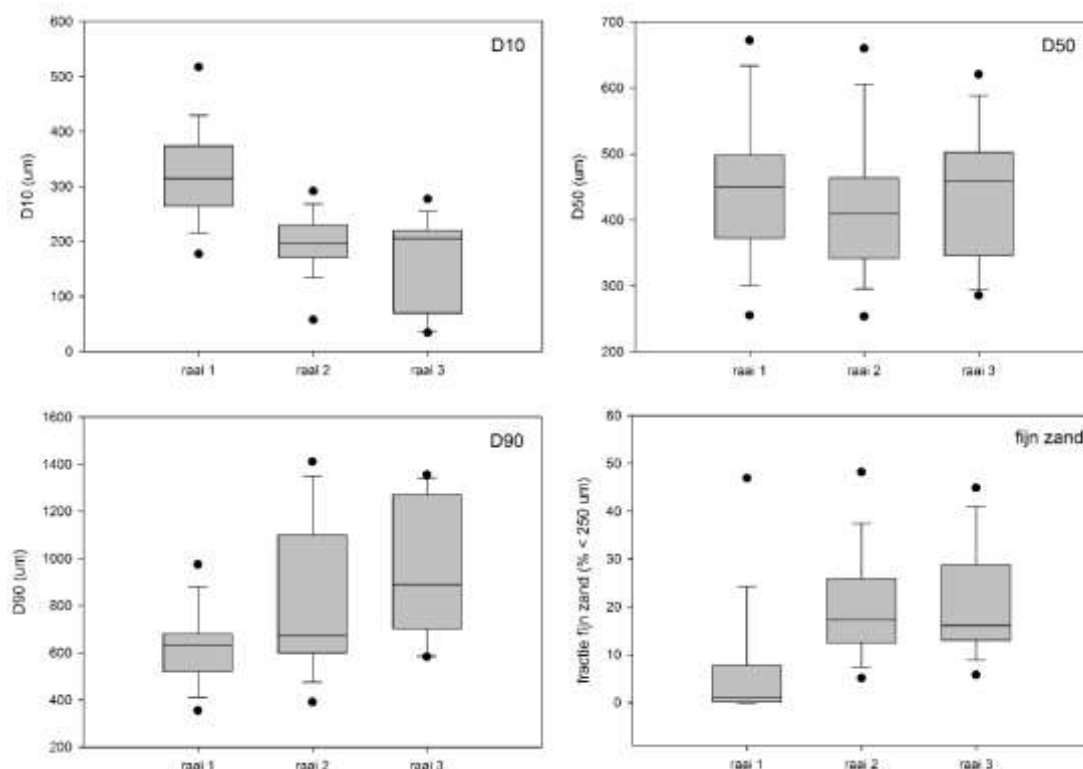
Figuur 7-6 Grootte D10, D50 en D90 tijdens de aanleg als functie van de losdag.

7.4.2 BEMONSTERING TALUD (DROGE DEEL)

De eerste bemonstering van het droge deel van de proefsectie heeft plaatsgevonden op 3 november 2014. Figuur 7-7 geeft D10, D50, D90 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 D50 ongeveer gelijk is op de 3 raaien (overall range 250 – 670 μm), maar dat de D10 en D90 laten zien dat langs de oeverlijn (raai 1) er meer grovere deeltjes zijn, en hoger op het talud (raai 3) meer fijnere deeltjes.

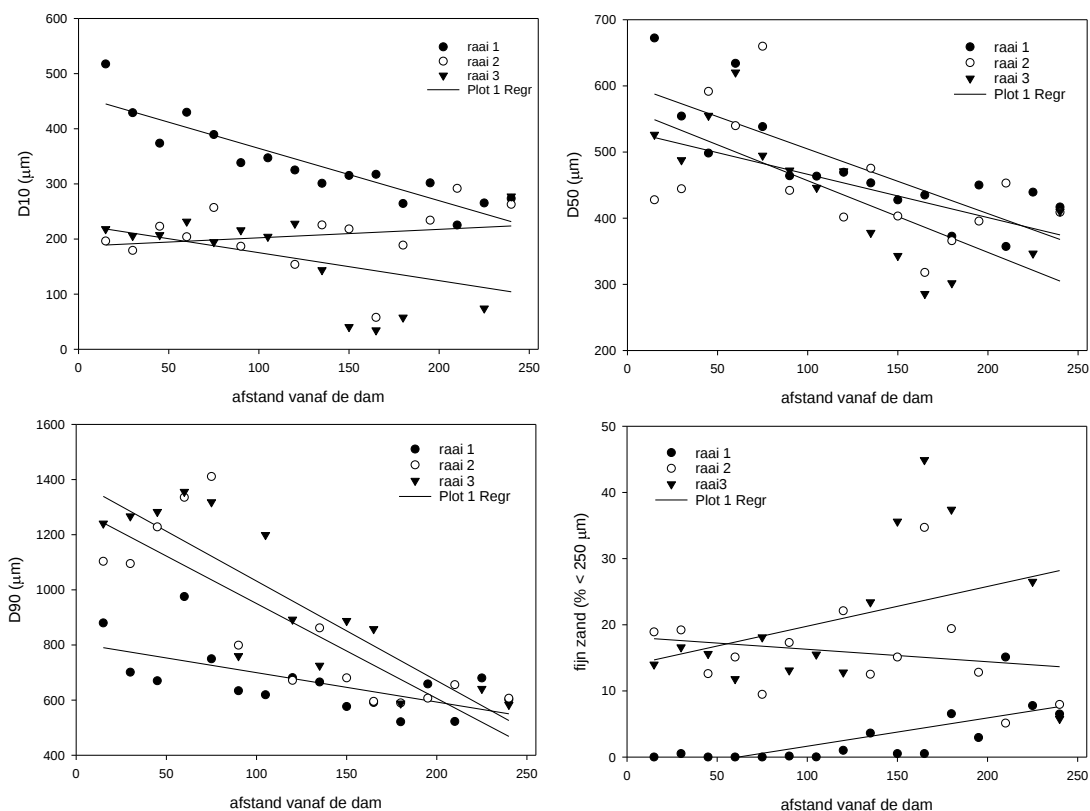
Het zand sorteert zich dus uit op het talud, afhankelijk van de hoogte/afstand uit de oeverlijn.

Dit verschil is waarschijnlijk het gevolg van het uitspoelen van de fijnere delen rond de oeverlijn waardoor in raai 1 de fijne fractie afneemt en de D10 toeneemt.



Figuur 7-7 Boxplots van D10, D50, D90 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 hierin weggelaten.

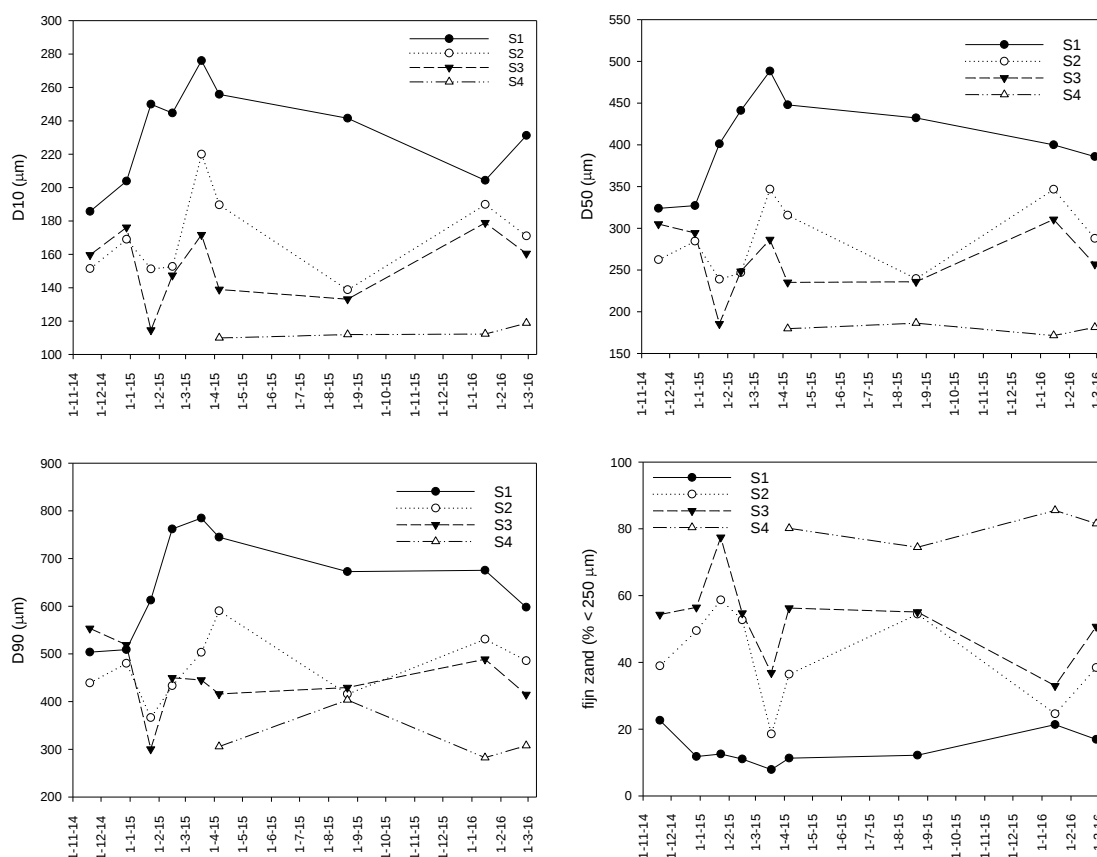
In Figuur 7-8 wordt de ruimtelijke variatie per raai (langsrichting) weergegeven. Op raai 1, langs de oeverlijn, neemt de D10 af met toenemende afstand van de damwand, ook D50 en D90 nemen af, en de percentage fijn zand neemt toe met toenemende afstand van de damwand. Op raai 2, 10 meter vanaf de oeverlijn, is er geen duidelijk ruimtelijk patroon voor D10 en D50 en percentage fijn zand, en neemt de D90 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 D10 en percentage fijn zand. De D50 en D90 nemen af met toenemende afstand van de damwand hetgeen past bij het eerder op basis van de analyse van de aanlegmonsters verwachte beeld.



Figuur 7-8 Verschuiving van D10, D50, D90 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 rijsmatconstructie zijn weergegeven. Elk punt is 1 monster. Lineaire regressie is toegevoegd als indicatie van het ruimtelijk patroon.

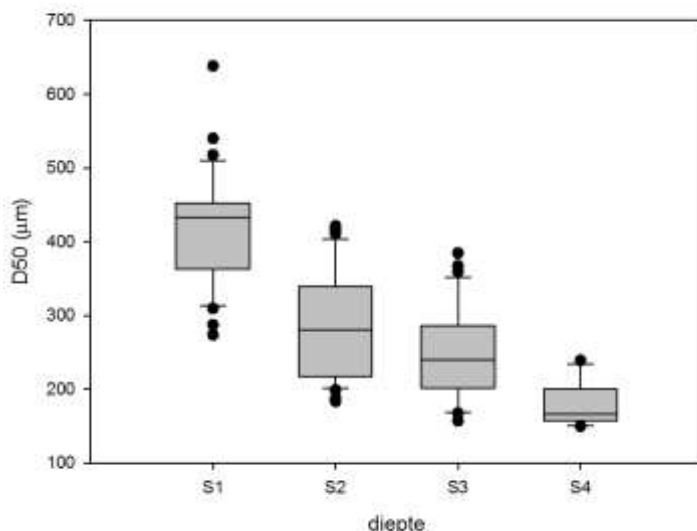
7.4.3 BEMONSTERING ONDERWATERDEEL

In het onderwater deel voor de pilot zijn op vier transecten (TR1 t/m TR4) loodrecht op de oeverlijn op 3 dieptes sediment gemonteerd (S1 t/m S3). Voor de monsternamen van november 2014 zijn deze monsters direct gemeten en na verwijderen kalk en organisch stof. Er is weinig verschil tussen de directe meting en de meting na voorbehandeling. De monsters zijn vanaf december 2014 allemaal zonder voorbehandeling geanalyseerd. Vanaf april 2015 (T3) is er per transect een 4e punt toegevoegd, op 2 m diepte (S4, zie ook Figuur 7-3). In deze rapportage worden specifiek de D10, D50, D90 en % fijn zand gepresenteerd (Figuur 7-9).



Figuur 7-9 Grootte D10, D50, D90 en % fijn zand op de 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.

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 D10, D50 en D90 of percentage fijn zand. Er is wel een significant effect van monsterpunt: bij toenemende diepte neemt de D10, D50 en D90 af, en het percentage fijn zand toe ($p < 0.001$).



Figuur 7-10 Boxplots van D50 op de onderwater transecten. S1 = 0,5 m diep, S2 = 1 m diep, S3 = 1,5 m diep, S4 = 2 m diep.

Bij toenemende diepte neemt de D10, D50 en D90 af, 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 7-9). De verschillen tussen de transecten zijn minder sterk ($p < 0.05$ voor D10, D50 en percentage fijn zand), maar deze zijn niet systematisch. De boxplots van D50 (Figuur 7-10) bevestigen het beeld van een lagere D50 dus meer kleine deeltjes bij toenemende diepte van het monsterpunt.

7.5 VOORLOPIGE CONCLUSIES

7.5.1 EFFECT VOORBEHANDELING

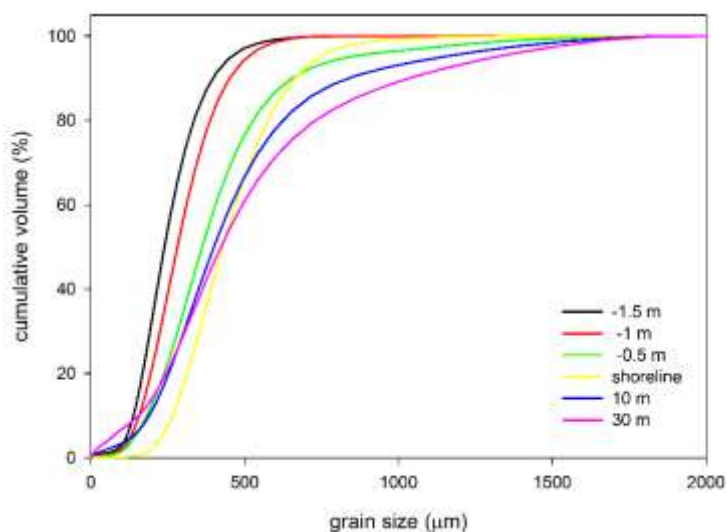
Er bleek weinig verschil in verdeling tussen de directe meting en meting na voorbehandeling (verwijderen kalk en organisch stof). In deze rapportage wordt alleen de analyse aan de onbehandelde monsters gegeven. Vanaf december 2014 worden de monsters alleen niet-voorbehandeld geanalyseerd.

7.5.2 DWARSVARIATIE IN DE KORRELGROOTTE-VERDELING

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 sampler, boven water de bovenste 0,5 cm gestoken) laten deze metingen het volgende beeld zien (Figuur 7-11).

Van diep onder water (NAP-1,5 m) 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) laten meer een kanteling zien in de verdeling, rond een min of meer vergelijkbare mediane diameter. Hoe hoger op het talud, hoe meer variatie in deeltjesgrootte.



Figuur 7-11 Korrelgrootteverdeling onder water (monsternamen 19 november) en op het talud (monsternamen 3 november), directe meting.

7.5.3 TIJDSVARIATIE IN DE KORRELGROOTTE (D50)

De D50 bij aanleg (analyse aan aangevoerd zand) varieert tussen 100 en 600 μm (Figuur 7-6).

Boven water is op twee momenten de korrelgrootte geanalyseerd, in november 2014 (3 raaien op het talud, zie Paragraaf 7.4.2), en september 2015 (gekoppeld aan de PQ's).

In november 2014 varieert de D50 tussen 250 – 670 μm . In september 2015 varieert de D50 tussen 250 – 895 μm in de bovenste 5 cm, en tussen 100 – 950 μm in de laag 5 – 20 cm.

Er lijkt dus een verschuiving naar iets grotere D50-waarden te zijn opgetreden, met name in de toplaag (november 2014 monsters en september 2015 0 - 5 cm monsters).

In de diepere laag (5 - 20 cm) is de ondergrens van D50 nog steeds 100 μm .

8

Basisinfo vegetatie

8.1 INLEIDING

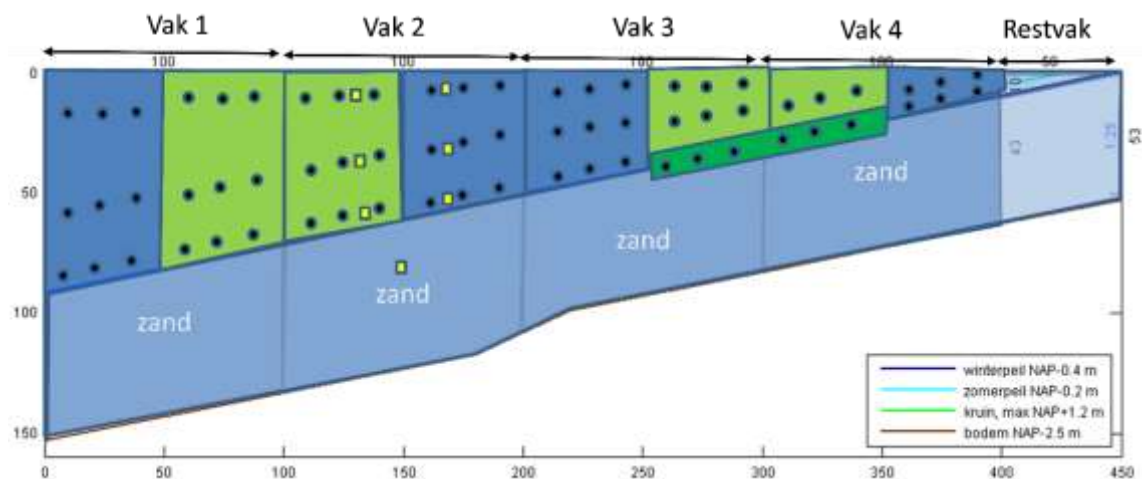
Zowel door Alterra als Deltares wordt informatie verzameld over de aanleg en ontwikkeling van de vegetatie op de proefsectie. In het volgende is op hoofdlijnen ingegaan op deze resultaten.

Voor meer informatie kan worden verwezen naar de laatste versie van de door Deltares/Alterra opgestelde werkrapportage (Deltares/Alterra, 2015), alsmede naar een notitie met recente uitwerkingen (Deltares, 2016). Deze laatste zal in later stadium nog worden geïntegreerd in een update van de als eerste genoemde werkrapportage.

8.2 ONTWERP AANLEGSTRATEGIE VOOR VEGETATIE

8.2.1 BASISONTWERP

Bij de aanleg van de proefsectie is specifiek aandacht gegeven aan de meest effectieve manier om vegetatieontwikkeling in het veld te stimuleren, om binnen zo kort mogelijke tijd een stabiele deklaag te creëren die erosie tegen kan gaan. Daartoe is de proefsectie onderverdeeld in meerdere vakken (zie Figuur 8-1).



Figuur 8-1 Schematisch overzicht van aangeplante vlakken (lichtgroen) en kale vlakken (donkerblauw) en locaties van de PQ's (donkere stippen) en exclusies (gele vierkanten). In donkergroen de locatie van de rijmatten met rietplanten die als additionele proef worden aangelegd op de overgang tussen vak 3 en vak 4.

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 worden

steeds drie replica's van vegetatieontwikkeling gemonitord met zogenaamde PQ's (Permanent Quadrates) op 3 niveaus in het talud.

Dit is niet gedaan in vak 4: daar is minder hoogte boven de waterlijn en vervalt de meest bovenste monitoringsreeks.

De PQ's zijn cirkels met straal 1,13 m en oppervlakte 4 m². Het centrum van de cirkel zal met GPS worden ingemeten. In totaal wordt de vegetatieontwikkeling dus in 72 PQ's gevolgd (2 secties x 2 vakken x aangeplant of kaal x 3 hoogtes x 3 replica's).

De factor 'graas' wordt alleen in vak 2 onderzocht door op 3 hoogtes langs het talud exclusies te plaatsen waardoor graas door ganzen of andere herbivoren buiten wordt gesloten (zie gele vakken in Figuur 8-1). In totaal zijn 7 exclusies geplaatst. 6 op het 'droge' talud, en 1 onder water.

8.2.2 VOORBEREIDENDE WORKSHOP

Tijdens een workshop met vegetatie-experts op 22 april 2014 is besloten dat de droge delen van de pilot worden ingeplant met riet/lisdodden op het talud lager dan 0,5 m. NAP en het talud daarboven met een random mix van verschillende struik-achtigen (kornoelje, wilg, vlier etc.).

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 beïnvloed 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.

8.2.3 RIJSMATTENTEST

Aanvullend aan de aanplant op het sediment zelf, is er een test uitgevoerd of het toepassen van rijsmatten 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) geplaatst in het deel dat ook wordt aangeplant.

Direct na aanleg begin sept. 2014 zijn er jonge rietplanten aangeplant op de rijsmat, die bestond uit 2 lagen van wilgentenen met daartussen een kokosmat met aarde.

8.2.4 AANPLANT IN VOORJAAR 2015

De vegetatie is in de periode 23 maart tot 30 april 2015 deels direct aangeplant (vak 1 en vak 2) en beschermd met een golf-remmende barrière van wilgentenen en deels gestimuleerd door het plaatsen van 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.

Na de aanplant van riet op de rijsmatten in september 2014 was dit niet gedaan, en deze jonge rietaanplant is daardoor binnen enkele weken verdord (september 2014 was een erg warme en droge maand).

8.3 RESULTATEN VEGETATIEONTWIKKELING

8.3.1 ONTWIKKELING RIET IN OEVERZONE

De golf-remmende barrière heeft geen duidelijke bescherming kunnen bieden aan de rietplanten in de oeverzone, omdat de opzet tijdens zuidwestenwinden dusdanig hoog was dat het merendeel van de golfenergie over de barrière heen kon komen. Als gevolg van de te dynamische omstandigheden zijn alle rietplanten in de oeverzone weggespoeld, en is het riet alleen op de drogere delen aangeslagen.

8.3.2 ONTWIKKELING VEGETATIE OP DE RIJSMAT

De plantengroei op de rijsmat is zeer spaarzaam. Het aangeplante materiaal heeft zich maar beperkt ontwikkeld (zie Figuur 8-2).



Figuur 8-2 Initieële ontwikkeling van de vegetatie op de rijsmat.

Het riet op de rijsmat is initieel niet aangeslagen, door droogte en een te hoge ligging van de rijsmat ten opzichte van het meerpeil dat in september 2014 (een zeer warme en droge maand) erg laag stond.

Inmiddels (maart 2016) is de rijsmat vrijwel volledig verdwenen door golfaanval en erosie op de locatie van de rijsmat. De destructieve effecten van de golfaanval op deze locatie bleken een stuk groter dan van te voren ingeschat.

8.3.3 EFFECT BEGRAZING

De grasachtige planten binnen de exclosures hebben een grotere lengtegroei kunnen doormaken dan daarbuiten. Voor struweelvormers binnen een exclosure is het verschil binnen en buiten minder duidelijk waarneembaar. Begrazing aan individuele planten buiten de exclosures is duidelijk zichtbaar (zie Figuur 8-3).



Figuur 8-3 Effect enclosure. Foto links: Verschil in hoogte vegetatie binnen en buiten de enclosure. Foto rechts: begrazing buiten de enclosure aan aangeplant riet.

8.3.4 EFFECT INMENGING HOLOCEEN MATERIAAL

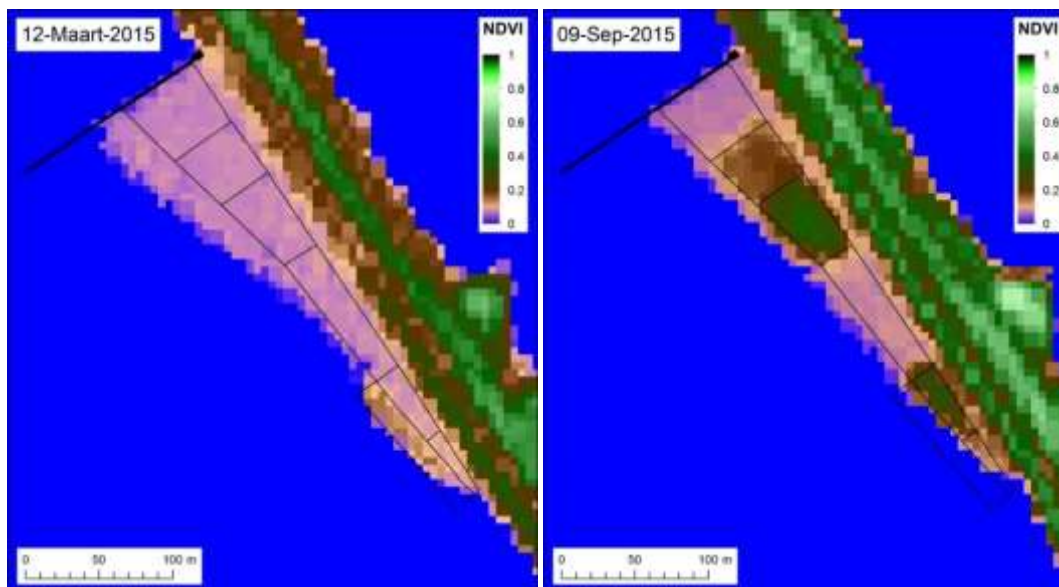
De scheiding tussen de twee bodemtypen zand en zand met bijmenging is duidelijk zichtbaar in de ontwikkeling van het struweel. Op het deel waar holoceen materiaal is bijgemengd, is het struweel hoger en zit het voller in blad (Figuur 8-4).⁶



Figuur 8-4 Effect inmenging holoceen materiaal. Foto links zand, foto rechts met bijmenging holoceen materiaal

Dit verschil is ook terug te zien op spot-satellietbeelden, waarbij de vakken met ingemengd holoceen materiaal een veel hogere 'groen-index' hebben, dan de vakken op zand (rechter afbeelding in Figuur 8-5).

⁶ Wellicht betere foto's gebruiken?



Figuur 8-5 De NDVI-groenindex op 12 maart 2015 en 9 september 2015.

8.3.5 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 holocene.

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 holocene materiaal hebben gevestigd geldt dat zij een rijkere en vochtigere standplaats nodig hebben dan het kale zand.

Spontane vestiging planten op bodemtype zand

Er hebben zich 17 soorten planten spontaan gevestigd in de PQ's op de vakken met alleen zand (Tabel 8-1 en Tabel 8-2). De meeste soorten in raai 3 op 30 m uit de oeverlijn. In raai 1 (oeverlijn) 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 ruderele omstandigheden. Muurpeper is de enige soort die specifiek is aangepast aan droge omstandigheden (zie Figuur 8-6).



Figuur 8-6 Muurpeper (op 10 m uit de oeverlijn op het zandige deel van de proefsectie).

Nederlandse naam	Familienaam
Rietgras	Poaceae
Riet	Poaceae
Gewone melkdistel	Asteraceae
Schietwilg	Salicaceae
Rode ganzenvoet	Chenopodiaceae
Muurpeper	Crassulaceae
Goudzuring	Polygonaceae

Tabel 8-1 Overzicht spontaan gevestigde soorten op bodemtype zand in raai 2 op 10 m uit oeverlijn.

Nederlandse naam	Familienaam
Engels raaigras	Poaceae
Reukeloze kamille	Asteraceae
Straatgras	Poaceae
Goudzuring	Polygonaceae
Gewone melkdistel	Asteraceae
Vogelmuur	Caryophyllaceae
Gestreepte witbol	Poaceae
Veldbeemdgras	Poaceae
Klein kruiskruid	Asteraceae
Jakobskruiskruid s.l.	Asteraceae
Ruw beemdgras	Poaceae
Gewoon varkensgras	Polygonaceae

Tabel 8-2 Overzicht spontaan gevestigde soorten op bodemtype zand in raai 3 op 30 m uit oeverlijn.

Spontane vestiging planten op bodemtype zand met holoceen materiaal

Binnen dit bodemtype hebben zich 25 soorten gevestigd (Tabel 8-3 en Tabel 8-4), 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.

Nederlandse naam	Familienaam
Harig wilgenroosje	Typhaceae
Klein kruiskruid	Lamiaceae
Kleine lisdodde	Asteraceae
Moerasandoorn	Poaceae
Moerasmelkdistel	Poaceae
Riet	Chenopodiaceae
Rietgras	Poaceae
Rode ganzenvoet	Asteraceae
Ruw beemdgras	Lamiaceae
Speerdistel	Asteraceae
Wolfspoot	Typhaceae
Zwart tandzaad	Lamiaceae

Tabel 8-3 Overzicht spontaan gevestigde soorten op bodemtype holoceen in raai 2 op 10 m uit oeverlijn.

Nederlandse naam	Familienaam
Bezemkruiskruid	Asteraceae
Canadese fijnstraal	Asteraceae
Fioringras	Poaceae
Gekroesde melkdistel	Asteraceae
Gewone melkdistel	Asteraceae
Gewoon struisgras	Poaceae
Goudzuring	Polygonaceae
Grote lisdodde	Typhaceae
Harig wilgenroosje	Onagraceae
Hoog struisgras	Poaceae
Klein hoefblad	Asteraceae
Klein kruiskruid	Asteraceae
Krulzuring	Polygonaceae
Melganzenvoet	Chenopodiaceae
Riet	Poaceae
Ruw beemdgras	Poaceae

Tabel 8-4 Overzicht spontaan gevestigde soorten op bodemtype holoceen in raai 3 op 30 m uit oeverlijn.

8.4 ALTERNATIEVE DATA-INWINNING VIA ANALYSE SATELLIETBEELDEN

8.4.1 INLEIDING

In de vorige paragraaf zijn de resultaten gepresenteerd van de fysieke bemonstering van de vegetatiekenmerken aan de hand van door Alterra uitgevoerd veldonderzoek.

Parallel hieraan is ook onderzocht in hoeverre de ontwikkeling van met name de biomassa op een innovatieve manier kon worden afgeleid door toepassing van remote sensing technieken. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Spot satellietbeelden uit het Nationaal Satelliet Dataportaal. Deze informatie is ook gebruikt voor het in kaart brengen van de ontwikkeling van de omvang van het boven water gelegen deel van de proefsectie (zie Paragraaf 6.3). Voor meer achtergronden kan worden verwezen naar de door Alterra opgestelde deel van de werkrapportage (Deltares/Alterra, 2017).

8.4.2 GEBRUIKTE INFORMATIE

Als input-bestanden voor deze analyse is dus gebruikt gemaakt van Spot satellietbeelden uit het Nationaal Satelliet Dataportaal. Deze beelden zijn maandelijks beschikbaar en getracht wordt om met behulp van de weersvoorspelling de te gebruiken opnamedagen zo te kiezen dat de kans op bewolking klein is.

De Spot satelliet heeft de beschikking over vier spectrale banden in het blauw, groen, rood en 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 (Tabel 6-2 op pagina 114). Tabel 6-3 op pagina 115 geeft een overzicht van de gebruikte opname-dagen.

De spectrale band in het rood en NIR licht 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 (NIR) 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 groenindex is een ratio tussen de reflecties van het rode en het NIR licht: $NDVI = (NIR - Rood) / (NIR + Rood)$.

De NDVI is een indicator van de hoeveelheid groene biomassa met een waarde tussen de 0 en 1. De NDVI-waarden kunnen "vertaald" worden naar landbouwkundige processen of natuurontwikkeling over de seizoenen. Zo kan per perceel de gewasontwikkeling middels de groeicurve gevolgd worden. Voor de Houtribdijk voorover betekend dat de biomassa ontwikkeling van de verschillende vegetatie aanplantingen in de verschillende proefvakken kan worden gevolgd en gekwantificeerd.

Bij de analyse van de ontwikkeling van de biomassa zijn verschillende proefvakken onderscheiden (zie Figuur 8-7).



Figuur 8-7 Google Earth opname van de zandige vooroever aan de Houtribdijk op 30 juni 2015 met hierin onderscheiden 6 proefvakken met verschillende aanplantingen en grondsoorten.

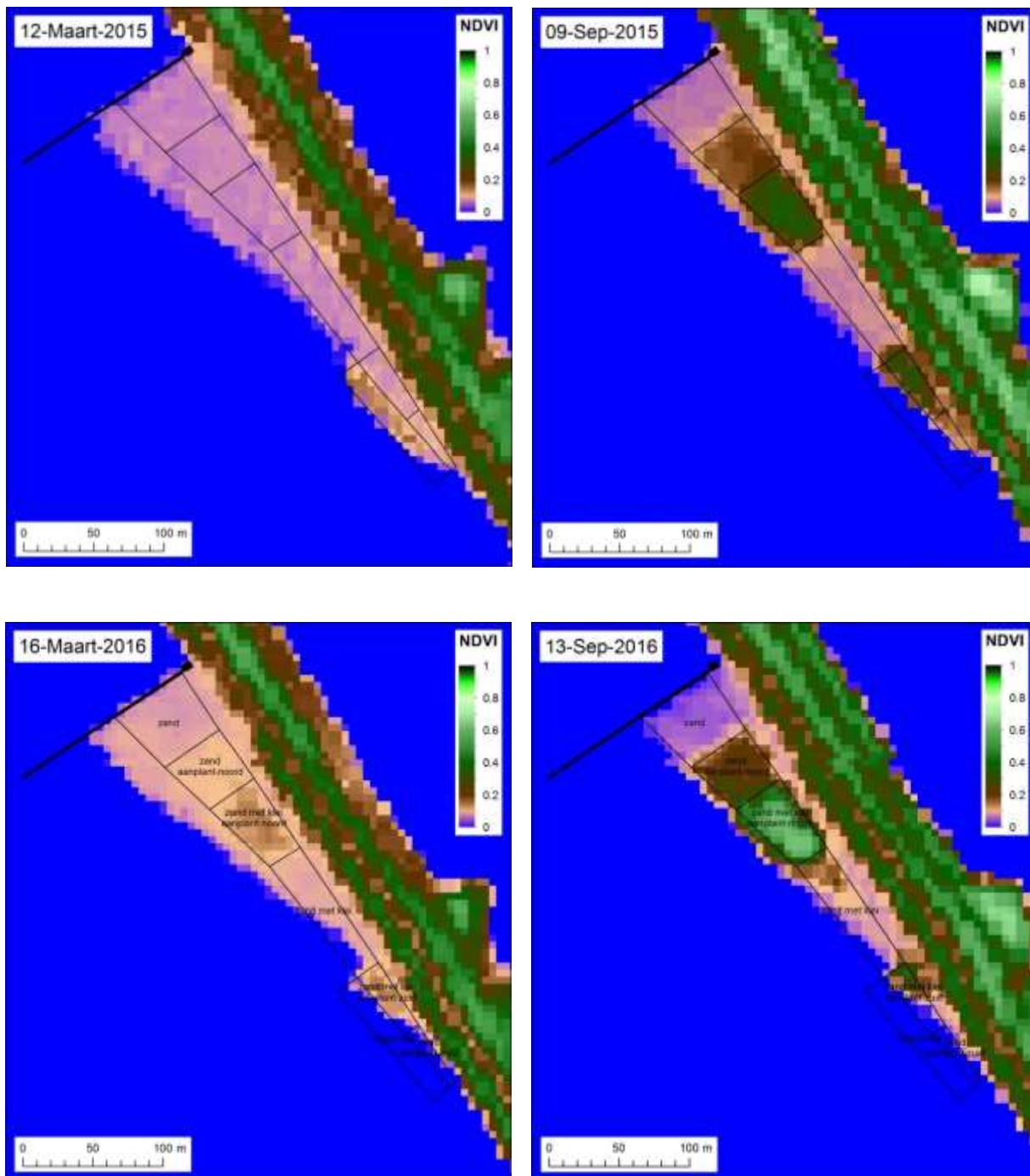
8.4.3 RESULTATEN

In totaal is de biomassa ontwikkeling van 7 proefvakken op de vooroever gevolgd vanaf november 2014. Daarnaast is er ook gekeken naar de biomassa ontwikkeling van loofbomen vlakbij de vooroever ter referentie. De resolutie waarmee de NDVI-groenindex beelden beschikbaar komen is geresampled naar 5 m (van oorspronkelijk 6 m resolutie). Om mixeffecten aan de randen van de proefvakken te voorkomen zijn de proefvakken met 5 m verkleind.

Figuur 7.5 geeft de NDVI-groenindex kaarten weer aan het eind van de winterperiode (maart 2015 en 2016) en in september 2015 en 2016, de periode met de maximale biomassa aanwezigheid op de vooroever. Vergeleken met Figuur 7.2 is duidelijk waarneembaar de grovere resolutie van de NDVI-pixels. In maart 2015 is er nog geen onderscheid te zien tussen de verschillende proefvakken. Alleen de wilgenmatten hebben een iets hogere waarde doordat ze een andere kleur hebben dan zand. Op 9 september 2015 zijn de verschillende vegetatieaanplantingen 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 waar de bodem bestaat uit zand met klei vermengt.

Een jaar later in maart 2016 zijn de verschillen in de proefvakken minder geworden, maar nog steeds waarneembaar. In de zuidelijke punt is echter al te zien dat de afslag zover is gevorderd dat gedeeltes van

de zuidelijke proefvakken geheel of gedeeltelijk verdwijnen onder water. In september is dat proces nog verder gevorderd. Wat echter heel duidelijk zichtbaar is dat de noordelijke aanplant op zand met kleibijmenging een stuk groener is dan in dezelfde periode een jaar eerder. Hier is de aanplant dus goed tot ontwikkeling gekomen. Dit is ook het geval voor de niet afgeslagen zuidelijke stukken zand/klei met aanplant.



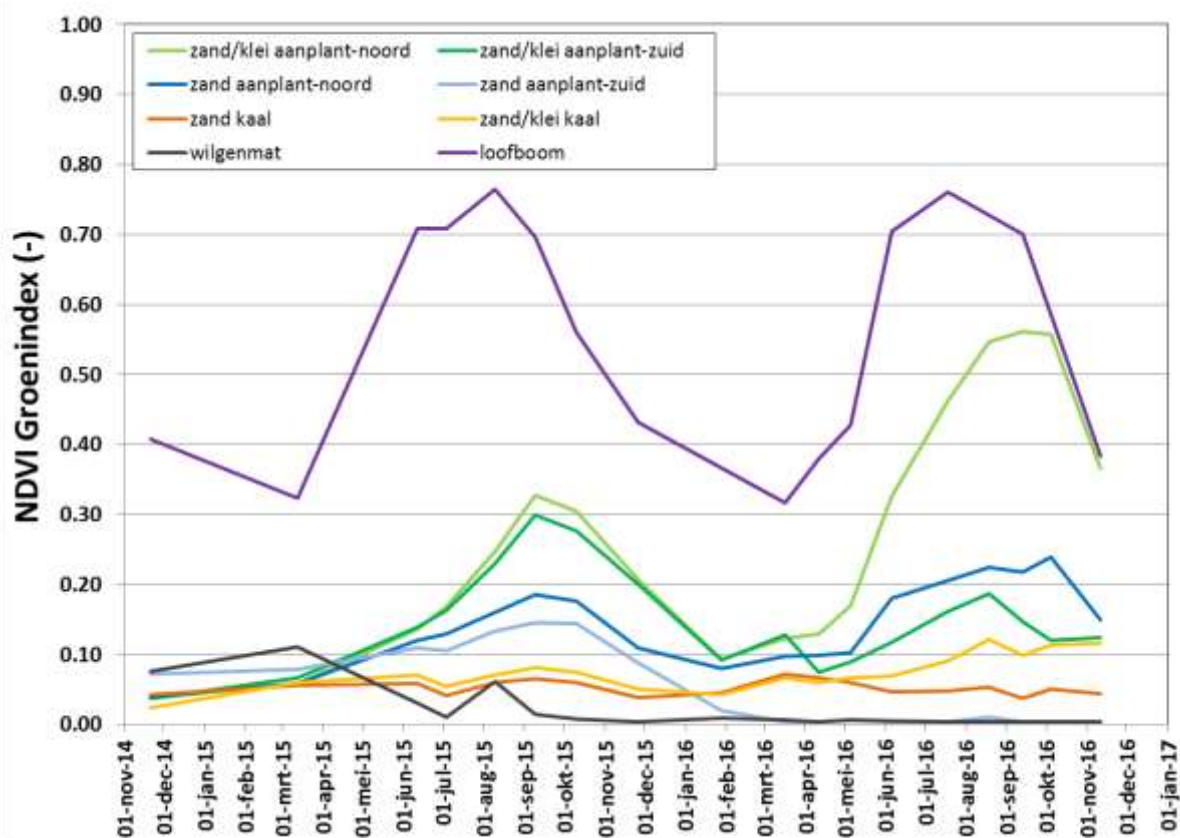
Figuur 7.5 De NDVI-groenindex op 12 maart 2015, 9 september 2015, 16 maart 2016 en 13 september 2016.

Echter de noordelijke aanplant op puur zand laat een veel mindere biomassa ontwikkeling zien, ongeveer gelijk aan het jaar ervoor. Blijkbaar is de grond te weinig vruchtbaar voor een goede biomassa 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. De overige zandgebieden laten vrijwel geen vegetatieontwikkeling zien.

In Figuur 7.6 worden de NDVI-groenindex waardes per proefvak berekend voor alle dagen met satellietopnames en uitgezet in de tijd. Duidelijk is weer het verschil tussen aanplant op zand versus aanplant op zand/klei. Maar ook de kleinere verschillen tussen de proefvakken worden nu goed waarneembaar, zoals het verschil tussen de noordelijke aanplant versus de zuidelijke aanplant in 2015. De noordelijke aanplant heeft in 2015 net iets hogere waardes dan de zuidelijke aanplant, zowel op zand als op zand/klei.

In de winter van 2015/2016 zijn een tweetal vakken verzwolgen door het water, terwijl de andere zuidelijk vakken gedeeltelijk afgeslagen zijn. Hierdoor kan het dat de aanplant op zand met kleibijmenging in het zuiden een gemiddelde lage waarde heeft; dat is de optelsom van een stuk groene aanplant en een stuk water met nul-waardes. De noordelijke aanplant op zand met kleibijmenging bereikt veel hogere waardes 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.

Als laatste is nog gekeken naar het signaal van loofbomen ter referentie. Dit is een gesloten gewas in de zomer met vaak meerdere bladlagen. In de zomer geeft dit hogere NDVI-waardes. 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 7.6 De NDVI-groenindex per proefvak over de tijd. NDVI-loofboom is als referentie toegevoegd.

8.4.4 CONCLUSIES

Op de vooroever zijn 6 proefvakken aangelegd in het voorjaar van 2015 met verschillende vegetatietypes en grondsoorten. De biomassa ontwikkeling binnen deze vakken is gekwantificeerd met de NDVI-groenindex. De NDVI-groenindex is een indicator van de hoeveelheid groene biomassa met een waarde tussen de 0 en 1.

Het is duidelijk dat de biomassa ontwikkeling binnen de vakken met een zand/klei mix veel beter gaat dan in de vakken met alleen zand als grondsoort. In 2016 is de vegetatieontwikkeling binnen de vakken met aanplant op zand met klei pas goed tot wasdom gekomen; terwijl de aanplant op alleen zandgrond minder tot wasdom komt. Op de niet aangeplante delen op zand is er geen spontane vegetatie gevestigd.

Met relatief weinig capaciteitsinzet is er met behulp van satellietbeelden een schat aan kwantitatieve informatie ontsloten. Deze remote sensing monitoring wordt ook in 2017 voortgezet en verder gekoppeld aan de veldinventarisaties. Voorts zal worden nagegaan in welke mate de NDVI-index gebruikt kan worden bij adviezen over beheer van de struweel vegetatie.

Literatuur

- Alkyon. (2007). *Versterking Zwakke Schakel West Zeeus-Vlaanderen; Achtergrondrapportage duinveiligheid en morfologie, samenvattend document*. Alkyon rapportage A1642, november 2007.
- Alterra. (2016). *Analyse korrelkarakteristieken*. Interim-toelevering t.b.v. werk/achtergrondrapportage, 21 maart 2016.
- Arcadis. (2011). *Versterking zwakke schakel Noord-Holland; Basisvariant veiligheid, onderdeel morfologie*. Rapportage C04021.002599/A2559, 28 maart 2011.
- Arcadis. (2014). *Pilot voorlandoplossing Houtribdijk, zettingsanalyse*.
- Arcadis. (2015a). *Modelverkenning*. Werkdocument versie 27 mei 2015.
- Arcadis. (2015c). *Morfologische analyses*. Werkdocument versie 9 juli 2015.
- Arcadis. (2016b). *Morfologische modellering pilot Houtribdijk - Plan van Aanpak Numerieke modellering - vervolgstappen, mei 2016*.
- Arcadis. (2016c). *Research proposal sandy foreshore pilot Houtribdijk K. van Ekdorp, augustus 2016*.
- Arcadis. (2016c). *Zettingen Pilot Houtribdijk*. Werkdocument 23 december 2016.
- Arcadis/RHDHV/HHNK. (2015a). *Oeverdijkrapportage deel 1 - veiligheidsontwerp*. Arcadis/HHNK-rapportage 15.0015935 d.d. 22 mei 2015.
- Arcadis/RHDHV/HHNK. (2015b). *Oeverdijkrapportage deel 2 - basisontwerp*. Arcadis/HHNK-rapportage 15.0015937 d.d. 21 mei 2015.
- Deltares. (2016). *Overzicht resultaten vegetatie aanleg en ontwikkeling*. Interim-toeleveringen t.b.v. werk/achtergrondrapportage, 22 maart 2016.
- Deltares/Alterra. (2017). *Voortgang monitoringsprogramma pilot Houtribdijk*. Werkdocument versie januari 2017.
- EcoShape. (2013). *Projectplan pilotoplossing Houtribdijk; Ontwerp, uitvoering, monitoring en resultaten*. EcoShape, mei 2014 (definitief).
- EcoShape. (2014). *Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, Monitoringsprogramma*. Deltares/Alterra, Rapport 1209013-000-ZWS-0019, 12 november 2014, definitief.
- EcoShape. (2015a). *Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, Werkprogramma (update febr. 2015)*. Arcadis, Rapport C03041.003128.0100_078336593:A, Definitieve versie, 11 maart 2015.
- EcoShape. (2015b). *Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, Lessons Learned vergunningentraject*. C03041.0028.0100_072275948:A, Definitief 11 maart 2015.
- EcoShape. (2015b). *Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, Lessons Learned vergunningentraject*. Arcadis, Rapport C03041.0028.0100_072275948:A, Definitieve versie 11 maart 2015.
- EcoShape. (2015c). *Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, Interim-rapportage juli 2015*. Arcadis, Rapport C03041.003128.0100_078499877:0.3, Interim-versie, 28 augustus 2015.
- EcoShape. (2015c). *Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, Lessons Learned aanleg*. C03014.003128.0100_078276043:A, Definitief, 11 maart 2015.
- EcoShape. (2015d). *HPZ innovatieproject; Werkplan thema B. Versie juli 2015 (concept)*.
- EcoShape. (2016a). *Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, Guideline Vergunningen*. Arcadis, Rapport C03041.003128.0100, 078680109:A-Definitief, 30 maart 2016.
- EcoShape. (2016b). *Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, Guideline Aanleg*. Arcadis, Rapport C03041.003128.0100, 078680471:A-Definitief, 30 maart 2016.

- EcoShape. (2016c). *Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, Interim-rapportage september 2016*. Arcadis, Rapport C03041.003128.0100, Interim-versie, 079110273-A Definitief, 6 oktober 2016.
- Ekdorf, K. v. (2017). *Cross-shore profile and grain size development on a foreshore: A conceptual model (draft V4)*.
- Fugro Geoservices. (2014). *Geotechnisch onderzoek Markermeer tbv uitbreiding Houtribdijk*.
- HHNK. (2014). *Voorontwerp Projectplan (VOPP) dijkversterking Markermeerdijken*.
- HKV. (2016). *Analyse hydrodynamica (t/m T14)*. Werkdocument versie 28 december 2016.
- Rijkswaterstaat. (2004). *Recept met uitgangspunten voor het bepalen van de ontwerprandvoorwaarden ten behoeve van de provinciale planstudies langs de Nederlandse kust*. Kennis Coördinatie Punt Zwakke Schakels, 31 augustus 2004.
- Shore Monitoring. (2016). *Veldrapportage(s) monitoring pilot Houtribdijk*. Werkdocumenten #1 t/m #14; 23 november 2016 (laatste opname).

Annex I

NATUURLIJKE GEOMETRIE VAN VOORLAND- OPLOSSINGEN

1 Inleiding

1.1 ALGEMEEN

Dit rapport betreft het basisproduct voor het ontwerp van de waterkering en wordt in het werkplan omschreven als rapport I: Natuurlijke geometrie van voorlandoplossingen.

1.2 INHOUD CONFORM WERKPLAN

1.2.1 INLEIDING

In het werkplan staat beschreven wat de (oorspronkelijke) inhoud van dit onderdeel van de rapportage is. In het volgende is deze ter referentie opnieuw kort aangehaald.

In deze achtergrondrapportage wordt op basis van data-analyse en toepassing van numerieke modellen inzicht gegeven in:

- De natuurlijke helling van het voorland ter plaatse van de proefsectie en de mate waarin het morfologisch model XBEACH deze helling kan reproduceren (vraag 1);
- De mate waarin vegetatie een voorlandoplossing kan stabiliseren (vraag 2);
- De mate waarin de geometrie van het voorland als toegepast in de pilot ook geschikt is als veiligheidsontwerp voor andere locaties (vraag 3).

Het rapport wordt opgeleverd in 2018 met een tussenrapportage in het voorjaar van 2016 (zie ook Hoofdstuk 5 planning) en is bedoeld als achtergrondrapportage voor inhoudelijke eindgebruikers. De eerste resultaten en vervolgactiviteiten worden besproken in de begeleidingsgroep (medio 2015).⁷

1.2.2 NATUURLIJKE TALUD HELLING (VRAAG 1)

De pilot richt zich primair op de buitenzijde van een voorlandoplossing en wel op het kennis opdoen over de meest ideale helling van het hier aanwezige talud. Basisidee is dat hier idealiter sprake is van een zogenaamde evenwichtshelling (natuurlijke talud helling). Een dergelijke helling leidt tot een geleidelijke afname van de inkomende golfaanval, zonder dat deze gepaard gaat met een significante vervorming van het profiel. Dit laatste sluit aan bij de wens om het beheer en onderhoud van het voorland zoveel mogelijk te beperken.

De pilot zal dus inzicht moeten opleveren ten aanzien van het gebruik van het concept van een dergelijke evenwichtshelling voor deze locatie en de helling van het hiermee samenhangende talud.

Effect hydraulische condities

Met behulp van data beschikbaar uit het monitoringsprogramma wordt onderzocht op welke wijze de waargenomen buitentaludhelling op de pilotlocatie afhangt van de hydraulische condities en over welk

⁷ Deze terugkoppeling heeft inmiddels plaatsgevonden op 22 juni 2015.

deel van het profiel deze helling te verwachten is. Doel is om beter inzicht te krijgen in het afzonderlijke en gecombineerde effect van waterstand en golven op de natuurlijke helling.

Vraag daarbij is bijvoorbeeld of een natuurlijke taludhelling die behoort bij een extremere combinatie van waterstand (iets hogere waterstand) en golfaanval (iets zwaardere golfaanval) geometrisch gezien in het verlengde ligt van het talud dat hoort bij een normale combinatie van waterstand en golfaanval. De combinatie van beide is immers leidend voor de helling van het 'ontwerp-talud'.

Effect korreldiameter

Daarnaast zal (indien mogelijk) worden gekeken naar het effect van de (ruimtelijk) variërende korreldiameter op de proefsectie. Grover zand zal immers samengaan met een relatief steilere helling. Complicerend effect kan ook nog zijn dat er in dwarsrichting sprake is van verschillende korreldiameters, dit als gevolg van tijdens de aanleg en dagelijkse omstandigheden optredende uitzevingseffecten.

Effect zettingen

In de analyse van de profielgegevens zal tenslotte ook rekening worden gehouden met de effecten van de optredende zettingen. De waargenomen profielontwikkeling is immers een resultante van de zetting en morfologische ontwikkeling. De omvang van de opgetreden zetting volgt uit de zakkaken-informatie en hangt lokaal ten minste af van de omvang van de aanvulling en de dikte van de onderliggende weinig draagkrachtige laag. Dicht bij de dijk speelt ook de zetting-reducerende aanwezigheid van het dijkcunet een rol.

De input voor bovenstaande activiteiten betreffen monitoringsdata ten aanzien van de waterstanden, golfaanval, de meteo-data, de ingemeten profielen, de zettingsinformatie en sediment eigenschappen uit de bodemonmonsters.

Effect rijsmatconstructie

Op de grens van vak 3 en 4 van de proefsectie zijn rijsmatten aangelegd met de bedoeling om de groei van rietvegetatie te bevorderen. De rijsmatconstructie kan in deze zin als een middel worden gezien. Feit is echter ook dat de aanwezigheid van deze constructie (afhankelijk van de momentane staat ervan) lokaal effect zal hebben op de morfologische ontwikkeling en daarmee op een ter plaatse aanwezige profielvorm. Ook dit effect zal nader worden gekwantificeerd.

De hoofdaandacht gaat echter uit naar het bredere deel van het proefvak waar een dergelijke constructie afwezig is en de morfologische ontwikkeling meer natuurlijk en ongestoord is. Bij de analyses zal het effect van de vegetatie en de ondersteunende maatregel (het middel) aandacht krijgen. Ook zal worden gekeken worden naar de verschillen tussen wel/geen vegetatie en wel/geen rijsmatconstructies. In dit kader zal ook de effectiviteit van het aangebrachte windscherm worden beschouwd.

In de rapportage zullen de resultaten van de verschillende analyses worden beschreven.

1.2.3 VALIDATIE MORFOLOGISCH MODEL (VRAAG 1)

Met het morfologische model XBEACH wordt getracht de dynamiek in de natuurlijke talud helling en daarbij horende profielontwikkeling zo goed mogelijk te reproduceren. Met het gevalideerde model kan inzicht worden verkregen in het afzonderlijk effect van waterstand en golven op de natuurlijk taludhelling en profiel dynamiek. Ook kan aanvullend inzicht verkregen worden in het effect van de korreldiameter.

Doel is om modelinstellingen af te leiden waarmee het model het beste de profiel dynamiek uit de monitoring data kan reproduceren. Op basis van deze instelling (settings) kan het XBEACH-model vervolgens toegepast worden om het veiligheidsontwerp te definiëren en te optimaliseren. Ook kan deze worden gebruikt voor het definiëren van een concept toetsingsprotocol.

De input voor bovenstaande activiteiten betreffen monitoringsdata ten aanzien van de waterstanden, golfaanval, de meteo-data, de ingemeten profielen, de zettingsinformatie en sediment eigenschappen uit de bodemonsters. Voor de modellering van XBEACH zal gebruikt worden van de laatst beschikbare release versie van XBEACH (open source freeware).

1.2.4 STABILISEREN VOORLAND MET VEGETATIE (VRAAG 2)

In de pilot zijn uiteenlopende vakken gespecificeerd met verschillende bodemeigenschappen (wel of niet innemen klei in top laag), type vegetatie en vegetatie dichtheden. Ook is er sprake van een zich in de tijd ontwikkelende vegetatie. Met behulp van de beschikbare data uit het monitoringsprogramma wordt een verband gelegd tussen de vegetatie eigenschappen (hoogte, stijfheid, dichtheid) en de stabiliteit van het voorland (morfodynamiek). Op basis van deze analyses wordt getracht beter inzicht te krijgen in het relatieve belang van enerzijds de golfremming door vegetatie en anderzijds de erosiebestendigheid van de bodem door de aanwezigheid van het wortelstelsel van de vegetatie.

In het kader van het monitoringsprogramma vinden er regelmatig vegetatieopnamen plaats.

De metingen in augustus zijn essentieel want ze geven aan wat er aan maximale biomassa op het talud staat. Dit is van invloed op de golfuitdoving die afhankelijk is van de hoeveelheid biomassa op het talud ten tijde van een 'storm'. Vegetatie op een voorland beïnvloedt in de inkomende golven waardoor de golfbelasting op het voorland en de daarmee samenhangende bodemverandering iets afneemt. Dat kan in theorie leiden tot een stabiel voorland.

Daarnaast kunnen wortels van de vegetatie de top laag van het voorland extra cohesie geven waardoor het voorland (onder gelijke belasting) minder gevoelig voor erosie is (wat ook leidt tot een stabiel voorland). Ook hiervoor zijn de metingen in augustus essentieel omdat dan daarmee kan worden vastgesteld hoeveel productie er in een seizoen behaald kan worden (opbouw ondergrondse biomassa over de tijd) en wat de spreiding in biomassa is over het jaar. Ook kan in augustus worden bekeken wat voor een-jarigen er zijn (ruigtekruiden, soortsaamenstelling (bijdrage aan meerwaarde biodiversiteit)) en zo kan worden gekeken in hoeverre die in de winter nog bijdragen aan de golfuitdoving (deze kruiden kunnen in de winter niet goed worden gedetermineerd).

Om beide effecten van elkaar te kunnen scheiden zal de data-analyse nader geanalyseerd worden met behulp van XBEACH-modelering.

De data uit de pilot zal tevens worden gebruikt om de settings voor verschillende type vegetatie in XBEACH af te leiden. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om de drag-coëfficiënt en de effectieve hoogte van de vegetatie in het model in geval van flexibele vegetatie. Het model kan immers worden gebruikt om eerder benoemde effecten los van elkaar te onderzoeken.

Resultaat van deze uitwerkingen is een eerste uitspraak over de rol van vegetatie voor stabilisatie van het voorland.

1.2.5 OPTIMAAL GEOMETRISCH VEILIGHEIDSONTWERP (VRAAG 3)

Op basis van data-analyse in combinatie met morfologische modelering van de natuurlijke talud-helling en dynamiek daarin wordt enerzijds duidelijk in hoeverre voorlanden in grote meren zich morfologisch anders gedragen als de zandige kust. Anderzijds geeft het inzicht in de toepasbaarheid van morfologische modellen als XBEACH om deze dynamiek te voorspellen.

Ten behoeve van het ontwerp van een morfologisch optimale vormgeving speelt dit model als kennisdrager een belangrijke rol. Het aansturen van het model met andere condities geeft immers inzicht in welke voorlandprofielen voor andere locaties verwacht kunnen worden.

Optimale helling buitentalud

Het gevalideerde morfologische model XBEACH zal worden toegepast (met eerder afgeleide modelinstellingen) om op ook voor andere locaties/omstandigheden de natuurlijke profielvorm te kwantificeren. Streven is hierbij om een relatie te leggen tussen de karakteristieken van het hydraulische klimaat, het aanwezige korrelmateriaal en de taludhelling. Deze resultaten zullen beschikbaar komen in de vorm van ontwerpgrafieken waarin de ideale helling als functie van de omgevingsparameters wordt gevisualiseerd, dit expliciet rekening houdend met de hierbij aanwezige onzekerheden. Bij de hiervoor gebruikte XBEACH-modellering is immers sprake van onzekerheden omdat de waargenomen profielontwikkeling niet tot in detail kan worden gereproduceerd.

Deze uitwerking zal met name worden gebaseerd op de profielontwikkeling in het bredere gedeelte van de proefsectie (vak 1 en 2) waar de effecten van de rijmatconstructie afwezig zijn.

Optimaal veiligheidsontwerp

Daarnaast wordt op basis van XBEACH-berekeningen voor normatieve omstandigheden het veiligheidsontwerp geoptimaliseerd door de geometrie (helling, breedte en hoogte) van het voorland te variëren. Voor deze uitwerking is het uitgangspunt dat het voorland een bepaalde mate van bescherming biedt voor de achterliggende dijk. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen bijvoorbeeld een voorlandoplossing waarbij de dijk wordt ontzien en een oplossing waarbij de dijk nog wel (maar niet te veel) wordt belast. In dat laatste geval spreken we over een hybride oplossing.

Bij aanwezigheid van een voorland is de resterende golfaanval op de dijk een nette functie van de omvang van het voorland (en dus de geometrie). Bij toenemende omvang van het voorland neemt de effectieve belasting af van 'origineel' (zonder voorland of met beperkt volume), via 'voldoende' (voor het daadwerkelijk voldoende reduceren van de belasting bij een hybride oplossing) tot volledig (stand-alone zandige versterking voor de dijk).

Voor de uitwerking zal in eerste instantie de zelfstandige voorlandoplossing worden uitgewerkt. Dit betekent dat de profielverandering tijdens de normatieve condities niet mag leiden tot een belasting op de dijk. De 'afslag' van het voorland moet dus binnen het voorlandprofiel worden opgevangen.

Binnen de combinatie helling, breedte en hoogte zijn er meerdere 'oplossingen' mogelijk voor een voldoende robuust voorland. Een flauwere helling (en dus meer dissipatie van inkomende golfenergie) zal immers vragen om een minder brede kruin. Ook de hoogte van het voorland heeft een effect op deze breedte, waarbij een hoger voorland minder breedte zal vragen.

De betrouwbaarheid van de verkregen resultaten zal hierbij de nodige aandacht krijgen. Het gaat immers om een extrapolatie van modelresultaten buiten het validatie-gebied. Speciale aandacht zal daarbij moeten uitgaan naar de situatie waarbij het kruinniveau van het voorland slechts beperkt hoger ligt dan de

maatgevende waterstand omdat ervaringen leren dat dit model-technisch lastig kan zijn (golfoploop op de bovenzijde).

Deze exercitie leidt tot een inzicht in de mogelijke en optimale geometrie voor een voorlandoplossing. Het resultaat hiervan zal worden gevisualiseerd in de vorm van ontwerpgrafieken.

Soortgelijke uitwerkingen zijn ook voorzien voor het geval dat de achterliggende dijk wel een waterkerende functie heeft. In dat geval is de resterende golfaanval op de dijk het maatgevende criterium.

De minimaal benodigde input data voor bovenstaande analyses betreffen hydraulische condities, materiaaleigenschappen van het voorland en globale bodemligging. Daarnaast zijn de normatieve hydraulische condities vereist. De resultaten van deze uitwerking zullen worden gebruikt voor de formulering van ontwerp-guidelines.

1.3 **HUIDIGE STAND VAN ZAKEN**

Nog toe te voegen.

2

Natuurlijke taludhelling

2.1 ALGEMEEN

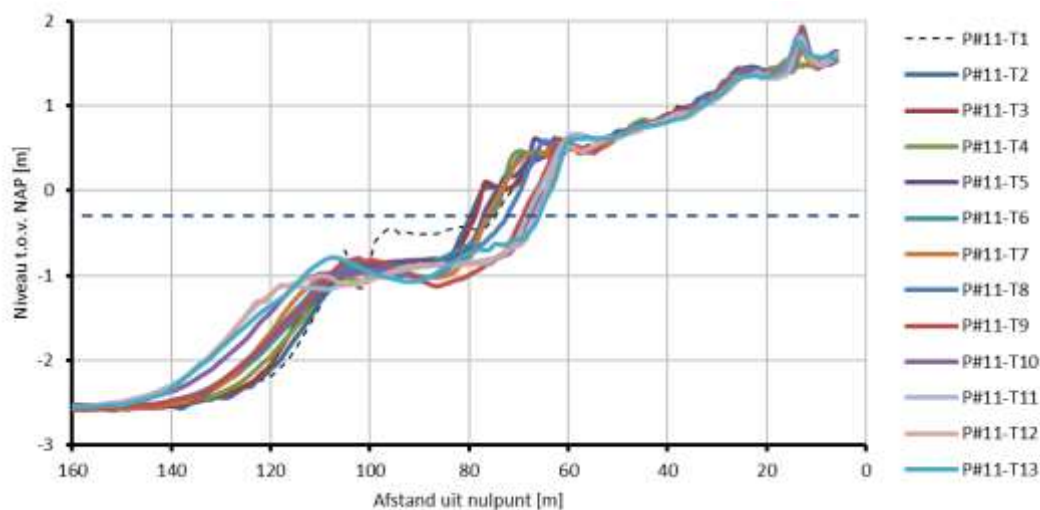
Dit hoofdstuk is in de huidige versie van de rapportage nog niet volledig ingevuld omdat deze onderdeel is van nog lopende, en niet voldoende afgeronde activiteiten.

Wel is het resultaat van een eerste analyse toegevoegd en is aangegeven op welke wijze deze is ingestoken.

2.2 VERKENNING STABIELE FORM

Zoals al eerder aangegeven kan een karakteristieke profielvorm worden afgeleid uit de in het midden van de centrale sectie aanwezige dwarsprofielen.

Voor het op 120 m van de damwand afgelegen profiel #11 is de profielontwikkeling gegeven in Figuur I - 2-1.

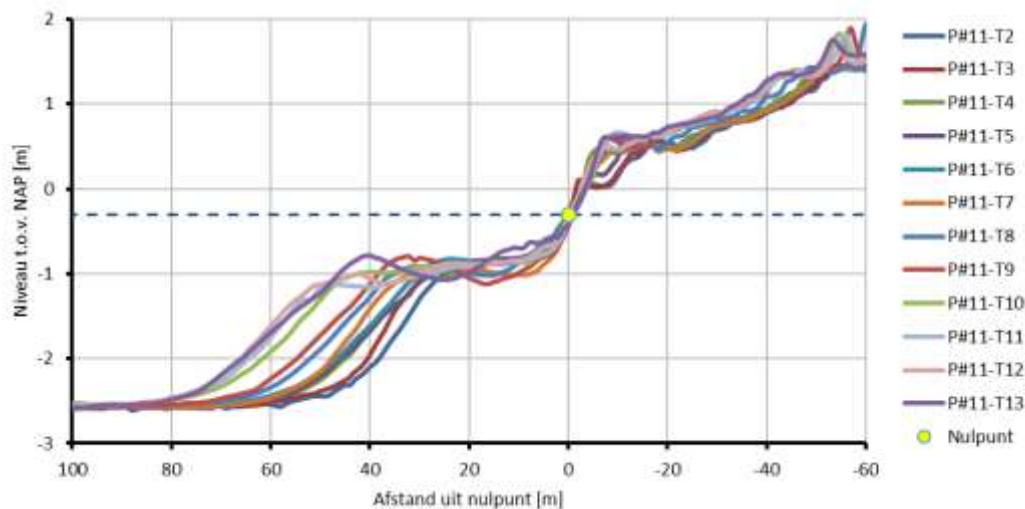


Figuur I - 2-1 Ontwikkeling karakteristiek dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #11).

Te zien is dat het initieel aangelegde profiel ((P#11-T1) beneden de waterlijn snel vervormd tot iets wat sterk vergelijkbaar is met de andere profielen.

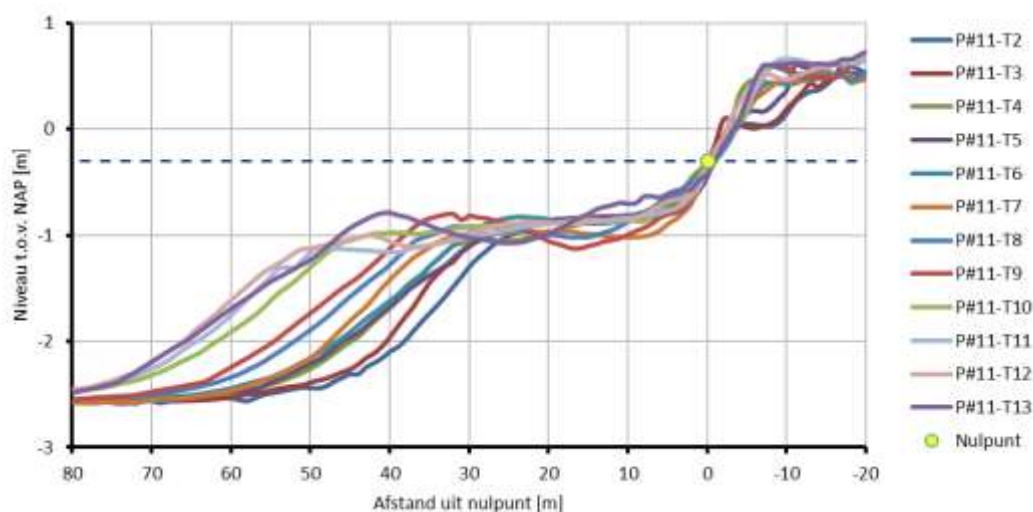
Met name de ontwikkeling van een relatief steil 1 : 10 talud rond de waterlijn valt hierbij op. Afhankelijk van de opname ligt dit profieldeel echter op een andere positie.

In Figuur I - 2-2 zijn dezelfde profielen gegeven, maar nu zijn deze zodanig verschoven dat er sprake is van een samenvallende NAP-0,3 m positie.



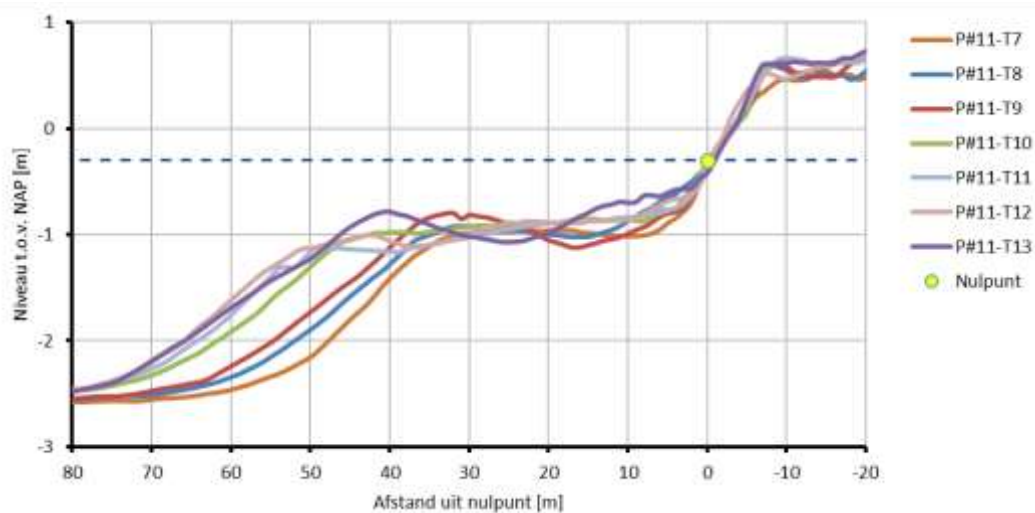
Figuur I - 2-2 Ontwikkeling karakteristiek dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #11) ten opzichte van doorsnijding op NAP-0,3 m niveau.

Deze figuur en het in Figuur I - 2-3 gegeven detail laat zien dat er sprake is van een steil talud rond de waterlijn en een relatief vlak profieldeel tussen grofweg NAP-0,8 en NAP-1,0 m.

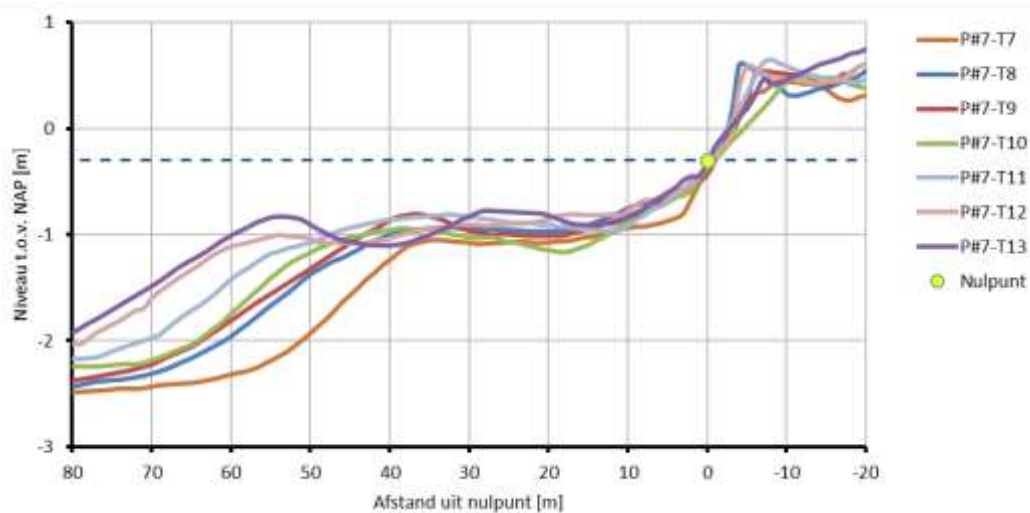


Figuur I - 2-3 Detail ontwikkeling karakteristiek dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #11) ten opzichte van doorsnijding op NAP-0,3 m niveau.

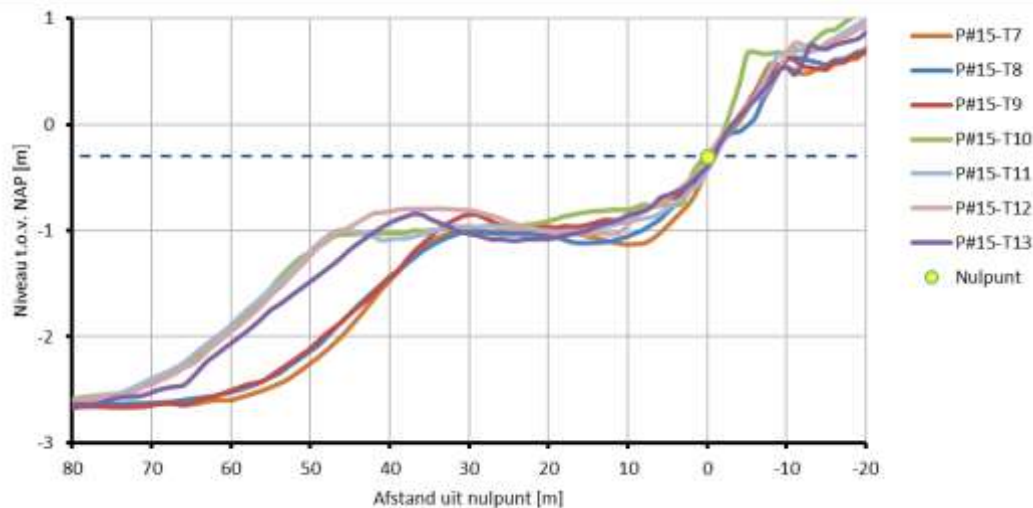
Een dergelijke profielvorm kan als karakteristiek worden gezien. Deze is ook aanwezig in een 60 m oostelijk of westelijk gelegen profiel (zie Figuur I - 2-5 en Figuur I - 2-6).



Figuur I - 2-4 Detail ontwikkeling karakteristiek dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #11) ten opzichte van doorsnijding op NAP-0,3 m niveau voor meest recente peilingen.



Figuur I - 2-5 Detail ontwikkeling ander, meer westelijk gelegen dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #07) ten opzichte van doorsnijding op NAP-0,3 m niveau voor meest recente peilingen.



Figuur I - 2-6 Detail ontwikkeling ander, meer oostelijk gelegen dwarsprofiel in de centrale sectie (profiel #15) ten opzichte van doorsnijding op NAP-0,3 m niveau voor meest recente peilingen.

Conclusie:

- Er ontstaat al vrij snel een min of meer stabiel profiel
- Steil talud (1 : 10) rond de waterlijn;
- Swash-berm met kruin rond NAP+0,5 m;
- Voorliggende plateau relatief vlak;
- Is (waarschijnlijk) effect van grover zand.

2.3 EFFECT HYDRAULISCHE CONDITIES

....

2.4 EFFECT KORRELDIAMETER

...

2.5 EFFECT ZETTINGEN

...

2.6 EFFECT CONSTRUCTIES (DAMWAND, RIJSMAT, BESCHERMINGSCONSTRUCTIE)

...

3

Validatie morfologisch model

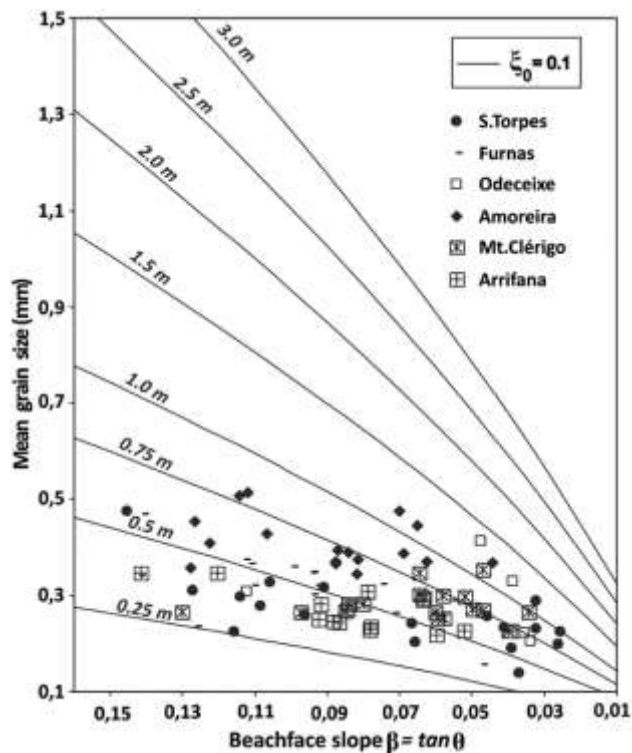
3.1 INLEIDING

Ten aanzien van dit onderwerp is onderzocht in hoeverre het voor het ontwerp en toetsing in te zetten morfologische model in staat is om de waargenomen profielontwikkelingen te simuleren. Cruciaal daarbij lijkt de aanwezigheid van relatief grof materiaal. Ook infiltratie van de golfplooptong zou hierbij van belang kunnen zijn.

3.2 AFHANKELIJKHEID KORRELDIAMETER

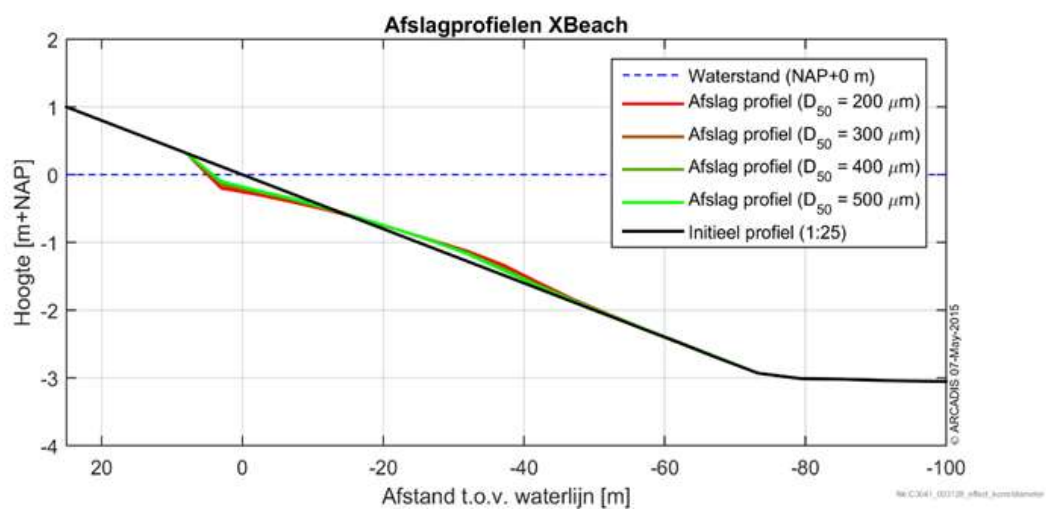
Het ontwerp (met de 1 : 30 helling) is gebaseerd op het gebruik van sediment met een karakteristieke diameter van 200 μm . Het aanwezige zand is echter veel grover (300 tot 400 μm).

Ook op basis van literatuurgegevens (zie bijvoorbeeld Figuur I - 3-1) leidt dit grovere materiaal tot een veel steilere profielhelling bij de waterlijn.



Figuur I - 3-1 Relatie tussen helling en korreldiameter (Ref...).

De huidige versie van het XBeach-model geeft geen direct bruikbare resultaten (zie Figuur I - 3-2).



Figuur I - 3-2 Afhankelijkheid profielontwikkeling van korreldiameter voor XBeach.

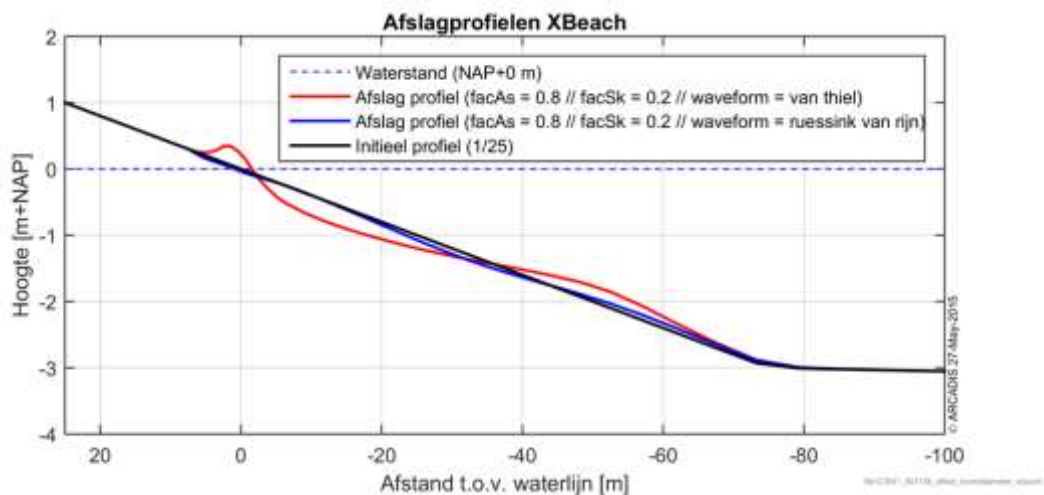
Voorlopige conclusies:

- Grover zand levert slechts een reductie van de profielvervorming;
- Er ontstaat geen swash-berm.

3.3 UPGRADE XBeach MODEL

Het effect van de korreldiameter moet beter worden gemodelleerd.

Hiervoor zou de asymmetrie-factor kunnen worden gebruikt, maar een aanpassing van de interne formuleringen van het model lijkt een veel betere oplossing te zijn.



Figuur I - 3-3 Resultaat eerste verkenning effect aangepaste asymmetrie-factor op profielontwikkeling.

4

Stabilisatie met vegetatie

4.1 INLEIDING

Nog in te vullen.

5

Veiligheidsontwerp

5.1 INLEIDING

Nog in te vullen.

5.2 OPTIMALE HELLING BUITENTALUD

Nog in te vullen.

5.3 OPTIMAAL VEILIGHEIDSONTWERP

Nog in te vullen.

6

Aanvullende producten

6.1 GUIDELINE ONTWERP VAN VOORLANDOPLOSSINGEN (ZIE BIJLAGE 1)

De guideline voor het ontwerp van voorlandoplossingen is als separaat product van deze pilot opgenomen in Bijlage 1 (zie pagina 245) van deze rapportage.

Inhoud conform werkplan

Op basis van de inzichten uit rapport I worden guidelines voor het ontwerp van een voorland afgeleid. Dit product beschrijft de wijze waarop voor een specifieke locatie een veiligheidsontwerp voor een voorland kan worden gedefinieerd. Daarbij zal ook aandacht worden gegeven aan de rol van de achterliggende dijk bij het ontwerp van de (eventueel hybride) waterkering.

De guideline zal bestaand uit ontwerpgrafieken waarin afhankelijk van de hydraulische belasting (normaal en extreem), het aanwezige materiaal (korreldiameter) en de nog toelaatbare golfaanval op de achterliggende dijk het bereik van de optimale combinaties van hellingen, hoogtes en breedtes worden gepresenteerd. De nog toelaatbare golfaanval op de dijk zegt iets over de mate waarin de achterliggende dijk bijdraagt aan de veiligheidsoplossing.

Deze guidelines kunnen door eindgebruikers (consultants, aannemers, overheid) gebruikt worden om voorlandoplossing te ontwerpen dan wel te evalueren. Deze guidelines zullen qua niveau van uitwerking vergelijkbaar zijn met de zogenaamde EDD-guidelines.

Annex II

AANLEG VAN VOORLAND- OPLOSSINGEN

1 Inleiding

1.1 ALGEMEEN

Dit rapport betreft het basisproduct voor de aanleg-gerelateerde informatie en wordt in het werkplan omschreven als rapport II: Aanleg van een voorlandoplossing.

1.2 INHOUD RAPPORTAGE CONFORM WERKPLAN

1.2.1 INLEIDING

In het werkplan staat beschreven wat de (oorspronkelijke) inhoud van dit onderdeel van de rapportage is. In het volgende is deze opnieuw kort aangehaald.

In deze achtergrondrapportage wordt op basis opgedane ervaringen en data-analyse verslag gedaan van het inzicht in:

- Het voor de aanleg van een voorland te doorlopen vergunningen-traject (vraag 4);
- De efficiënte aanleg van een voorlandtalud (vraag 5);
- Het gebruik van een mengsel van zand en holocene materiaal voor de kern van een voorlandoplossing (vraag 6);
- In hoeverre vegetatie op een voorland snel kan worden gerealiseerd (vraag 7).

1.2.2 ERVARING VERGUNNINGENTRAJECT (VRAAG 4)

Binnen deze taak zullen de tijdens de voorbereiding van de pilot met betrekking tot het vergunningen-traject opgedane ervaringen worden vastgelegd. Daarbij zal onder andere worden ingegaan op de wijze waarop de in een Natura2000-gebied benodigde vergunningen toch relatief snel konden worden verkregen.

Deze ervaringen zullen worden aangevuld met informatie die is ontleend aan een aantal interviews met de bij deze procedures betrokken partijen/personen. Het op een rij zetten van deze ervaringen is toeleverend aan de vraag hoe een waterkeringbeheerder het vergunningentraject van een grootschalige versterking het best kan inrichten.

Naast het opleveren van de 'lessons-learned' van het voor de aanleg van de proefsectie doorlopen vergunningenproces, is de volgende stap de procedures voor een toekomstig vergunningen traject ten behoeve van een meer grootschaliger voorlandoplossing (voor bijvoorbeeld een groot deel van de Houtribdijk) in kaart te brengen.

De resultaten hiervan zijn inmiddels opgenomen in de guideline vergunningen.

1.2.3 ERVARING AANLEG PROEFSECTIE (VRAAG 5)

Dit product heeft betrekking op de tijdens de aanleg van de zandaanvulling opgedane ervaringen. Onderdeel hiervan is ook de analyse van de opgetreden zettingen en de opgetreden verliezen en de mate waarin de in detail ontworpen geometrie daadwerkelijk is gerealiseerd.

Ten aanzien van de zettingen is het bijvoorbeeld de vraag op welke wijze de compensatie voor de verwachte zettingen het best in het ontwerp kan worden meegenomen. Bij de aanleg is er voor gekozen om het te realiseren aanlegprofiel op een iets hoger niveau te leggen, zonder rekening te houden met de tijdens de aanleg zelf optredende zettingen.

Ten aanzien van de opgetreden verliezen doet zich de vraag voor uit welke componenten deze verliezen bestaan (pakkingsverschillen, uitspoeling fijn materiaal, windverliezen, zetting tijdens de aanleg, ...).

Ook een belangrijke vraag is of het geforceerd aanleggen van een bepaald profiel nodig is (of dat het gewoon vanzelf ontstaat) en/of wat er gebeurt als het onderwaterprofiel initieel veel te steil wordt aangelegd.

Voor deze uitwerking zal gebruik worden gemaakt van de ervaringen zoals deze zijn opgedaan in het kader van WP2, aangevuld met de resultaten van een aantal met de aannemerscombinatie te houden interviews. Voor de verdiepende morfologische analyse zal gebruik worden gemaakt van de tijdens de aanlegfase ingewonnen profielgegevens en zettingen alsmede de eerste monitoringsgegevens van na de oplevering.

Dit resultaat zal worden opgeleverd in de vorm van een rapportage, waarin een overzicht is gegeven van de aandachtspunten die bij de aanleg van een voorlandoplossing spelen en de relatie tussen het ontwerp en de (gerealiseerde of te realiseren) aanleg. Een eerste bijdrage hieraan is reeds beschikbaar in de vorm van een interne rapportage van de aannemerscombinatie aan EcoShape.

De oplevering van deze rapportage is voorzien in het vroege voorjaar van 2015.

1.2.4 GEBRUIK ANDER KERNMATERIAAL (VRAAG 6)

Een van de initieel geformuleerde onderzoeksvragen heeft betrekking op het gebruik van de holocene toplaag als kernmateriaal. Achterliggend idee was dat door de inzet van relatief goedkoper te verkrijgen materiaal (holocene toplaag die sowieso zou moeten worden verwijderd alvorens het onderliggende zandpakket kan worden aangeboord) er netto sprake zou zijn van een reductie van de gemiddelde prijs per m³ aanlegmateriaal.

Bij de aanleg van de proefsectie bleek dit niet opportuun door gebrek aan zowel ruimte als tijd. Voor een efficiënte inzet van ander materiaal zou het tenminste moeten gaan om veel grotere hoeveelheden en bovendien vraagt het kwalitatief mindere materiaal om extra consolidatietijd.

Denkbaar is dat dit wel tot de mogelijkheden behoort bij een meer grootschaliger voorlandversterking. Dit onderwerp komt dus weer terug binnen de guideline aanleg (zie Paragraaf 6.1 en Bijlage 5).

Dit vereist een nadere analyse waarbij moet worden gekeken naar de schaal van de oplossing, de materiaaleigenschappen en oorsprong (welke winlocaties), alsmede de mogelijke werkmethoden.

Duidelijk is dat hier een directe relatie ligt met andere in het Markermeer en IJsselmeer lopende en komende projecten. Uitwisseling van kennis speelt hier dus een belangrijke rol. In dit verband er ook gezocht naar mogelijkheden om de opgedane kennis en inzichten interactief te delen met de gerelateerde projecten.

1.2.5 INITIATIE VAN VEGETATIE (VRAAG 7)

Doel van deze taak is het vastleggen van de tijdens het aanbrengen van de vegetatie opgedane ervaringen. Deze zijn immers van belang voor toekomstige voorlandversterkingen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de ervaringen zoals deze zijn opgedaan in het kader van WP2 ten aanzien van het aanbrengen van de holocene toplaag en de rijsmatten, aangevuld met de resultaten van een aantal interviews met de hierbij betrokken personen.

Duidelijk mag zijn dat niet alleen het aanbrengen van de vegetatie van belang is maar nog meer hoe de vegetatie vervolgens aanslaat. De aard en omvang (hoeveel per m²) van de vegetatie in combinatie met het niveau boven de waterlijn waar deze is aangebracht zal immers van invloed zijn op de ontwikkeling. Binnen WP3 wordt de ontwikkeling van de vegetatie gemonitord als functie van verschillende vegetatie initiatie methodieken (niks doen, zaaien, planten, planten op rijsmatten). Een nadere analyse van deze data kan deze ervaringen mogelijk beter onderbouwen.

Doel van de verschillende uitwerkingen is het conceptueel modelleren/beschrijven van de (van de standplaatsfactoren afhankelijke) groei van de vegetatie en de daarmee samenhangende effecten op de effecten van deze vegetatie. Uitdaging is om gegeven de gekozen vegetatie een voorspelling te doen en deze later bij te stellen aan de hand van de waargenomen ontwikkelingen. Het bijgestelde voorspelmodel speelt ook een rol in de beschouwingen over de beheer- en onderzoeksfase.

Dit resultaat zal ook separaat worden opgeleverd in de vorm van een interim-rapportage. Een eerste bijdrage hieraan is (voor wat betreft de aanleg van de rijsmatten) beschikbaar in de vorm van een interne rapportage van de aannemerscombinatie aan EcoShape. Een update van deze informatie is voorzien medio 2015 op het moment dat ook de overige vegetatie is aangebracht en medio 2016 als ook helder wordt hoe de aangebrachte vegetatie zich heeft ontwikkeld.

1.3 HUIDIGE STAND VAN ZAKEN

Naast de separaat te ontwikkelen guidelines heeft deze rapportage dus betrekking op een verhandeling over de mogelijkheden tot het gebruik van afwijkend kernmateriaal voor de aanleg van een voorland (Hoofdstuk 2) en de mogelijkheden tot het realiseren van vegetatie (Hoofdstuk 3).

Op dit moment wordt specifiek ervaring opgedaan over het initiëren van vegetatie. De resultaten hiervan komen terug in de door Deltares/Alterra opgestelde werkrapportage (Deltares/Alterra, 2017) en zullen in een later stadium worden opgewaardeerd tot een aantal bevindingen en aanbevelingen in dit deel van de rapportage.

De eerste inzichten zijn opgenomen in Hoofdstuk 8.3 van het hoofdrapport (zie pagina 147).

2

Gebruik ander kernmateriaal

2.1 INLEIDING

Bij de aanleg van de proefsectie bleek het gebruik van ander kernmateriaal niet opportuun door gebrek aan zowel ruimte als tijd. Voor een efficiënte inzet van ander materiaal zou het tenminste moeten gaan om veel grotere hoeveelheden en bovendien vraagt het kwalitatief mindere materiaal om extra consolidatietijd. Denkbaar is dat dit wel tot de mogelijkheden behoort bij een meer grootschaliger voorlandversterking.

Dit onderwerp is uitgebreider aan de orde gekomen binnen de guideline aanleg (zie Paragraaf 6.1 en Bijlage 5) en dit vereist een nadere analyse waarbij moet worden gekeken naar de schaal van de oplossing, de materiaaleigenschappen en oorsprong (welke winlocaties), alsmede de mogelijke werkmethoden.

Duidelijk is dat hier een directe relatie ligt met andere in het Markermeer en IJsselmeer lopende en komende projecten. Uitwisseling van kennis speelt hier dus een belangrijke rol. In dit verband er ook gezocht naar mogelijkheden om de opgedane kennis en inzichten interactief te delen met de gerelateerde projecten.

2.2 NADERE UITWERKING

Nog aan te vullen na afronding guideline aanleg.

3

Initiatie van vegetatie

3.1 INLEIDING

Op dit moment wordt specifiek ervaring opgedaan over het initiëren van vegetatie. De resultaten hiervan komen terug in de door Deltares/Alterra opgestelde werkrapportage (Deltares/Alterra, 2017) en zullen in een later stadium worden opgewaardeerd tot een aantal bevindingen en aanbevelingen in dit deel van de rapportage.

De eerste inzichten zijn opgenomen in Hoofdstuk 8.3 van het hoofdrapport (zie pagina 147).

3.2 RANDVOORWAARDEN: MAXIMAAL TOELAATBARE GOLF VOOR RIETVEGETATIE

3.2.1 ALGEMEEN

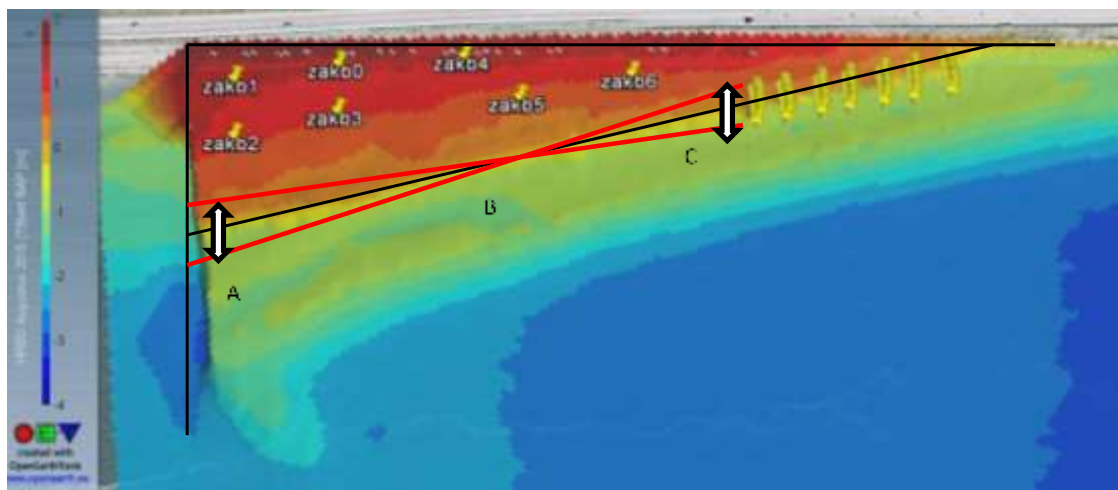
In dit kader is ook gekeken naar de relatie tussen golfaanval en de mogelijkheden voor het aanwezig zijn van riet. Duidelijk is immers dat inspanningen voor het initiëren van vegetatie wel moeten samengaan met de juiste randvoorwaarden voor stabiele aanwezigheid van bijvoorbeeld riet. Als riet onder bepaalde golfomstandigheden überhaupt niet in stand kan blijven heeft het immers ook zeer weinig zin om deze aan te planten.

3.2.2 VEGETATIE OP DE PROEFSECTIE

Op de pilot houtribdijk is vegetatie aangeplant in het voorjaar van 2015, bestaande uit zowel riet als wilgenstruweel.

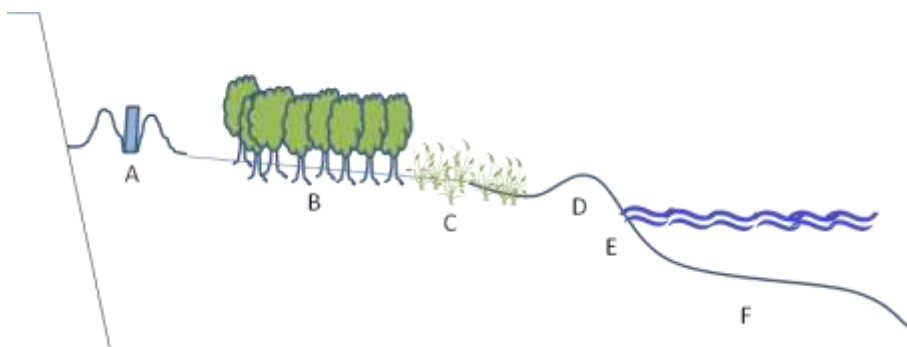
Rond de oeverlijn heeft zich tot op heden geen riet weten te vestigen, en is ook het geplante riet niet aangeslagen. Dit is met name te wijten aan de grote golfdynamiek op de locatie, die zorgt voor grote morfologische veranderingen rond de oeverlijn afhankelijk van de inkomende golven.

De oeverlijn is dynamisch in langsrichting en draait afhankelijk van de windrichting tijdens storm-events bij met de damwand (A) en de rijsmatconstructie (B) als opsluitranden. Hierdoor vindt er grofweg een draaiing plaats rondom een middelpunt 'B' (zie Figuur II - 3-1).



Figuur II - 3-1 Bovenaanzicht van dynamische oeverlijn, met grootste uitwijkingen rond de damwand (A) en bij de rijsmatten (C) rond een meer constant middelpunt (B).

Op de plek waar vegetatie is aangeplant is het dwarsprofiel schematisch weergegeven in Figuur II - 3-2, met het stuifscherm (A), het wilgenstruweel (B), het aangeplante riet (C), de swash-bar (D), een steil oevertalud van ongeveer 1 : 10 en een onderwaterplateau op circa NAP-1,0 m (F).



Figuur II - 3-2 Schematische dwarsdoorsnede van de proefsectie van de dijk (links) tot in het water (rechts).

Tijdens stormcondities komt het water tot over de swash-bar (meestal minder dan 24 uur), maar onder normale condities staat alle vegetatie op het stuk zonder golfaanval droog.

3.2.3 MAXIMAAL TOELAATBARE GOLFHOOGTE OP BUITENRAND RIETVEGETATIE

Om een beter grip te krijgen op de maximale golfaanval die vegetatie kan weerstaan in de oeverzone is een studie gedaan naar de maximaal toelaatbare inkomende golven aan de buitenrand van de rietvegetatie, en de invloed van de waterdiepte en het taludprofiel op de inkomende golfhoogte.

Hiervoor is een vergelijkend onderzoek in referentiemeren met natuurlijk voorkomende rietvegetatie uitgevoerd. Er zijn vier referentiemeren geselecteerd: het IJsselmeer en het Zwartemeer in Nederland, het Peipsimeer in Estland, en het Balatonmeer in Hongarije. De karakteristieken van deze meren zijn samengebracht in Tabel II - 3-1.

Meer	IJsselmeer	Zwarte Meer	Peipsi	Balaton
Locatie	Netherlands	Netherlands	Estonia / Russia	Hungary
Gemiddeld oppervlak (km ²)	1139	18.1	3555	597
Kustlijn (km)	229.5	35.2	875	236
Gemiddelde diepte (m)	4.4	1	7.1	3.3
Maximale diepte (m)	22.2	10.4	15.3	12.2
Volume (km ³)	5.1	0.03	25.07	1.9
Water peil	Omgekeerd	Omgekeerd	Natuurlijk	Natuurlijk, gereguleerd met max. en min.
Locatie rietvegetatie	Oostelijke oever	Grootste deel van de oever	Oostelijke zuidelijke oevers	en Noordelijke en westelijke oevers

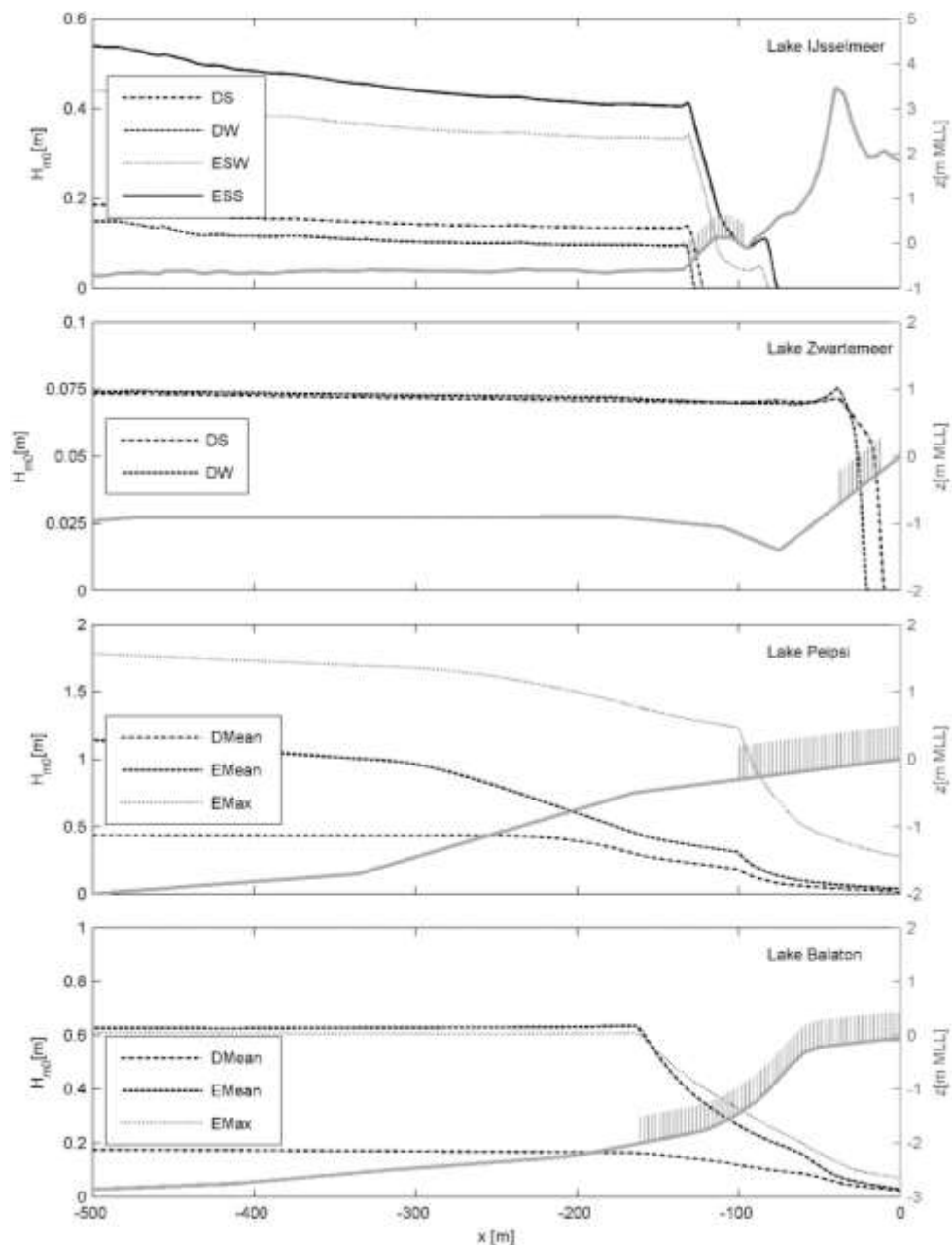
Tabel II - 3-1 Beschrijving van de referentiemerren (Bron: Van Eerden et al., 2007; Zlinszky, 2013).

Voor alle referentiemerren zijn voor zoveel mogelijk oeverlocaties data verzameld over de breedte van de rietzone loodrecht op de oever, de maximale diepte waarop het riet voorkomt, het waterpeil, de wateropzet bij extreme condities (~1x per jaar voorkomende storm), de golfhoogte en de golfperiode in het open water, en het taludprofiel.

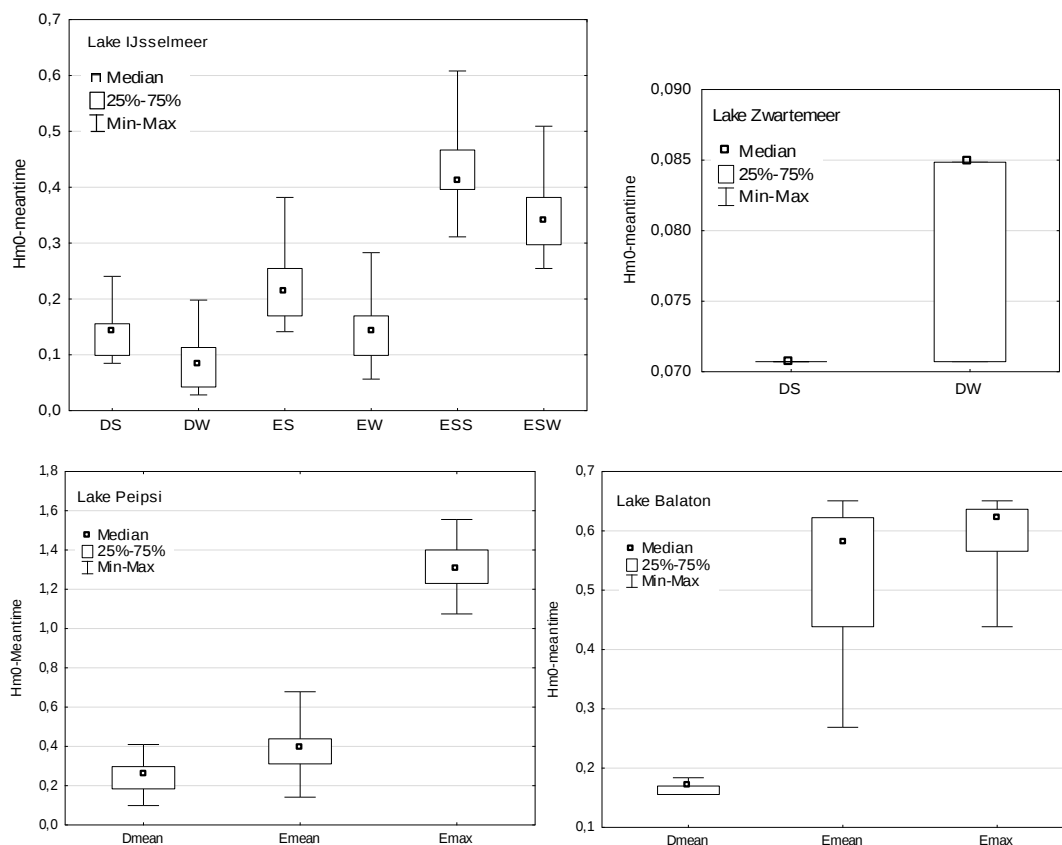
Deze data zijn vervolgens ingevoerd in het hydrodynamische model XBEACH, waarmee de invloed van de golven op de zeekust kan worden gesimuleerd. Het model kan worden toegepast bij meren, omdat in dit onderzoek alleen hydrodynamische berekeningen zijn gedaan en deze berekeningen voor meren niet anders zijn dan voor zee-systemen. Met het model is voor de referentiemerren de inkomende golfhoogte aan de buitenrand van de rietvegetatie berekend, evenals de invloed van de wateropzet op de inkomende golfhoogte (zie Figuur II - 3-3). Dit is gedaan voor zowel dagelijkse als extreme condities.

Meer	Conditie	Z _{s0} (m)	H _{m0} (m)	T _p (s)
IJsselmeer	Dagelijkse condities zomer (DS)	-0.20	0.33	2.5
	Dagelijkse condities winter (DW)	-0.40	0.58	3.0
	Extreme condities zomer (ES)	-0.20	1.57	4.7
	Extreme condities winter (EW)	-0.40	1.57	4.7
	Extreme + opzet zomer (ESS)	0.32	1.57	4.7
	Extreme + opzet winter (ESW)	0.12	1.57	4.7
Zwarte Meer	Dagelijkse condities zomer (DS)	-0.20	0.09	2.1
	Dagelijkse condities winter (DW)	-0.40	0.09	2.1
Peipsi	Dagelijkse condities, gemiddeld waterpeil (DMean)	0	0.50	3
	Extreme condities gemiddeld waterpeil (EMean)	0	2.35	6.6
	Extreme condities max. water peil (EMax)	1.76	2.35	6.6
Balaton	Dagelijkse condities, gemiddeld waterpeil (DMean)	0	0.2	2.5
	Extreme condities gemiddeld waterpeil (EMean)	0	0.7	4.3
	Extreme condities max. water peil (EMax)	0.35	0.7	4.3

Tabel II - 3-2 Gebruikte modelscenario's voor inkomende open-water golfcondities en waterstanden.



Figuur II - 3-3 Simulaties van golfhoogte-uitdoving in relatie tot talud en vegetatie bij verschillende golf- en waterpeil scenario's voor een geselecteerde locatie per meer (zie tabel 2 voor de uitleg van de scenario's).



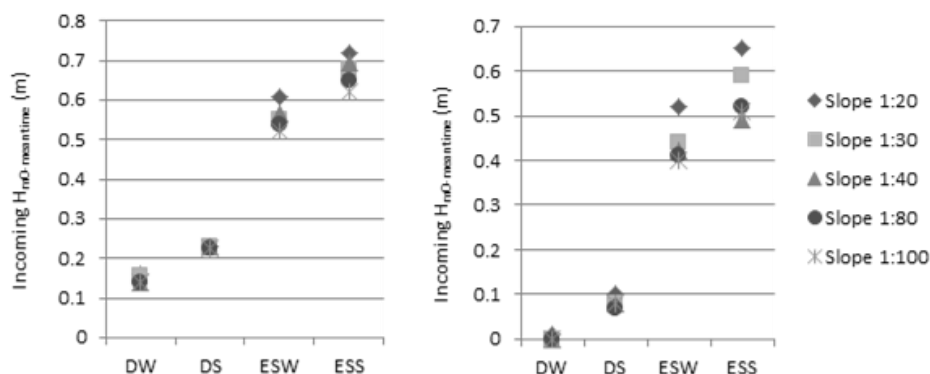
Figuur II - 3-4 Range van inkomende golfhoogte aan de buitenrand van het rietveld voor verschillende scenario's.

Uit de resultaten blijkt dat voor nieuwe vooroevers de maximaal toelaatbare golfhoogte aan de buitenrand van de rietvegetatie onder dagelijkse condities ongeveer 0,20 m bedraagt, en onder extreme condities ongeveer 0,60 m. De resultaten laten duidelijk het dempende effect zien van de ondiepe vooroevers van de referentiemeren op de inkomende golfhoogte, en de vermindering van dit effect bij een wateropzet.

Deze resultaten kunnen gebruikt worden om een inschatting te maken van de mogelijk beste helling voor het creëren van een acceptabele golfconditie voor nieuwe vooroevers. Hiervoor zijn we ervan uit gegaan dat het talud vlak blijft (en dus niet zoals nu op de proefsectie met een swash-bar – scherpe oeverlijn en onderwatertalud) en dat vegetatie tot op ofwel een diepte van 60 cm weet te groeien, ofwel tot een diepte van 30 cm.

Talud	Conditie	Zs0 (m) gemiddeld meerpeil	Hm0 (m)	Tp (s)	Max. standdiepte riet gemiddeld meerpeil (m) t.o.v.
1:20 /	Dagelijkse condities zomer (Ds)	-0.20	0.33	2.07	-0.60 / -0.30
1:30 /	Dagelijkse condities winter (DW)	-0.40	0.58	2.5	-0.60 / -0.30
1:40 /	Extreme condities + opzet zomer (ESS)	0.32	1.57	4.7	-0.60 / -0.30
1:80 /	Extreme condities + opzet winter (ESW)	0.12	1.57	4.7	-0.60 / -0.30
1:100					

Tabel II - 3-3 Model scenario's voor het ontwerpen van nieuwe vooroevers.



Figuur II - 3-5 Inkomende golfhoogte bij verschillende hellingen voor de 4 modelscenario's zoals in tabel 3 beschreven.

Uit de simulaties voor nieuw aan te leggen vooroevers blijkt dat bovengenoemde maximale inkomende golfhoogten niet worden overschreden als een talud van 1 : 80 wordt toegepast. Deze simulaties zijn echter gebaseerd op een windkracht van 8-9 Bft, terwijl zwaardere stormen geregeld voorkomen in Nederland. Daarnaast zien we nu op de proefsectie dat inkomende golven hoger zijn en dat de swashbar en steile oeverlijn niet in lijn zijn met de aannames in deze berekeningen van een vlak talud. Echter, als het lukt om een zachte helling aan het begin van het groeiseizoen gereed te hebben, en direct te kunnen beplanten, bijvoorbeeld middels voorbegroeide vegetatiematten, is de kans op het vestigen van vegetatie mogelijk beter dan tot nu toe op de proefsectie zelf is gerealiseerd.

Daarnaast is de huidige pilot aangelegd op een locatie die een exceptioneel sterk dagelijks golfregime heeft. Op andere locaties in het Markermeer (bijvoorbeeld aan de Noord-Hollandse Kust) zijn de dagelijkse golfcondities minder extreem, en is het misschien wel mogelijk hier (water-)rietvegetatie te realiseren.

Daarnaast is er in deze studie niet gekeken naar de morfologische veranderingen van het talud onder invloed van bijv. verschillende korrelgroottes en golfcondities.

3.3 NADERE UITWERKING

Nog aan te vullen.

4

Gerelateerde producten

4.1 LESSONS-LEARNED VERGUNNINGEN-TRAJECT (ZIE BIJLAGE 2)

De tijdens de voorbereiding van de aanleg met betrekking tot de vergunningen opgedane ervaringen zijn als separaat product van deze pilot opgenomen in Bijlage 2 (zie pagina 247) van deze rapportage.

Inhoud rapportage conform werkplan

Binnen deze taak zullen de tijdens de voorbereiding van de pilot met betrekking tot het vergunningen-traject opgedane ervaringen worden vastgelegd. Daarbij zal onder andere worden ingegaan op de wijze waarop de in een Natura2000-gebied benodigde vergunningen toch relatief snel konden worden verkregen.

Deze ervaringen zullen worden aangevuld met informatie die is ontleend aan een aantal interviews met de bij deze procedures betrokken partijen/personen. Het op een rij zetten van deze ervaringen is toeleverend aan de vraag hoe een waterkeringbeheerder het vergunningentraject van een grootschalige versterking het best kan inrichten.

Dit resultaat zal worden opgeleverd in de vorm van een notitie. De oplevering van deze rapportage is voorzien in het vroege voorjaar van 2015.

Naast het opleveren van de ‘lessons-learned’ van het voor de aanleg van de proefsectie doorlopen vergunningenproces, is de volgende stap de procedures voor een toekomstig vergunningen traject ten behoeve van een meer grootschaliger voorlandoplossing (voor bijvoorbeeld een groot deel van de Houtribdijk) in kaart te brengen. De resultaten hiervan zijn opgenomen in de guideline vergunningen (zie volgende paragraaf).

Huidige status

Dit product is inmiddels afgerond.

4.2 GUIDE-LINE VERGUNNINGEN (ZIE BIJLAGE 3)

De tijdens de aanleg van de zandaanvulling opgedane ervaringen zijn als separaat product van deze pilot opgenomen in Bijlage 3 (zie pagina 249) van deze rapportage.

Inhoud rapportage conform werkplan

Doel van deze guideline is het opleveren van een leidraad voor het te doorlopen vergunningen proces voor het realiseren van voorlandoplossingen. Er zal worden beschreven welke vergunningen er spelen en op welke wijze het vergunningentraject zo soepel mogelijk kan worden doorlopen. Onderdeel daarvan is

ook het inventariseren van de eisen die de vergunningen aan het ontwerp stellen en de wijze waarop er in het ontwerp rekening mee kan worden gehouden.

Daarbij zal gebruik worden gemaakt van de reeds vastgelegde ervaringen aangevuld met een overzicht van alle regionale, relevante vergunningen en met een op basis van interviews verkregen visie op de vergunningsproblematiek. Op deze wijze worden ook inzichten verkregen in hoeverre eerdere ervaringen representatief zijn voor bijvoorbeeld het project Houtribdijk of ander potentiële voorlandprojecten nabij de grote meren.

Ook zal aandacht worden besteed aan na realisatie relevante vergunningen en voorschriften. Deze kunnen immers een groot effect hebben op het beheer en onderhoud van een dergelijk type waterkering.

Huidige status

Dit product is inmiddels als definitief concept beschikbaar (zie ook Bijlage 3). Planning is om deze in definitieve vorm in april 2016 beschikbaar te maken.

4.3 LESSONS-LEARNED AANLEG (ZIE BIJLAGE 4)

De tijdens de aanleg van de zandaanvulling opgedane ervaringen zijn als separaat product van deze pilot opgenomen in Bijlage 4 (zie pagina 251) van deze rapportage.

Inhoud rapportage conform werkplan

Dit product heeft betrekking op de tijdens de aanleg van de zandaanvulling opgedane ervaringen.

Onderdeel hiervan is ook de analyse van de opgetreden zettingen en de opgetreden verliezen en de mate waarin de in detail ontworpen geometrie daadwerkelijk is gerealiseerd.

Ten aanzien van de zettingen is het bijvoorbeeld de vraag op welke wijze de compensatie voor de verwachte zettingen het best in het ontwerp kan worden meegenomen. Bij de aanleg is er voor gekozen om het te realiseren aanlegprofiel op een iets hoger niveau te leggen, zonder rekening te houden met de tijdens de aanleg zelf optredende zettingen.

Ten aanzien van de opgetreden verliezen doet zich de vraag voor uit welke componenten deze verliezen bestaan (pakkingsverschillen, uitspoeling fijn materiaal, windverliezen, zetting tijdens de aanleg, ...).

Ook een belangrijke vraag is of het geforceerd aanleggen van een bepaald profiel nodig is (of dat het gewoon vanzelf ontstaat) en/of wat er gebeurt als het onderwaterprofiel initieel veel te steil wordt aangelegd.

Voor deze uitwerking zal gebruik worden gemaakt van de ervaringen zoals deze zijn opgedaan in het kader van WP2, aangevuld met de resultaten van een aantal met de aannemerscombinatie te houden interviews. Voor de verdiepende morfologische analyse zal gebruik worden gemaakt van de tijdens de aanlegfase ingewonnen profielgegevens en zettingen alsmede de eerste monitoringsgegevens van na de oplevering.

Dit resultaat zal worden opgeleverd in de vorm van een rapportage, waarin een overzicht is gegeven van de aandachtspunten die bij de aanleg van een voorlandoplossing spelen en de relatie tussen het ontwerp en de (gerealiseerde of te realiseren) aanleg. Een eerste bijdrage hieraan is reeds beschikbaar in de vorm van een interne rapportage van de aannemerscombinatie aan EcoShape.

Huidige status

Dit product is inmiddels afgerond.

4.4 GUIDE-LINE AANLEG (ZIE BIJLAGE 5)

Richtlijnen voor de wijze waarop grootschalige voorlandoplossingen kunnen worden aangelegd zijn als separaat product van deze pilot opgenomen in Bijlage 5 (zie pagina 253) van deze rapportage.

Inhoud rapportage conform werkplan

Dit product heeft betrekking op een guideline waarin wordt beschreven op welke wijze een grootschaliger voorlandoplossing zo adequaat mogelijk kan worden aangelegd en wat daarbij de meest kosteneffectieve uitvoeringsmethodieken zijn. Op basis van interviews met de aannemerscombinatie zal een inventarisatie worden gemaakt van mogelijke uitvoeringstechnieken. Hierbij zal ook rekening worden gehouden met de opschalingseffecten. Afhankelijk van de omvang van het werk zullen andere uitvoeringsmethoden immers haalbaarder worden.

De oplevering van de definitieve versie van deze guideline is voorzien in 2016 om zo de mogelijkheid te bieden dat op handen zijnde versterkingsprojecten hier optimaal gebruik van kan maken. Een interim-versie is medio 2015 gepland. In deze interim-versie zal de vegetatie echter nog niet kunnen worden behandeld.

Huidige status

Dit product is inmiddels als definitief concept beschikbaar (zie ook Bijlage 5). Planning is om deze in definitieve vorm in april 2016 beschikbaar te maken.

Annex III

BEHEER EN ONDERHOUD VAN VOORLAND- OPLOSSINGEN

1 Inleiding

1.1 ALGEMEEN

Dit rapport betreft het basisproduct voor de beheer en onderhoud-gerelateerde informatie en wordt in het werkplan omschreven als rapport III: Basisinformatie beheer en onderhoud.

1.2 INHOUD RAPPORTAGE CONFORM WERKPLAN

1.2.1 INLEIDING

In het werkplan staat beschreven wat de (oorspronkelijke) inhoud van dit onderdeel van de rapportage is. In het volgende is deze opnieuw kort aangehaald.

In deze achtergrondrapportage wordt op basis opgedane ervaringen en data-analyse verslag gedaan van het inzicht in:

- De ontwikkeling van de morfologie (vraag 8);
- De effecten van structurele verliezen.
- De ontwikkeling van de vegetatie (vraag 9);

Omdat er ten aanzien van beheer- en onderhoud in willekeurige versterkingsprojecten een veelheid aan aspecten van belang is, is er voor gekozen om een van de cruciale parameters van een nadere verdieping te voorzien, namelijk het effect van een structureel verlies van materiaal door de aanwezigheid van een gradiënt in het langstransport. Deze is op voorhand niet als onderzoeksvraag geformuleerd, maar verdient wel aandacht met de doorkijk naar grootschaligere toepassing van voorlandoplossingen.

1.2.2 ONTWIKKELING MORFOLOGIE (VRAAG 8)

Binnen deze taak worden de eventuele trends en fluctuaties in de morfologische ontwikkeling van de proefsectie geanalyseerd en beschreven. Een significante trend zal hierbij waarschijnlijk ontbreken als gevolg van het afwezig zijn van een (netto) gradiënt in het langstransport. In dit kader zal ook worden gekeken naar de effecten van windtransport en de hiermee samenhangende morfologische veranderingen.

In de analyse zal gebruik worden gemaakt van de meetgegevens aangaande de morfologie en sedimentologie. Ook de profielverandering ter plaatse van het stuifscherm is hierbij van belang. Deze levert immers informatie over de omvang van het windtransport.

Ook de camera-beelden spelen hierbij een rol. Daarbij moet worden opgemerkt dat de camera's er in eerste instantie zijn geplaatst om de proefsectie in de gaten te houden. Dit heeft zijn meerwaarde al opgeleverd omdat we nu weten als er ongenode gasten op de site zijn (kitesurfers, ganzen) die potentieel schade

kunnen veroorzaken waar we anders geen weet van hebben. Ook effecten van stormschade en kruierend ijs kunnen zo worden bekeken zonder dat er een daadwerkelijk veldbezoek voor nodig is. De analyse van de morfologische ontwikkeling via deze beelden gebeurt vooralsnog kwalitatief. Combinatie met de resultaten van de monitoring (inmetingen) geeft naar verwachting voldoende inzicht in deze ontwikkeling. Mocht uit de eerste analyses echter volgen dat er significante witte vlekken resteren, dan kan overwogen worden om de camerabeelden (achteraf) ook meer kwantitatief te verwerken. De beslissing hierover komt aan de orde bij de jaarlijkse update van het monitoringsprogramma.

1.2.3 VERKENNING LANGSTRANSPOORT-PROBLEMATIEK

Voor met name het onderhoud van een voorland zijn de morfologische ontwikkelingen op korte maar met name langere termijn van groot belang.

De pilot levert echter slechts inzicht in de morfologische ontwikkelingen binnen een min of meer stabiele proefsectie. Door de gekozen configuratie van de proefsectie (loodrecht op invalshoek van de jaargemiddelde golfenergieflux) is immers geen sprake is van een structureel verlies van materiaal in langsrichting. Met andere woorden: de zogenaamde langstransportgradiënt ontbreekt hier.

Voor beheer en onderhoud van andere voorlanden (op andere locaties) kan dit type verlies echter essentieel zijn. In het streven om een generieke guideline te maken voor beheer en onderhoud is hier dan ook sprake is van een witte vlek.

Binnen deze taak zal getracht worden deze witte vlek op te lossen door het uitvoeren van berekeningen met behulp van het XBEACH-model, dit in combinatie met het analyseren van de meer grootschalige ontwikkeling (draaiing) van de proefsectie onder invloed van incidenteel schuin invallende golven. Deze informatie zal worden gebruikt ter kalibratie van de langstransportcomponent van het rekenmodel. Met dit afgeregeld model kan vervolgens een meer realistische schatting worden gegeven van de grootte van het langstransport als functie van bijvoorbeeld de hoek van golfaanval en de aanwezigheid van een bepaalde netto langsstroom. Ook kan op deze wijze het netto langstransport worden gekoppeld aan een lokaal golfklimaat.

Een dergelijke uitwerking is met name van belang voor de komende versterkingen in de meer-omgeving (waaronder de Markermeerdijk en de Houtribdijk). Dit is dan ook de reden dat deze activiteit is toegevoegd aan het oorspronkelijk voorziene werkprogramma.

1.2.4 LESSONS-LEARNED ONTWIKKELING VEGETATIE (VRAAG 9)

Binnen deze taak worden de eventuele trend en fluctuaties in de ontwikkeling van de vegetatie op de proefsectie beschreven. Feitelijk weten we nog niet wat ons de komende vier jaar te wachten staat.

Mogelijk dat beheer (het opnieuw inplanten of verwijderen van te veel (ongewenste) vegetatie, herprofilering, etc.) wel nodig is. De voorkeur gaat echter uit naar het niet ingrijpen omdat dat het meest representatieve en neutrale resultaat geeft. Ingrijpen willen en kunnen we dus niet uitsluiten.⁸

Uit deze analyse moet volgen welke soort vegetatie waar in het dwarsprofiel (niveau t.o.v. waterlijn) onder welke condities (bodemsamenstelling) het best voldoet en wat de verwachte 'evenwichts-omvang' van de vegetatie dan is. Deze laatste is weer afhankelijk van het soort vegetatie.

Ook is inzicht gekregen in de effecten van (ongewenste) begrazing door bijvoorbeeld ganzen op de vegetatie-ontwikkeling. Niet uitgesloten is dat ook het effect van eolisch transport een rol speelt bij de ontwikkeling van vegetatie.⁹

⁸ Het al dan niet actief helpen van de vegetatie blijft afhankelijk van de ontwikkeling ervan dus een punt van aandacht. Mogelijk dat er nog beheerstechnieken als onderdeel van de pilot in samenwerking met beheerders kunnen worden meegenomen.

⁹ Op dit moment zien we al dat een deel van de rijsmatten als zand-invang fungeert (en er daardoor minder vegetatie-ontwikkeling is) ook is er sprake van een profielontwikkeling bij het windscherm.

Mogelijk moet hier de waargenomen ontwikkeling van de vegetatie worden geëxtrapoleerd. Extrapolatie op de langere termijn zal worden gedaan door te kijken naar de daadwerkelijke ontwikkeling in de komende vier jaar en te zien in hoeverre de verschillende aanlegstrategieën hierop van invloed zijn. Voor het in kaart brengen van deze ontwikkelingen zal gebruik worden gemaakt van zogenaamde standplaatsfactoren.

Dit geeft informatie die belangrijk is voor de aanleg elders (heeft het zin om vegetatie bij de aanleg te stimuleren?) en geeft ook een doorkijk naar de te verwachte vegetatie op langere termijn, aan de hand van expert inschattingen en data van andere locaties. Hiervoor is het noodzakelijk om jaarlijks te monitoren. Deze laatste stap is nodig voor het invullen van het benodigde beheer en de hiermee samenhangende kosten alsmede de natuur-waardering (baten).

Voor deze uitwerking zal gebruik worden gemaakt van de meetgegevens aangaande de vegetatie inclusief de uit de camerabeelden afgeleide kwalitatieve informatie.

1.3 HUIDIGE STAND VAN ZAKEN

De aandacht gaat op dit moment uit naar de analyse van de morfologisch ontwikkelingen. Daarbij wordt voortgebouwd op de resultaten van de in het hoofdrapport (Paragraaf 6.2.3) beschreven basisanalyses. De resultaten hiervan zullen worden vastgelegd in Hoofdstuk 2 van dit rapportagedeel. Het daarop aansluitende hoofdstuk gaat in op de langstransporten.

Op dit moment wordt specifiek ervaring opgedaan over de ontwikkeling van de vegetatie. De resultaten hiervan komen terug in de door Deltares/Alterra opgestelde werkrapportage (Deltares/Alterra, 2015) en zullen in een later stadium worden opgewaardeerd tot een aantal bevindingen en aanbevelingen in Hoofdstuk 4 van dit rapportagedeel.

2

Morfologische ontwikkelingen

2.1 INLEIDING

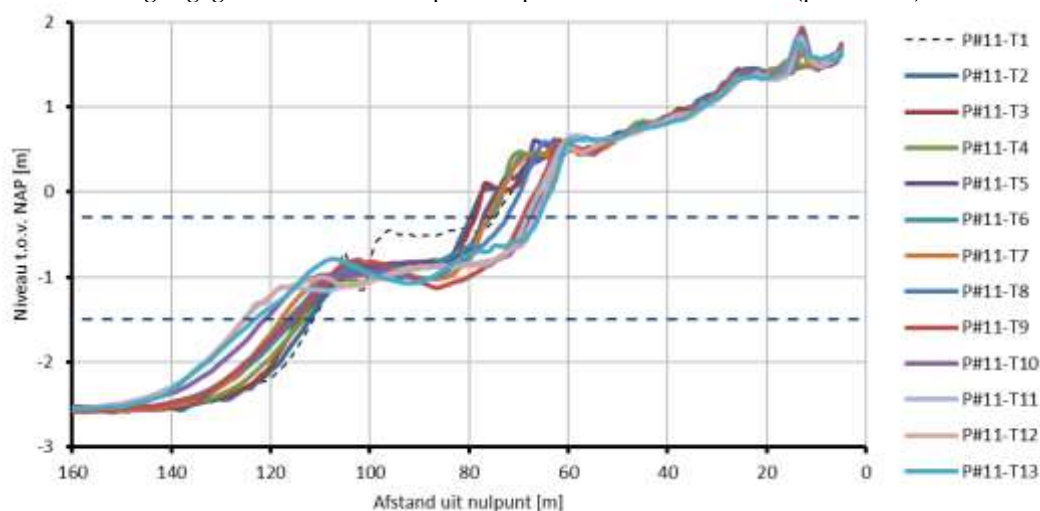
Uit de basisanalyse volgt al dat de morfologische ontwikkeling van de proefsectie een combinatie is van langs- en het dwarstransport door golven en stroom, transport door wind het effect van de zetting van de ondergrond. Voor de eerste twee processen speelt ook de interactie met de aanwezige constructies een rol. Een en ander zal in dit hoofdstuk nader worden uitgewerkt.¹⁰

2.2 ONTWIKKELING OEVERLIJN

2.2.1 OVERZICHT

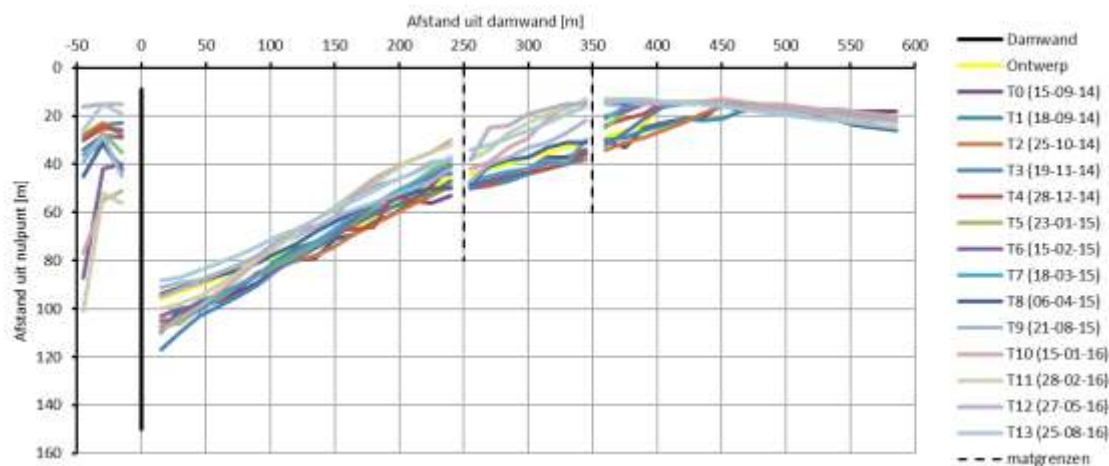
In Figuur III - 2-2 is een overzicht gegeven van de ontwikkeling van de oeverlijn. De positie van deze lijn is gekarakteriseerd door voor elk van de gemeten dwarsprofielen de positie van de doorsnijding met het NAP-0,3 m niveau te bepalen. Dit niveau is het gemiddelde van de in het Markermeer gehanteerde streefpeilen.

De positie van het gehanteerde karakteristieke niveau is te zien in Figuur III - 2-1 waarin de tijdsontwikkeling is gegeven van het dwarsprofiel op 120 m uit de damwand (profiel #11).



Figuur III - 2-1 Ontwikkeling dwarsprofiel in profiel #11 (op 120 m uit damwand) tot en met de laatste inmeting met daarin aangegeven de gehanteerde niveaus voor het bepalen van de karakteristieke posities van oeverlijn (NAP-0,3 m) en onderlaag (NAP-1,5 m).

¹⁰ De voorliggende versie van de rapportage beschrijft de eerste inzichten. Meer volgt in een latere versie van de rapportage.

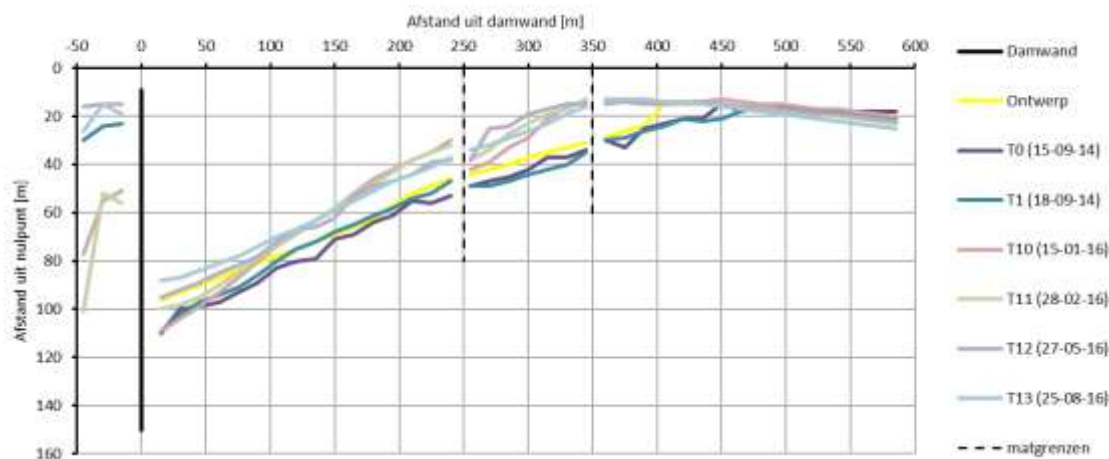


Figuur III - 2-2 Overzicht ontwikkeling positie oeverlijn (positie doorsnijing op NAP-0,3 m) inclusief naastgelegen secties voor alle inmetingen.

In het aldus verkregen bovenaanzicht is onderscheid gemaakt tussen:

- het deel 'links' van de damwand;
- het centrale deel van de proefsectie (van 0 tot 250 m uit de damwandconstructie);
- het deel ter plaatse van de rijsmattenconstructie (van 250 tot 350 m, tussen de beide stippellijnen);
- en het deel 'rechts' hier van.

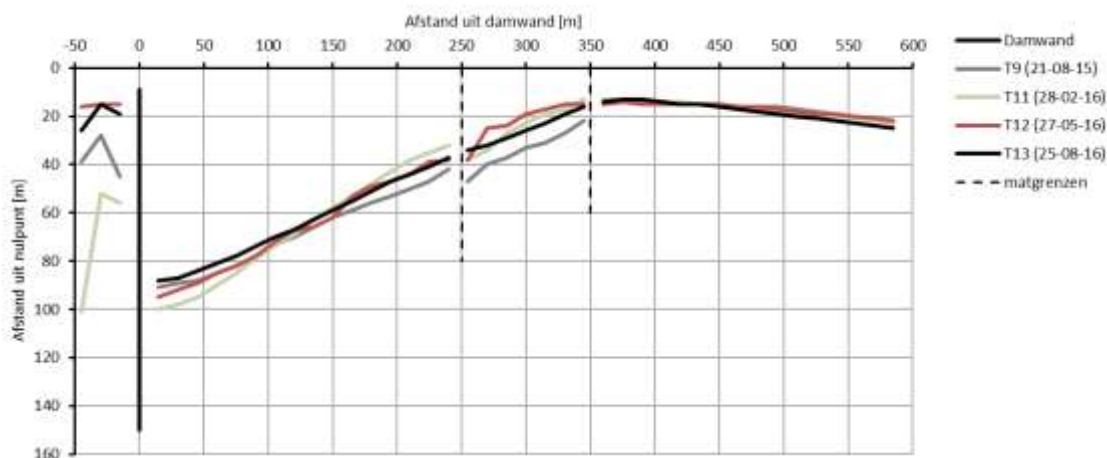
In Figuur III - 2-3 is dezelfde figuur weergegeven met nu slechts een beperkter aantal opnamen, namelijk de eerste twee en de laatste vier. Hierin is duidelijker te zien dat de oeverlijn oostelijk van de rijmatconstructie thans tegen de dijk ligt en het strand hier dus ook is verdwenen.



Figuur III - 2-3 Overzicht ontwikkeling positie oeverlijn (positie doorsnijing op NAP-0,3 m) voor eerste twee en laatste vier inmetingen, inclusief naastgelegen secties.

Ook heeft er ter plaatse van de rijsmatconstructie een grote achteruitgang plaatsgevonden en is er alleen aan de westzijde nog sprake van een duidelijke strandbreedte. De oriëntatie van dit stranddeel was op dit moment dat er nog duidelijk sprake van een restant van de rijsmatconstructie (februari 2016) min of meer

vergelijkbaar met dat van het centrale deel van de proefsectie (tussen 0 en 250 m). Inmiddels (augustus 2016) ligt deze in het verlengde van het linkerdeel van de proefsectie. Dit is goed te zien in Figuur III - 2-4.



Figuur III - 2-4 Overzicht ontwikkeling positie oeverlijn (positie doorsnijding op NAP-0,3 m) voor de laatste inmetingen, met het (verdwindende) effect van de rijnsmatconstructie.

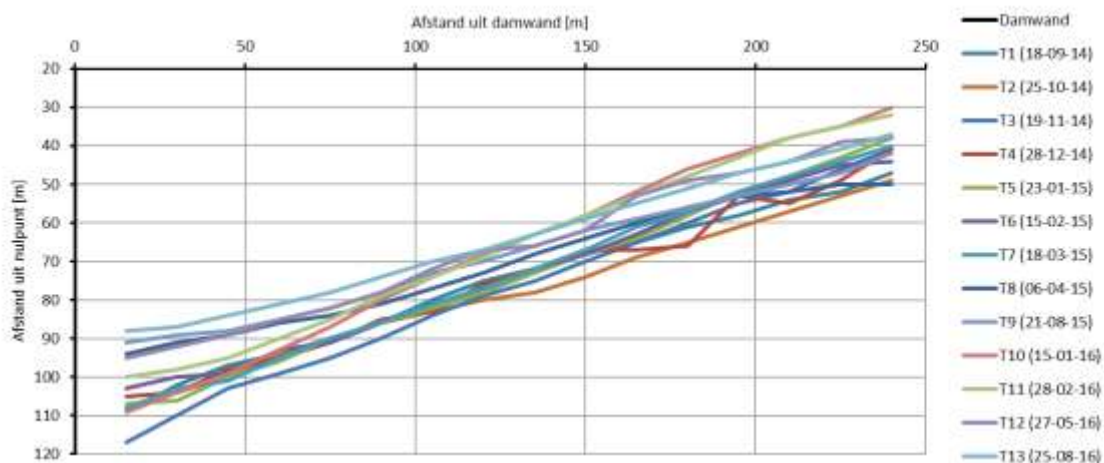
Op het centrale deel is er sprake van een geleidelijke achteruitgang van de waterlijn, maar valt ook de verdraaiing van de oriëntatie van dit kustdeel op.

2.2.2 ONTWIKKELINGEN OP CENTRALE DEEL

2.2.2.1 TIJDONTWIKKELING POSITIE OEVERLIJN

Bij de analyses is met name gekeken naar de ontwikkeling van het centrale deel van de proefsectie omdat deze, qua vrije natuurlijke ontwikkeling, het minst werd beïnvloed door de aanwezigheid van constructies.

De ontwikkeling van de oeverlijn op dit stuk van de proefsectie is in Figuur III - 2-5 nader uitvergroot.

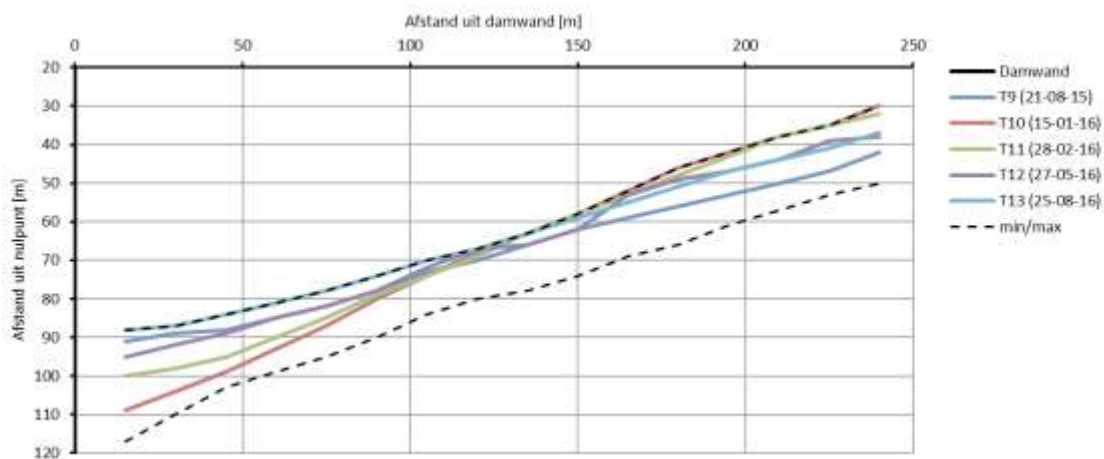


Figuur III - 2-5 Detail positie oeverlijn over centrale deel proefsectie (tussen damwand en rijnsmatconstructie).

Er is zowel qua ligging als globale oriëntatie van deze oeverlijn sprake van een behoorlijke variatie in de tijd. Voor de meest nabij de damwand aanwezige positie (profiel #4 op 15 m uit de damwand) bedraagt

het verschil maar liefst 26 m. Afgezien van deze uitschieter bedraagt de tijdsvariatie op dit kustdeel grofweg 10 tot 20 m, waarbij de meest geringe waarden in de meetraai op 105 en 120 m uit de damwand (profiel #10 en #11) zijn te vinden.

Dit is ook te zien in Figuur III - 2-6 waarin met de zwarte stippellijnen, de zowel de meest 'dijkwaartse' als meest 'meerwaartse' positie is weergegeven.

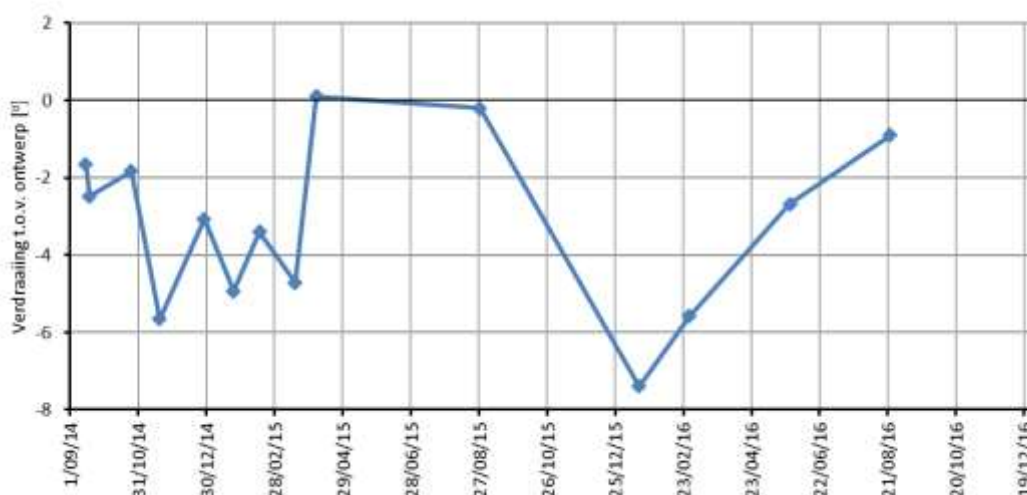


Figuur III - 2-6 Overzicht variatie in oeverlijnposities in centrale deel proefsectie.

Ten zien is dat een deel van de variaties samenhangt met een heroriëntatie van de volledige sectie. Bij de damwand leidt dit bijvoorbeeld tot een achteruitgang van de oeverlijn (profielen voor T8 en T9), een grote vooruitgang (T10) gevolgd door een achteruitgang (vanaf T11).

2.2.2.2 TIJDSONTWIKKELING ORIENTATIE OEVERLIJN

De verdraaiing van de gemiddelde oeverlijn is weergegeven in Figuur III - 2-7 waarin de ontwikkeling van de oriëntatie van een geschematiseerde oeverlijn is gegeven ten opzichte van de ontworpen oriëntatie bij aanleg van de proefsectie.



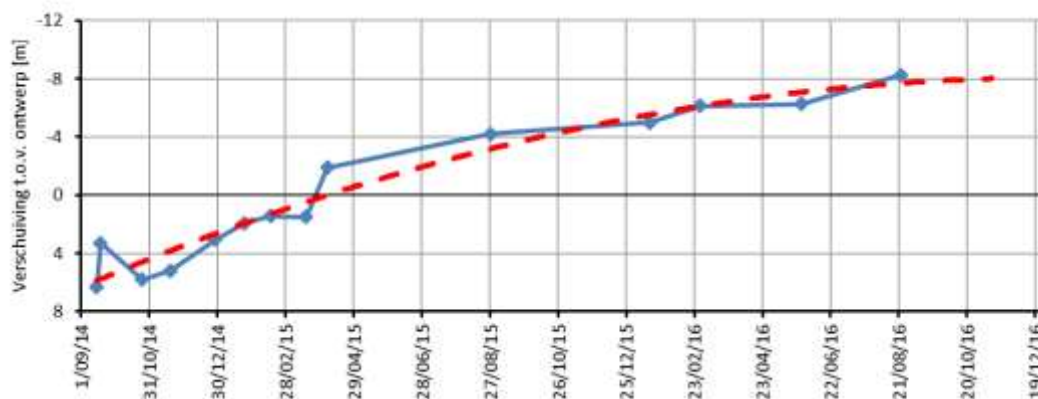
Figuur III - 2-7 Tijdsontwikkeling oriëntatie oeverlijn centrale deel proefsectie als functie van de tijd.

Te zien is dat er tweede periode (van T2 naar T3) als gevolg van oostelijke wind een grotere verdraaiing (tegen de klok in) plaatsvindt (zie ook Figuur 6-18 op pagina 106). De storm van eind maart (met westelijke wind) was verantwoordelijk voor een tegengestelde bijdraaiing. Vervolgens lijkt de oriëntatie gedurende de zomermaanden van 2015 weer stabiel rond de ontwerporiëntatie te liggen. Op basis van zowel de camerabeelden als de gemeten golfval is te zien dat er in december een duidelijke verdraaiing (tegen de klok in) plaatsvindt, waarbij er materiaal bij de damwand wordt afgezet en er bij de rijsmatconstructie veel erosie optreedt. Dit beeld (januari-opname) wordt in de daaropvolgende periode weer deels tenietgedaan. In 2016 vindt er weer een geleidelijke bijdraaiing plaats waardoor er naast de damwand weer een geleidelijke teruggang van de oeverlijn aanwezig is.

2.2.2.3 TIJDSONTWIKKELING KARAKTERISTIEKE POSITIE OEVERLIJN

Figuur III - 2-8 geeft de ontwikkeling van het zwaartepunt van de oeverlijn ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp. Te zien is dat er nog steeds sprake is van een langzame achteruitgang van de oeverlijn op dit kustdeel. Ten opzichte van het ontwerp is de NAP-0,3 m positie nu ongeveer 8 m landwaarts verschoven, daar waar deze in eerste instantie 6 m 'meerwaarts' lag.

Na enige herschikking in de beginfase lijkt er sprake van een afnemende trend waarbij de tijdgemiddelde achteruitgang afneemt van grofweg 10 m per jaar in de beginfase, naar ongeveer 5 m per jaar op dit moment.



Figuur III - 2-8 Tijdsontwikkeling ligging positie zwaartepunt centrale proefsectie.

In hoeverre er inderdaad sprake is van een geleidelijke afname zal de verdere toekomst leren.

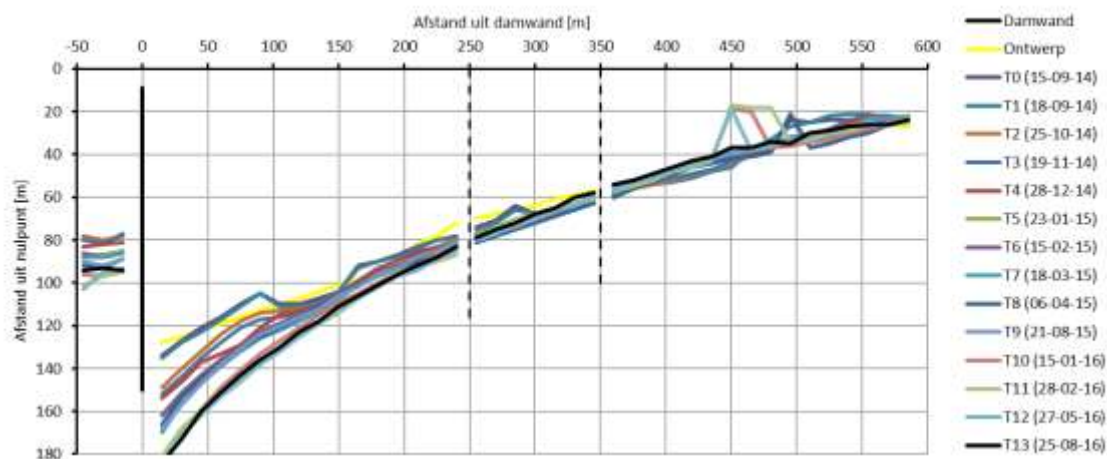
De optredende zettingen spelen hierbij ook een rol. Hierdoor zal er blijvend sprake zijn van een doorgaande achteruitgang (orde 0,5 m per jaar).

De achteruitgang van de oeverlijn hangt natuurlijk nauw samen met de inklemming van de beschouwde centrale sectie tussen de damwand en de rijsmatconstructie. Tot en met mei 2016 leek er sprake te zijn van een steeds meer stabiele situatie. Na het verdwijnen van het steunpunt (zie Figuur III - 2-4) gaat nu ook het voor oostelijke deel van de proefsectie actief meedraaien. In combinatie met de geleidelijke bijdraaiing (met de klok mee) van de proefsectie (zie Figuur III - 2-7) zal er extra materiaal vanuit de centrale sectie verdwijnen en dit dus ook leiden tot een eenmalige sprong in de achteruitgang van de oeverlijn als te zien in de figuur.

2.2.2.4 TIJDONTWIKKELING POSITIE ONDERLAAG

Het uit deze oeverlijn beschikbaar komende volume komt voor een groot deel ten goede aan de diepere laag. Verderop wordt nog iets uitgebreider teruggekomen op deze volumeontwikkeling.

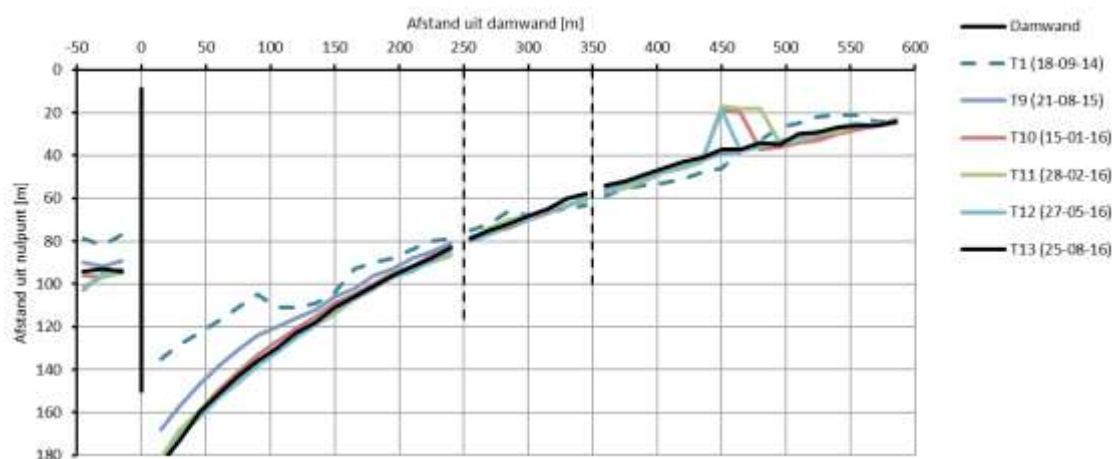
De tijdontwikkeling van de positie van de voor de onderlaag karakteristiek veronderstelde NAP-1,5 m contour is gegeven in Figuur III - 2-9 (zie ook Figuur III - 2-1 voor het gebruikte niveau).



Figuur III - 2-9 Overzicht ontwikkeling positie onderlaag (positie doorsnijding op NAP-1,5 m) inclusief naastgelegen secties voor alle inmetingen.

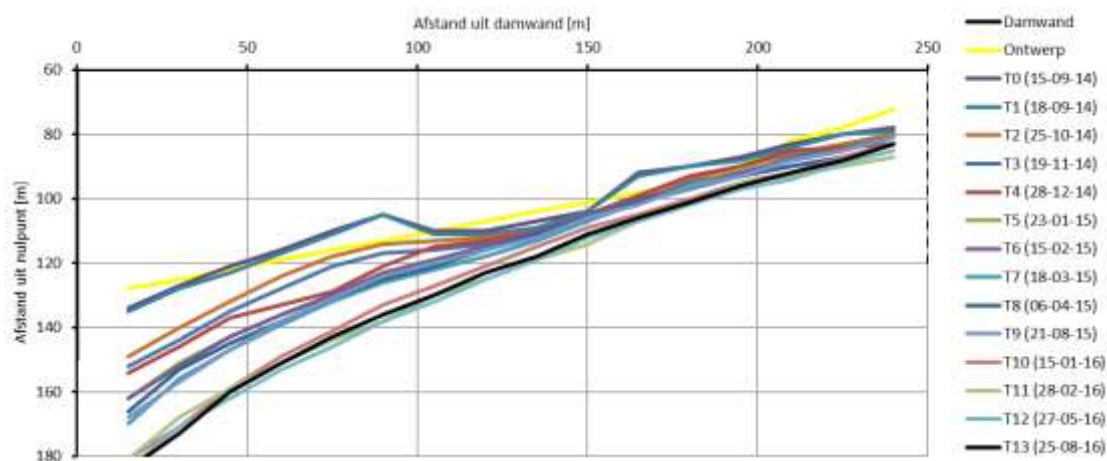
Anders dan bij de bovenlaag/oeverlijn (zie Figuur III - 2-2) is hier over de gehele proefsectie sprake van een continue doorgaande ontwikkeling zonder echte heen-en-weer-sprongen.

Dit is met name goed te zien in Figuur III - 2-9 waarin alleen de eerste en meest recente belijningen zijn gegeven. Te zien is dat zich een doorgaande boog ontwikkelt welke met name in de eerste 100 m vanaf de damwand leidt tot een uitbouw van deze laag. Het hiervoor benodigde volume zal moeten worden onttrokken aan de bovenste laag en daar dus leiden tot de waargenomen achteruitgang.



Figuur III - 2-10 Overzicht ontwikkeling positie onderlaag (positie doorsnijding op NAP-1,5 m) inclusief naastgelegen secties voor initiële en meest recente opnamen.

Deze uitbouw is ook te zien in Figuur III - 2-11 waarin een detail is gegeven van de NAP-1,5 geeft een detail voor het centrale deel.



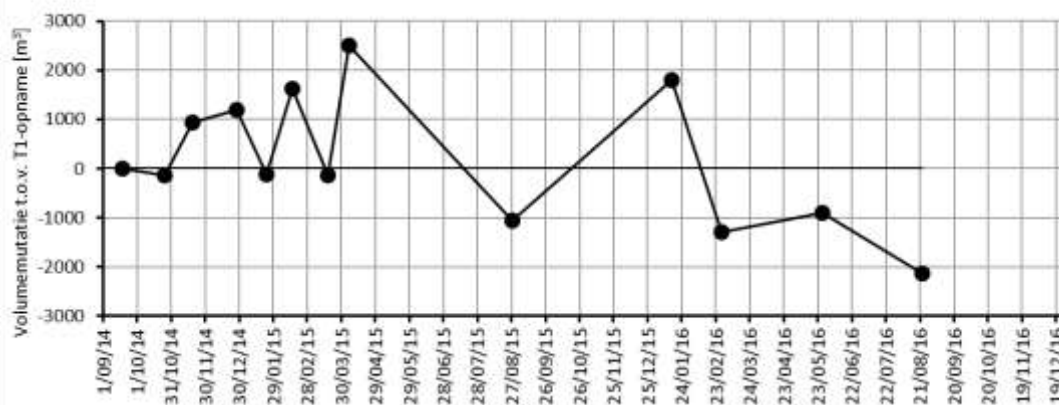
Figuur III - 2-11 Ontwikkeling positie onderlaag (positie doorsnijding op NAP-1,5 m) in centrale deel voor alle inmetingen.

Op basis van deze beelden kan worden geconcludeerd dat er zich over de gehele proefsectie geleidelijk een doorgaande oeverlijn aan het ontwikkelen is welke aan de noordwestzijde aansluit op de damwandconstructie.

2.3 ONTWIKKELING VOLUMES

2.3.1 VOLUME-ONTWIKKELING BINNEN PROEFSECTIE

De ontwikkeling van de totaal binnen de proefsectie aanwezige volume is gepresenteerd in Figuur III - 2-12.



Figuur III - 2-12 Tijdsontwikkeling totaalvolume sinds start inmetingen (T1 op 18 september 2014).

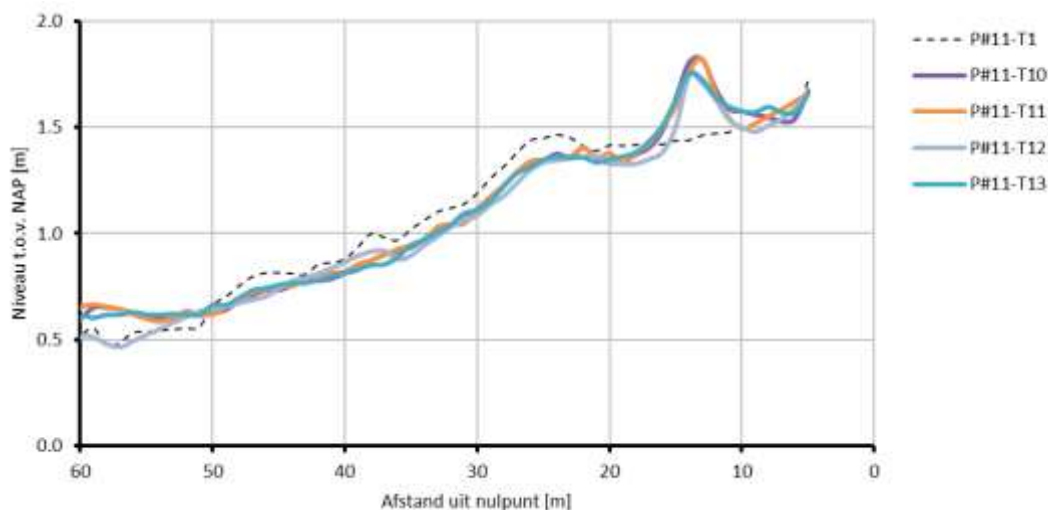
Te zien is dat er over het geheel gehouden geen sprake is van een significante verandering van het door de damwand ingesloten volume. Op het moment van de laatste inmeting was er sprake van een verlies van ongeveer 2.100 m³ ten opzichte van de eerste inmeting bij de start van de monitoringsperiode. Verder valt op dat er van de ene naar de volgende meting soms sprake is van nog onverklaarde sprongen. Deze geven waarschijnlijk wel een goede indicatie over de onnauwkeurigheid van de metingen.¹¹

¹¹ Ter illustratie: Een onnauwkeurigheid van ongeveer 1.000 m³ in het volume leidt, gegeven een oppervlakte van ongeveer 45.000 m² tot een verticaal niveauverschil van ongeveer 2 cm.

2.3.2 EFFECT ZETTINGEN

De omvang van de waargenomen en verwachte zettingen is reeds aan de orde geweest in Paragraaf 6.4 vanaf pagina 117. Op basis van deze informatie zou er momenteel (op basis van de T13-opname) sprake moeten zijn van een zettingsverlies van ongeveer 4.200 m³, waarvan 2.000 m³ tijdens de aanlegfase. Het zettingsverlies sinds de start van de monitoring bedraagt dus 2.200 m³.

Deze laatste volume-mutatie is echter niet expliciet terug te zien in de eerder gepresenteerde tijdsontwikkeling van het totale volume, maar maakt hier wel deel van uit.



Figuur III - 2-13 Vergelijking initiële en meest recente bodemligging ter plaatse van profiel #11 op 120 m uit de damwand voor het droge deel van de proefsectie.

In Figuur III - 2-8 is ter illustratie van het lokale effect van de zettingen, zowel het initieel ingemeten dwarsprofiel (T1) als de meest recente opnamen (T10 tot en met T13) ter plaatse van profiel #11 (op 120 m uit de damwand) gegeven. Te zien is het effect van de opgetreden zettingen (orde 10 cm) op het traject tussen 25 en 50 m uit de dijk.

Deze verlaging kan overigens voor een deel zijn oorzaak hebben gevonden in het verlies door windtransport. Dit deel van het verlies is echter rond de stuifschermconstructie opgevangen.

2.3.3 UITWISSELING OVER RANDEN

Op basis van het verschil tussen het gekwantificeerde verschil tussen de zettingen (orde 2.200 m³ verlies sinds de T1-opname; zie Paragraaf 2.4.5 op pagina 131) en het netto volume (verlies orde 2.100 plus of min 1.000 m³; zie Paragraaf 2.3.1) zou dit leiden tot de conclusie dat er sprake lijkt te zijn van een sluitende sedimentbalans en er niet echt sprake is van geleidelijk aan- of afvoer van de zuidwestzijde of dieper water. Deze voorzichtige constatering moet echter nog nader worden onderbouwd.

2.4 HERVERDELING VOLUMES

2.4.1 INLEIDING

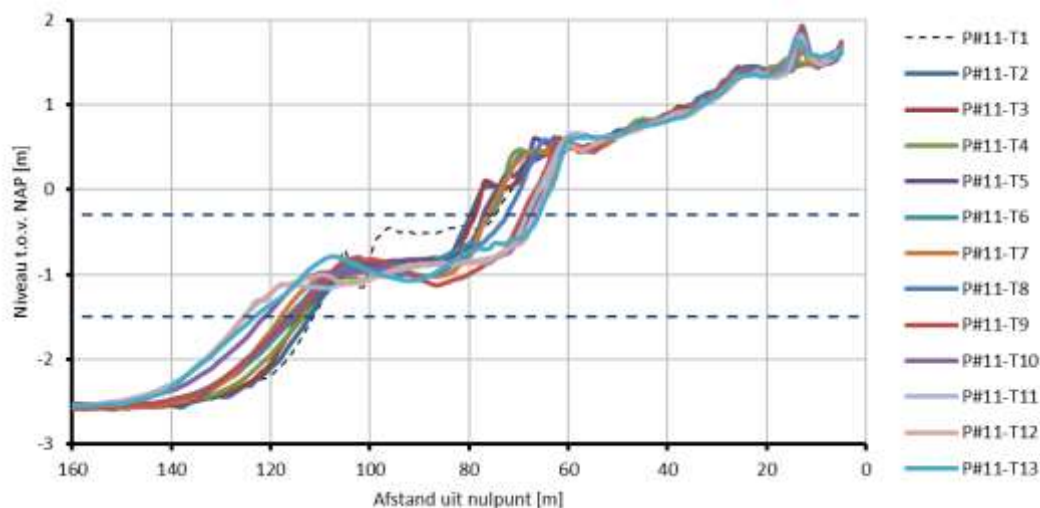
Voor de nadere analyse van de interne herverdeling van het volume binnen de proefsectie is gebruik gemaakt van de definitie van een aantal lagen en vakken. Het idee achter de verschillende lagen is dat de

morfologisch gezien anders worden aangestuurd. Voor de vakken is gekeken naar een logische indeling in langrichting van de proefsectie.

2.4.2 DEFINITIE LAGEN EN VAKKEN

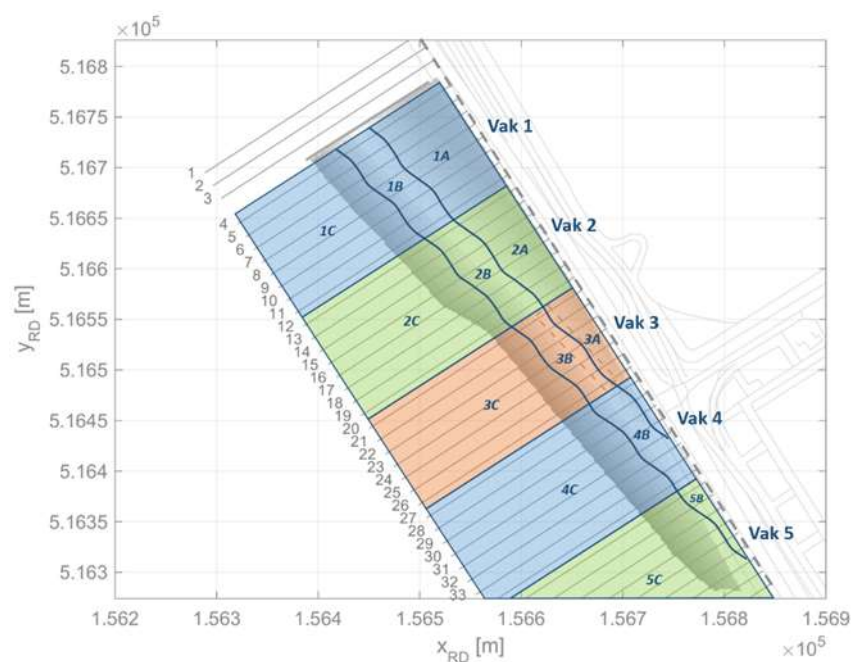
De voor de analyse gehanteerde lagen zijn weergegeven in Figuur III - 2-14. Het gaat daarbij respectievelijk om:

- Een bovenlaag (A) gelegen boven het NAP+0,5 m niveau;
- Een oeverlaag (B) gelegen tussen NAP -1,0 en NAP+0,5 m;
- Een onderlaag (C) gelegen beneden het NAP-1,0 m niveau.



Figuur III - 2-14 Schematische weergave van de gehanteerde definities voor de bepaling van de verticale verdeling van de volume-vakken. Er is onderscheid gemaakt tussen 3 lagen: [A] boven NAP +0.5 m, [B] tussen NAP-1 m en NAP+0.5 m, [C] onder NAP-1 m.

De in langrichting gehanteerde vak-indeling is gepresenteerd in Figuur III - 2-15. De vakken 1 en 2 vormen samen de zogenaamde 'centrale sectie' met een totale breedte van 250 m welke (in ieder geval tot aan de zomer van 2016 aan beide zijden is opgesloten. Vak 3 is 100 m breed en heeft betrekking op het vak met de (initieel aangelegde) rijsmattenconstructie. De vakken 4 en 5 kunnen gezien worden als het zogenaamde 'restvak'.



Figuur III - 2-15 Schematisch overzicht van de gehanteerde indeling van volume-vakken in het studiegebied.

De rechte lijnen in Figuur III - 2-15 geven aan dat de begrenzingen van het betreffende vak 'geografisch' zijn bepaald. De golvende lijnen geven aan dat de begrenzingen zijn bepaald op basis van verticale niveaus (en dus afhankelijk zijn van de profielligging).

In Tabel III - 2-1 zijn de opgetreden volumeverschillen tot en met de laatste inmeting samengevat.

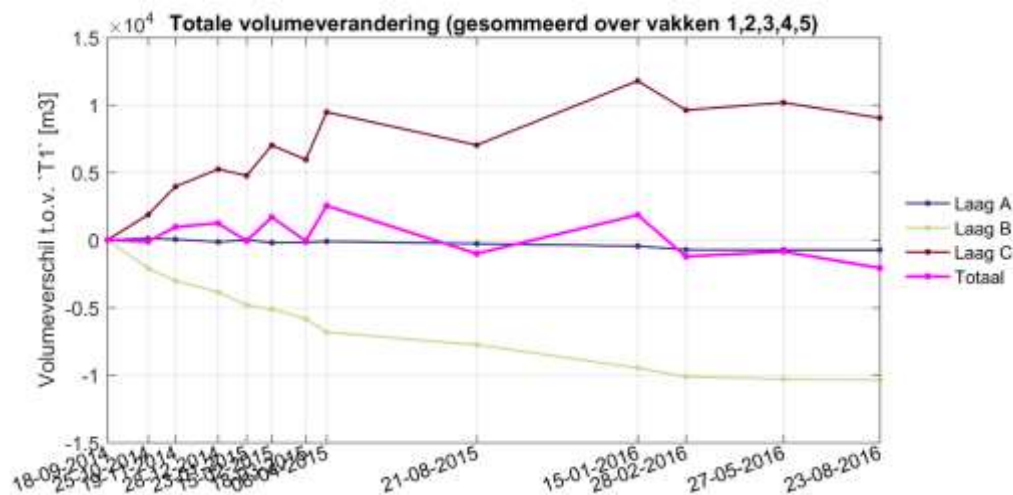
Laag	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 5	Totaal
Laag A	-337	-229	-167	-1	0	-735
Laag B	-1863	-2632	-3307	-2460	-115	-10378
Laag C	6430	2254	677	-684	356	9033
Totaal	4230	-607	-2798	-3145	240	-2080

Tabel III - 2-1 Overzicht volumeverschillen ten opzichte van T1-opname tot en met inmeting T13.

Te zien is dat het totale verlies ongeveer 2.100 m³ bedraagt.

2.4.3 VOLUME-ONTWIKKELING PER LAAG

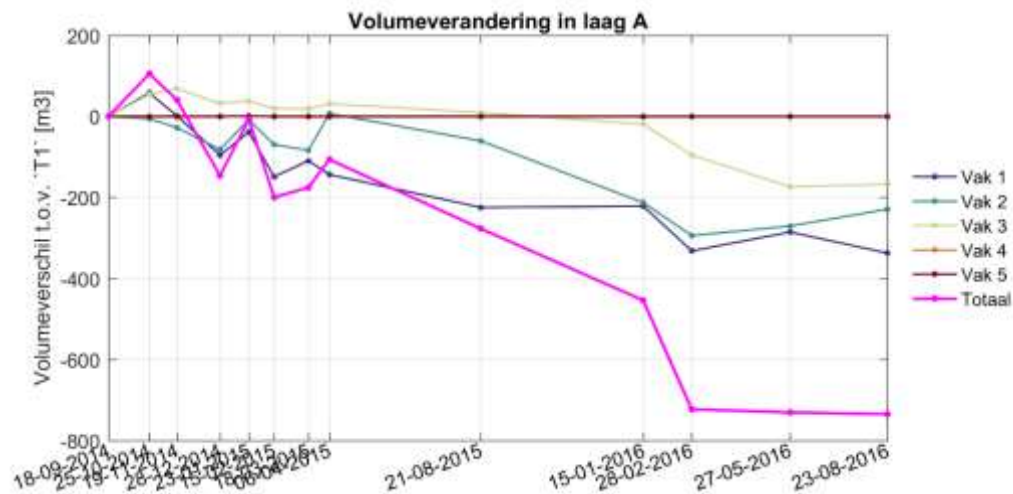
In Paragraaf 2.3 is de ontwikkeling van het totale volume (zie ook Tabel III - 2-1) al gepresenteerd. Hetzelfde resultaat, maar dan met een opsplitsing naar de verschillende lagen is te zien in de volgende figuur.



Figuur III - 2-16 Ontwikkeling volume per laag (A, B en C) en gesommeerd over alle lagen.

Te zien is dat de bovenlaag (laag A) geleidelijk een beperkte hoeveelheid materiaal kwijtraakt (zie ook Figuur III - 2-8), terwijl de oeverlaag (laag B) significant materiaal verliest en de onderlaag (laag C) juist materiaal wint. Dit is in lijn met de eerdere constatering. Het totale verlies van oever naar onderlaag bedraagt ongeveer 9.000 m³ (T13-opname). Dit is terug te vinden in de volumetoename in deze laatste laag. Het verlies uit laag A en B is een combinatie van dit 'horizontale' verlies en het 'verticale' verlies door zetting.

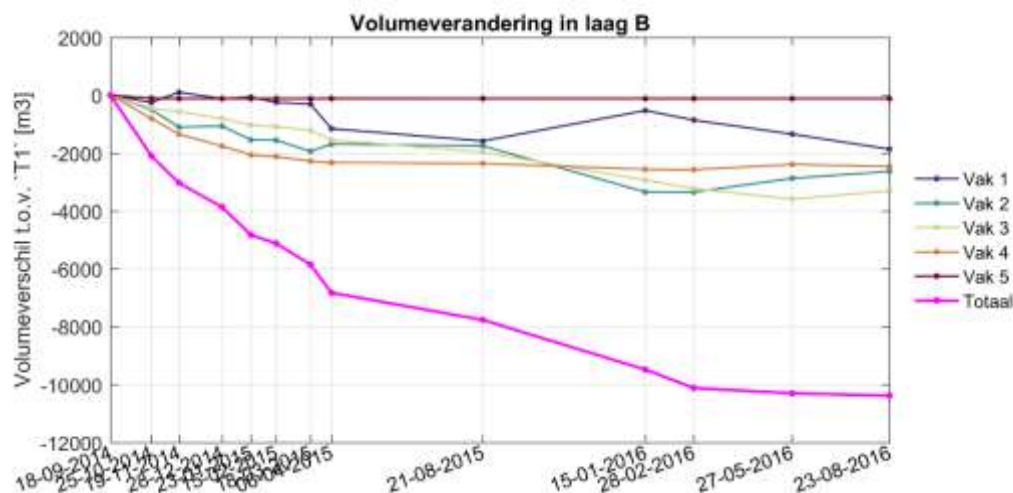
De ontwikkeling per individuele laag (en deze weer onderverdeeld over de verschillende vakken) is gegeven in Figuur III - 2-17 tot en met Figuur III - 2-19.



Figuur III - 2-17 Ontwikkeling volume bovenlaag (laag A) per vak en gesommeerd over alle vakken.

In Figuur III - 2-17 is te zien dat in vak 3 (ter plaatse van de rijsmatconstructie) vanaf het voorjaar van 2016 een duidelijke afname te zien is van de volumehoeveelheid, dit als gevolg van het verdwijnen van de rijsmatconstructie en het daarmee bloot komen te liggen van het er achter gelegen profieldeel. Dit verklaart ook de sprong in het totale verlies uit deze laag. Het mede door zettingen geïnitieerde verlies uit

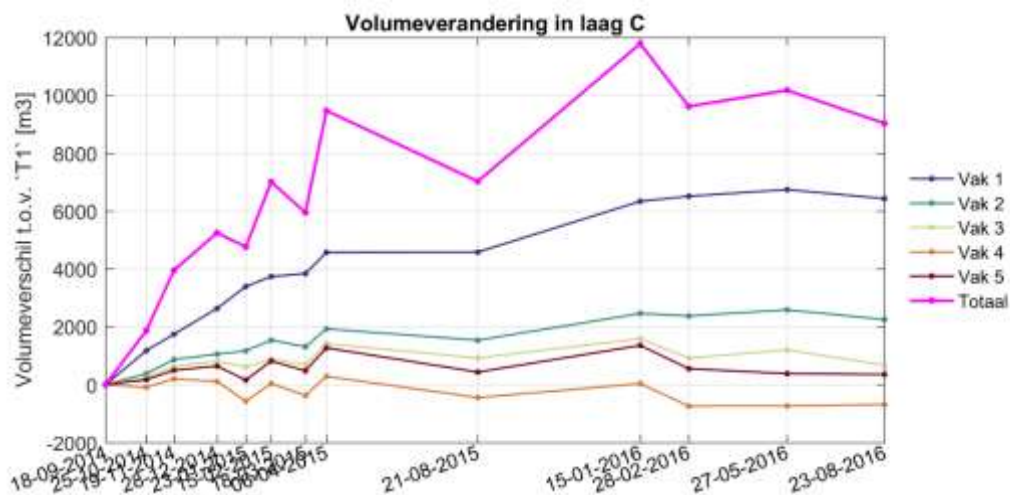
de bovenlaag in vak 1 vertoont een negatief exponentieel verloop met gemiddeld genomen een in de tijd afnemende mate van verlies (750 m³ per augustus 2016).



Figuur III - 2-18 Ontwikkeling volume oeverlaag (laag B) per vak en gesommeerd over alle vakken.

Voor wat betreft de ontwikkeling van de volumes in de oeverlaag (Figuur III - 2-18) is te zien dat er in vak 5 natuurlijk niets gebeurd (omdat er initieel ook al geen zand lag), de erosie in vak 4 zich reeds eind 2015 heeft gestabiliseerd op een niveau waarbij er geen zand meer aanwezig was en de erosie van vak 3 (het vak met de rijmatconstructie) min of meer geleidelijk verloopt (orde 1.500 m³/jaar). Dit laatst gaat door tot het moment dat dit vak ook min of meer leeg is en qua morfologie en oriëntatie aansluit op de vakken 1 en 2. Beschouwing van de volumeontwikkeling in de laatste vakken (vak 1 en 2 tussen damwand en opsluitconstructie) laat zien dat het gecombineerde verlies zich min of meer lijkt te stabiliseren en dat er sprake is koppeling waarbij een af- of toename van het verlies in het ene vak samengaat met een vergelijkbare toe- of afname van het verlies in het andere vak. Dit komt door het steeds bijdraaien van de oeverlijn in dit vak.

Voor de oeverlaag zijn de volumeverliezen voor de verschillende vakken gelijkwaardig van omvang (afgezien van vak 5), hetgeen duidt op een ontkoppeling van de dwarstransport- en langstransportverliezen.

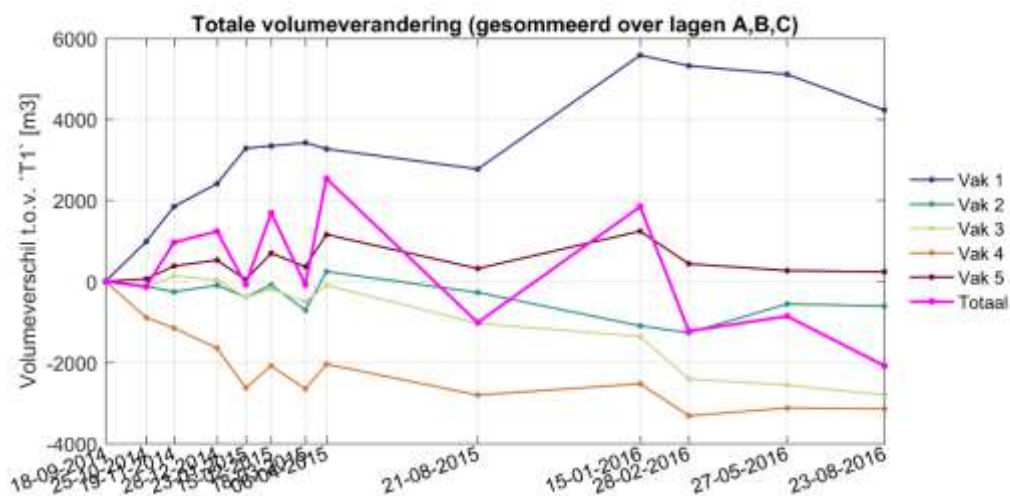


Figuur III - 2-19 Ontwikkeling volume onderlaag (laag C) per vak en gesommeerd over alle vakken.

De volumetoename in de onderlaag (Figuur III - 2-19) vindt primair plaats in het naast de damwand gelegen vak 1.

2.4.4 VOLUME-ONTWIKKELING PER VAK

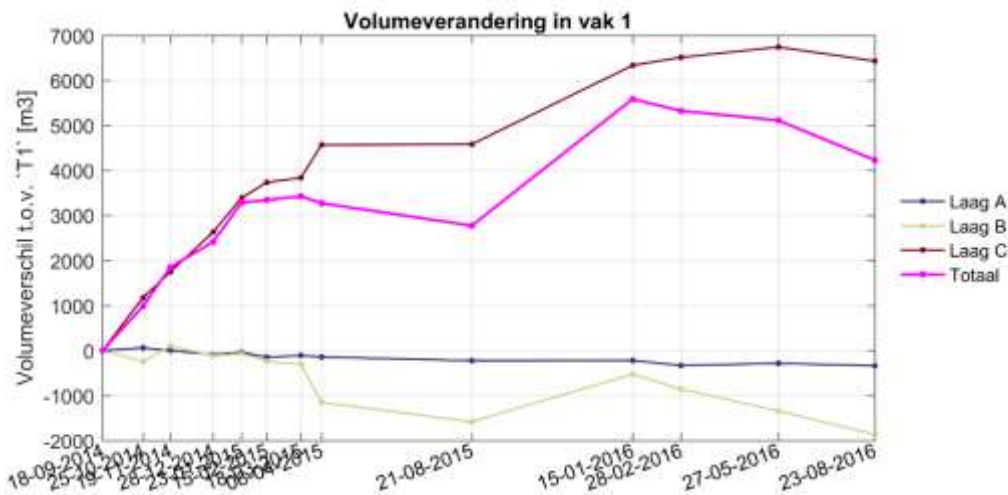
Een vergelijkbaar resultaat, maar dan met een opsplitsing naar de verschillende vakken is te zien in de volgende figuur.



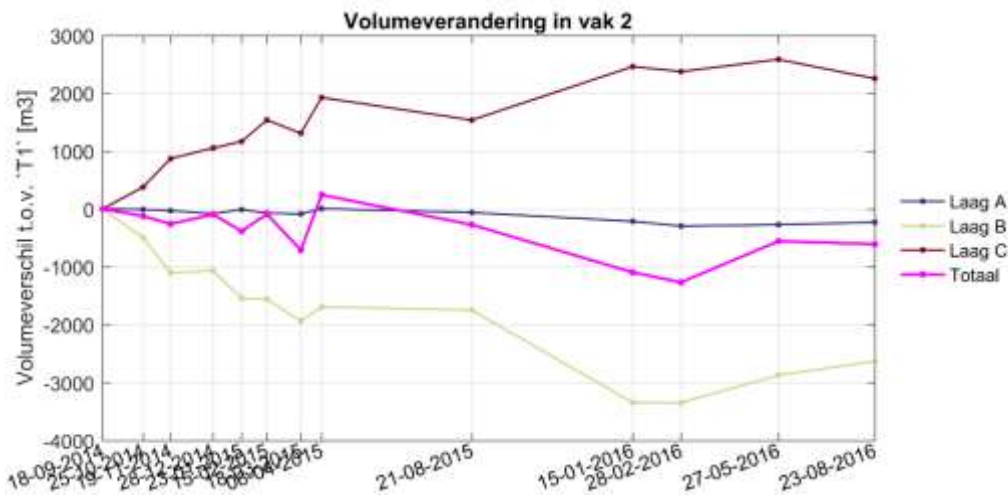
Figuur III - 2-20 Ontwikkeling volume per laag (A, B en C) en gesommeerd over alle lagen.

Te zien is dat met name vak 1 (naast de damwand) de meeste winst boekt (4.200 m³). De andere vakken vertonen juist een netto verlies (van 600 voor vak 2 tot 3.150 m³ voor vak 4), terwijl er juist sediment bij komt in vak 5 (250 m³).

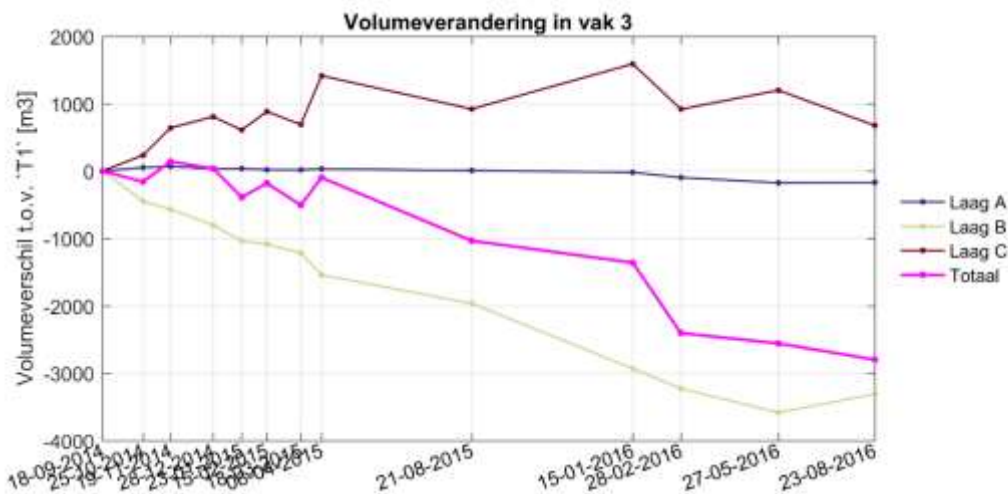
De ontwikkeling per individueel vak (en deze weer onderverdeeld over de verschillende lagen) is gegeven in Figuur III - 2-21 tot en met Figuur III - 2-25.



Figuur III - 2-21 Ontwikkeling volume vak 1 per laag en gesommeerd over alle lagen.

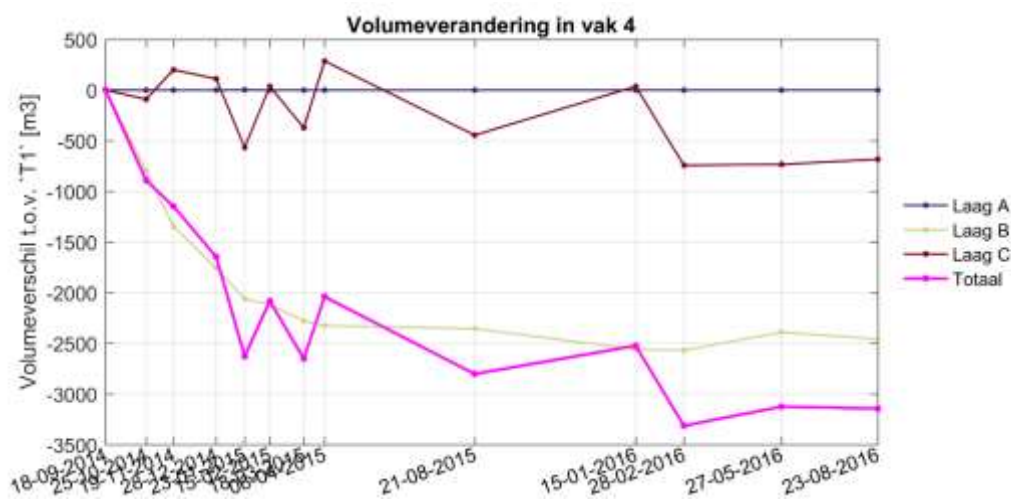


Figuur III - 2-22 Ontwikkeling volume vak 2 per laag en gesommeerd over alle lagen.

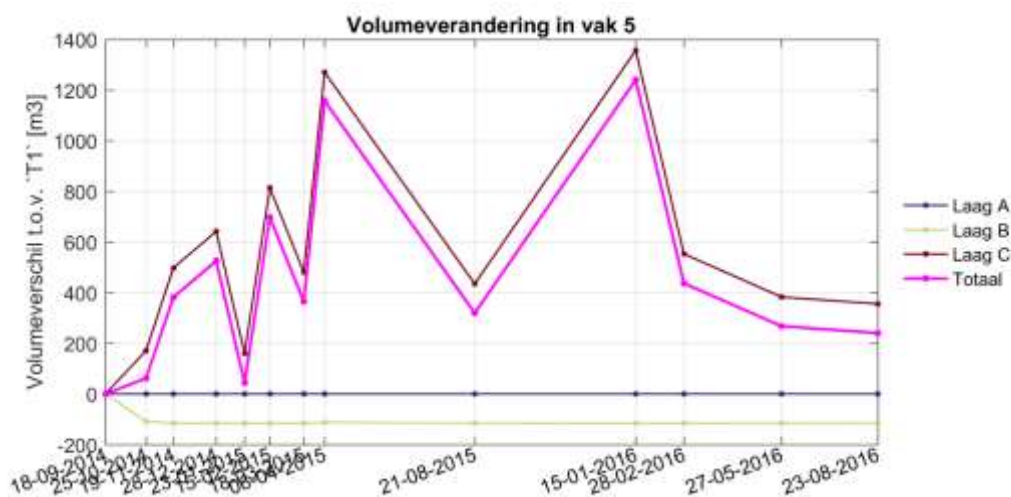


Figuur III - 2-23 Ontwikkeling volume vak 3 (rijsmatconstructie) per laag en gesommeerd over alle lagen.

Het totale verlies uit het vak met de rijsmatconstructie (vak 3) bedraagt in augustus 2016 2.800 m³



Figuur III - 2-24 Ontwikkeling volume vak 4 per laag en gesommeerd over alle lagen.

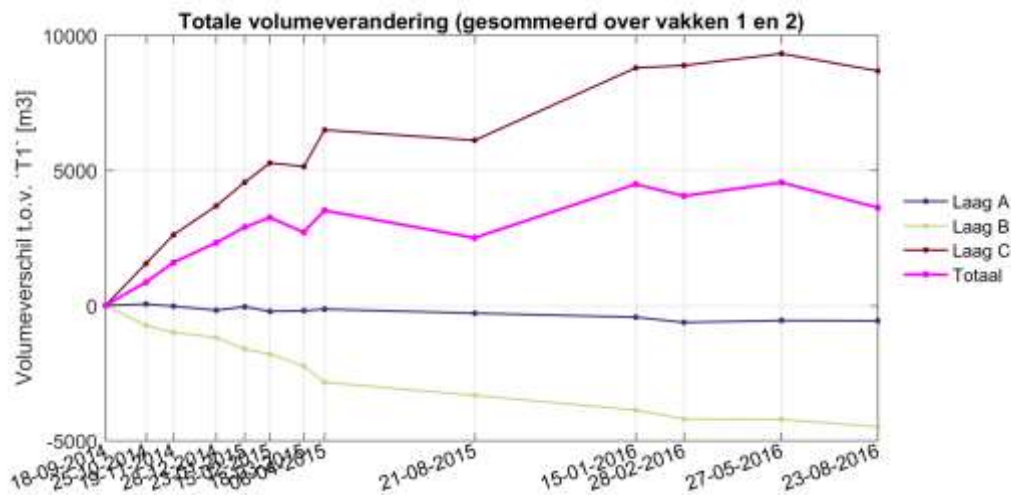


Figuur III - 2-25 Ontwikkeling volume vak 5 per laag en gesommeerd over alle lagen.

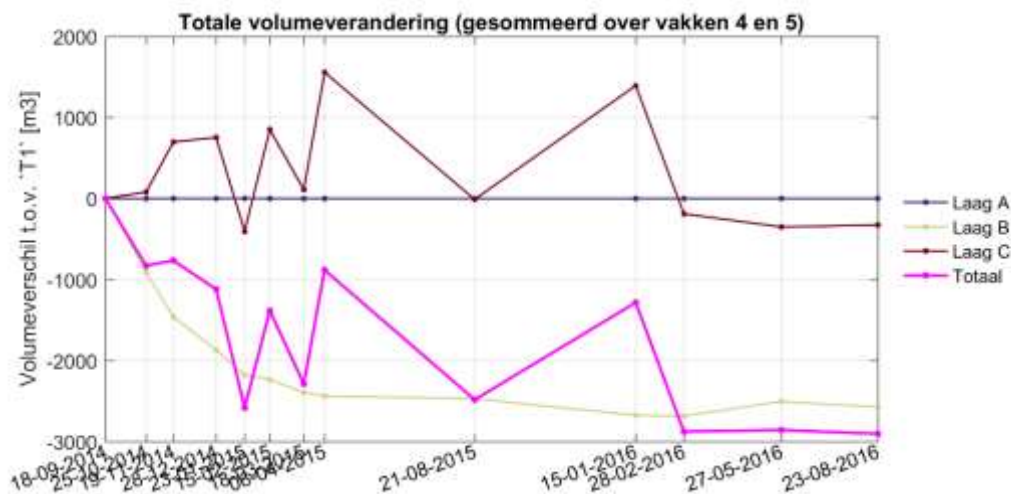
Vak 5 toont een grote tijdsvariatie in de volumes in de onderlaag, iets wat is gecorreleerd aan de ontwikkeling van de volumes van deze laag in vak 4.

2.4.5 VOLUME-ONTWIKKELING GECOMBINEERDE VAKKEN

In Figuur III - 2-26 is de totale volumeverandering in de vakken 1 en 2 (tussen damwand en rijsmatconstructie) in beschouwing genomen. Het totale verlies in de bovenlaag (laag A) bedraagt 550 m³. De oeverlaag (laag B) verliest 4.500 m³ terwijl er sprake is van een toename van 8.700 m³ in de onderlaag. Netto neemt het volume in dit vak dus toe met 3.600 m³.



Figuur III - 2-26 Ontwikkeling volume in gecombineerde vakken 1 en 2 per laag en gesommeerd over alle lagen.



Figuur III - 2-27 Ontwikkeling volume in gecombineerde vakken 4 en 5 per laag en gesommeerd over alle lagen.

De gecombineerde ontwikkeling van de volumes in de zuidoostelijk van de rijsmattenconstructie gelegen vakken laat zien dat de erosie van de oeverlaag eind 2015 tot staan is gebracht en heeft geleid tot min of meer stabiele situatie zonder veel zand in het profiel. Het totale verlies uit deze vakken bedraagt 2.900 m³.

2.5 INTERACTIE MET CONSTRUCTIES

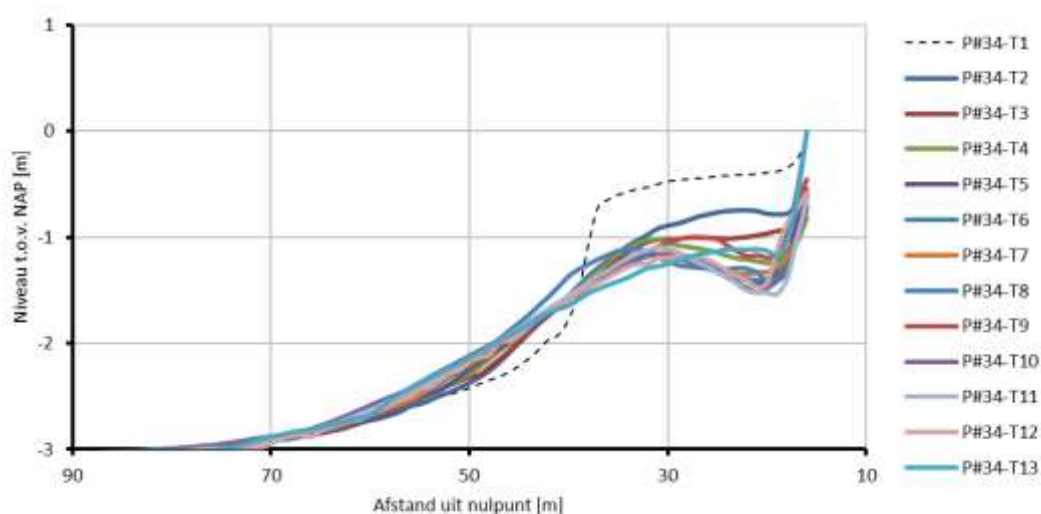
2.5.1 INLEIDING

De aanwezige constructies hebben vanwege de beperkte omvang van de proefsectie een relatief groot effect op de morfologische ontwikkeling van de proefsectie.

...

2.5.2 AANWEZIGE DIJK

In het oostelijke deel van de proefsectie is er geen strand meer voor de dijk aanwezig en ontstaat een typisch ontgrondingsprofiel tegen de dijk. Dit is te zien in Figuur III - 2-28.



Figuur III - 2-28 Overzicht profielontwikkeling in profiel #34 op 465 m uit de damwand.

Te zien is dat het initieel net onder zomerpeil aangebrachte profiel (T1) redelijk snel verlaagd en uiteindelijk een soort van ontgrondingskuil vormt. Naarmate er meer zand in het profiel aanwezig is (voor de meer westelijk gelegen profielen) komt dit kuilniveau geleidelijk ook iets hoger te liggen.

2.5.3 DAMWAND

De interactie met de damwand is al aan de orde geweest. Deze zorgt voor de zijdelingse opsluiting van het hogere profieldeel, maar leidt ook tot het ontstaan van een 'aanzandingsboog' op het onderwaterdeel (zie Figuur III - 2-9).

2.5.4 RIJSMATCONSTRUCTIE

De rijsmatconstructie werkt initieel als soort van ophangpunt voor de naastgelegen secties. Dit is goed te zien in Figuur III - 2-3 zichtbare sprong in de positie van de oeverlijn. Inmiddels is deze constructie verdwenen en is ook deze 'verstorende' functie komen te vervallen.

2.5.5 TIJDELIJKE BESCHERMINGSCONSTRUCTIE

De tijdelijke beschermingsconstructie op het centrale deel van de profsectie heeft gedurende zijn aanwezigheid geleid tot enige stabilisatie van het achtergelegen oeverlijn. Dit is ook goed te zien in de GoogleEarth-opname van Figuur 1-2 op pagina 29 van deze rapportage.

2.5.6 WINDSCHERM

Het effect van het aangebrachte windscherm is te zien in Figuur III - 2-8. Het rond de constructie ingevangen volume bedraagt ongeveer $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^1$.

...

3

Effecten langstransport

3.1 INLEIDING

Nog in te vullen.

4

Ontwikkeling van de vegetatie

4.1 INLEIDING

Op dit moment wordt specifiek ervaring opgedaan over de ontwikkeling van de vegetatie. De resultaten hiervan komen terug in de door Deltares/Alterra opgestelde werkrapportage (Deltares/Alterra, 2017) en zullen in een later stadium worden opgewaardeerd tot een aantal bevindingen en aanbevelingen in deze rapportage. De eerste inzichten zijn opgenomen in Hoofdstuk 8.3 van het hoofdrapport (zie pagina 147).

4.2 NADERE UITWERKING

Nog in te vullen.

5

Gerelateerde producten

5.1 GUIDE-LINE BEHEER EN ONDERHOUD (ZIE BIJLAGE 6)

Richtlijnen voor adequaat beheer en onderhoud van een voorlandoplossing zijn als separaat product van deze pilot opgenomen in Bijlage 6 (zie pagina 255) van deze rapportage.

Inhoud rapportage conform werkplan

Dit product heeft betrekking op een guideline waarin wordt beschreven op welke wijze beheer en onderhoud van een voorlandoplossing zo adequaat mogelijk kan worden uitgevoerd. De pilot levert daartoe inzicht in het nut van het inmengen van de holocene top laag, de effecten van verschillende soorten vegetatie, de ‘werking’ van de rijsmatten en de effecten van begrazing. Uiteindelijk moet dit leiden tot een aanbeveling over de wijze waarop het beheer van een voorland het meest effectief (goedkoop) kan worden uitgevoerd. Daarbij spelen de extra aanlegkosten ook een rol. Vraag is daarbij of de meerkosten van het inmengen van de top laag bij aanleg inderdaad een netto goedkoper beheer levert en of het wel verstandig is om rijsmatten te hanteren voor het opstarten van riet-vegetatie.

Verder levert de pilot inzicht in de het effect van niets doen, inzaaien of inplanten en kan daarmee de vraag beantwoord worden wat als de meest verstandige strategie kan worden gezien.

Startpunt daarbij is een inventarisatie en kwantificering van processen die het beheer en onderhoud van een voorlandoplossing sterk kunnen beïnvloeden. Te noemen zijn de langstransporten (en gradiënten daarin), de kustdwarse respons tijdens stormen en eolische transporten.

Voor de pilot is deze laatste informatie beschikbaar dan wel (voor het langtransport) aanvullend gegenereerd.

Op basis van de verkregen inzichten zullen een aantal beheersmaatregelen worden ontwikkeld. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan oplossingen waarbij vegetatie wordt ingezet om het onderhoud aan een voorlandoplossing te beperken.

Dit zal worden gedaan aan de hand van een aantal werksessies waarbij RWS en waterkeringbeheerders betrokken zullen worden. De inbreng van de waterkeringbeheerders is hierbij essentieel.

In de guideline zullen per beheersmaatregel ook de bijbehorende kosten worden gekwantificeerd. Hiervoor zullen kentallen deels worden gebaseerd op de voor bij de aanleg van de pilot gemaakte kosten. Belangrijker zijn echter de ervaringscijfers van de waterkeringbeheerders.

Naast de kosten zal er ook worden gekeken naar de batenkant: welke waarde vertegenwoordigt de ontstane natuur en hoe speelt dit een rol in de afweging van de keuze voor een zandige voorlandoplossing?

Op basis van deze onderdelen zal een stappenplan worden ontwikkeld dat de beheerder kan helpen bij het optimaliseren van het beheer en onderhoud van een voorlandoplossing.

Huidige status

Dit product is nog in ontwikkeling.

Annex IV

TOETSING VAN VOORLAND- OPLOSSINGEN

1 Inleiding

1.1 ALGEMEEN

Dit rapport betreft het basisproduct voor de toetsings-gerelateerde informatie en wordt in het werkplan omschreven als rapport IV: Bijdrage ontwikkeling toetsingsprotocol.

1.2 INHOUD RAPPORTAGE CONFORM WERKPLAN

1.2.1 INLEIDING

In het werkplan staat beschreven wat de (oorspronkelijke) inhoud van dit onderdeel van de rapportage is. In het volgende is deze opnieuw kort aangehaald.

In deze achtergrondrapportage wordt op basis van technische kennis en nadere data-analyse verslag gedaan van nieuw inzicht in:

- De definitie van een toetsingsprotocol (vraag 10);
- De rol van de vegetatie binnen de toetsing (vraag 11);
- De voor toetsing te hanteren monitoring (vraag 12).

Doel van deze taak is het eenduidig definiëren van een toetsingsprotocol voor een voorlandversterking in een 'meer'-omgeving. De pilot zal hiertoe echter niet alle benodigde informatie kunnen leveren. Wel zal er inzicht beschikbaar komen over de eisen die aan een stabiele buitenzijde van het voorland moeten worden gesteld. Ook kunnen door het beschikbaar komen van een afgeregeld numeriek model (XBEACH) de dimensies van een veiligheidsprofiel indirect worden verkend. In het eerste achtergrondrapport komt deze verkenning al aan de orde. Op basis hiervan kan een ontwerp en dus ook een hieraan gekoppeld toetsingsprotocol worden afgeleid. Nog meer dat bij het ontwerp geldt dat hier expliciet rekening zal moeten worden gehouden met de aanwezige onzekerheden. Bij de hiervoor gebruikte XBEACH-modellering is immers sprake van onzekerheden (de waargenomen ontwikkeling zal immers niet tot in detail kunnen worden gesimuleerd) en bovendien vereist een toetsingstoepassing nog een extrapolatie buiten het gebied van de waarnemingen.

Bij het opstellen van een toetsingsprotocol zal ook aansluiting worden gezocht bij de in het kader van het WTI in ontwikkeling zijnde voorlandmodule.

Nog geen definitief voorstel

Het definitief valideren van het voorgestelde toetsingsprotocol vereist echter een aparte actie. Onderdeel daarvan zou ook het nader analyseren van reeds in fysische faciliteiten (o.a. Deltares) uitgevoerd

modelonderzoek. Voor name de grote-schaal testen is de in de goot gehanteerde golfhoogte redelijk vergelijkbaar met de maatgevende golfaanval in een meer-omgeving.

Hierbij kan ook worden gedacht aan een voorstel voor een set van grootschalige testen in een Deltagoot-achtige faciliteit. In het kader van de pilot zal hiervoor een plan van aanpak worden opgesteld. De in het kader van de pilot uitgevoerde activiteiten moeten in dit licht dan ook worden gezien als een bijdrage aan het toetsingsprotocol.

De resultaten van deze uitwerkingen zullen tijdens een werksessie aan de projectpartners (RWS, HBWP, ENW, WTI, waterkering beheerders) worden gepresenteerd. De input van de aanwezigen zal worden meegenomen in de definitieve uitwerkingen.

1.2.2 TOETSING VEILIGHEIDSONTWERP (VRAAG 10)

Voorlandoplossingen zijn uitvoerbaar in uiteenlopende volumes waarbij de veiligheid in zijn geheel of gedeeltelijk gevonden wordt in het voorland. Er zal een globale toetsingsmethodiek ontwikkeld worden voor situaties waarbij de veiligheid in zijn geheel gevonden wordt in de voorlandoplossing en voor situaties waarin een hybride kering ontstaat (en de achterliggende dijk ook nog een waterkerende functie houdt). Door gebruik te maken van model resultaten met XBEACH, waar de invloed van de geometrie (hoogte, breedte, helling) van het voorland onderzocht is voor verschillende locaties zal getracht worden zo eenvoudig mogelijke toets protocollen op te stellen.

De bijdrage aan de toetsing van het veiligheidsontwerp is daarmee direct gekoppeld aan het eerder uitgewerkte veiligheidsontwerp zoals dit al is uitgewerkt in Paragraaf 1.2.5.

Indien de bij het ontwerp gehanteerde uitgangspunten en methodiek technisch gesproken goed in elkaar steken, kan dezelfde methode in principe ook voor de toetsing van het veiligheidsontwerp worden gebruikt. Het enige verschil is dat er bij het ontwerp gebruik wordt gemaakt van zwaardere hydraulische condities omdat deze wordt betrokken op een situatie over een aantal jaren (bijvoorbeeld zichtperiode 50 jaar).

1.2.3 ROL VEGETATIE IN VEILIGHEIDSTOETSING (VRAAG 11)

Vegetatie kan een rol spelen bij het stabiliseren van het veiligheidsprofiel. De finale toets zal echter niet in het fysieke bereik liggen van de tijdens de doorlooptijd van de pilot te verwachten stormcondities.

De bijdrage van het effect van de vegetatie op de veiligheid van een voorlandoplossing kan dus alleen in kaart worden gebracht door de inzet van het eerder genoemde afgeregelde numerieke model.

Hiertoe worden verschillende zandige versterkingsoplossingen zowel met als zonder vegetatie doorgerekend. Dit leidt potentieel tot een effect op de benodigde omvang van de voorlandoplossing.

Als voorbeeld kan worden gedacht aan de benodigde breedte van de voorlandoplossing welke bij aanwezigheid van vegetatie op het buitentalud mogelijk reduceert.

Het resultaat kan zijn dat de bijdrage beperkt is of dat deze echt ‘zoden aan de dijk’ zet. In het eerste geval kan de rol van de vegetatie in de veiligheidstoetsing wellicht achterwege worden gelaten.

In het laatste geval dient er (in consultatie met ENW) een fundamentele keuze te worden gemaakt of de vegetatie daadwerkelijk een rol krijgt in de veiligheidsbeschouwing.

Onderdeel van deze taak is het rapporteren aan ENW over de rol die vegetatie kan spelen in de veiligheidstoetsing van voorlandoplossingen en de onzekerheden die daarbij spelen. Een dergelijk advies kan pas worden gegeven op het moment dat het hiervoor te hanteren XBEACH-model afdoende is

afgeregeld voor de meer volgroeide vegetatie. Dit betekent dat een eindadvies pas in 2018 beschikbaar zal kunnen komen. Een interim-advies is halverwege de pilot voorzien.

Hierbij zal ook worden aangegeven wat er nog moet gebeuren om (anders dan de resultaten van de met het XBEACH-model uitgevoerde verkenningen) meer zekerheid te krijgen over het effect van vegetatie onder ontwerpomstandigheden.

1.2.4 MONITORING VEILIGHEID (VRAAG 12)

De wijze waarop de veilige voorlandoplossing kan worden getoetst hangt nauw samen met de 'werking' van een dergelijk zandlichaam. Vermoedelijk is de werking van een aan een meer gesitueerde voorlandoplossing slechts beperkt vergelijkbaar met de situatie langs bijvoorbeeld de Noordzee- of Waddenkust. Voor de toetsing en monitoring van de veiligheid van een duinwaterkering moet in principe gebruik gemaakt worden van het resultaat van de doorrekening met een morfologisch duinafslagmodel. Dit kan gezien worden als een soort van detailtoets.

Denkbaar is ook dat de veiligheid van een voorlandoplossing in overwegende mate afhangt van het volume van het voorland. Mocht dat het geval zijn, dan zou de monitoring van de veiligheid zich kunnen richten op de aanwezigheid van een zeker minimaal volume.

Nog eenvoudiger wordt het als er een eis kan worden gesteld aan het beschikbaar zijn van een zeker volume binnen een bepaalde door een boven en ondergrens gedefinieerde schijf. Deze benadering komt overeen met de methodiek die voor de kust wordt gehanteerd voor de positie van de Momentane KustLijn (MKL).

Het meest eenvoudig is dat, gegeven dat het concept van een min of meer stabiel buitentalud daadwerkelijk werkt, mogelijk kan worden volstaan met het definiëren van een kritieke positie op de buitenkruin van het voorland.

Op basis van de ervaringen die zijn opgedaan tijdens de monitoringcampagne en het concept protocol voor het veiligheidsontwerp zullen de verschillende monitoringsconcepten worden vergeleken en zal een voorstel worden gedaan voor de te meten indicatoren, hun frequentie en een suggestie voor meetmethodiek.

1.3 HUIDIGE STAND VAN ZAKEN

De activiteiten binnen dit onderdeel zijn nog in een opstartfase.

2

Toetsing veiligheidsontwerp

2.1 INLEIDING

Momenteel gaat de aandacht primair uit naar het met het XBEACH-model kunnen simuleren van de waargenomen profielontwikkeling. Ook de evenwichtsvorm van de rond de waterlijn gelegen profielvorm (steil 1 : 10 talud boven het NAP-1,0 m niveau met een 'swash-bar' op NAP+0,5 m) valt daaronder. Afhankelijk van de ontwikkelingen in deze zal ook worden geprobeerd om een meer eenvoudig balansmodel te formuleren.

2.2 NADERE UITWERKING

Nog in te vullen.

3

Rol van vegetatie

3.1 INLEIDING

Er is momenteel op dit moment nog geen goede relatie te leggen tussen vegetatie en morfodynamiek van het talud. De aangeplante vegetatie staat slechts op dat deel van de pilot waar geen water komt en het riet in de oeverzone niet is aangeslagen.

Er is verder ook nauwelijks spontane vestiging van vegetatie, omdat de omstandigheden voor spontane vestiging erg ongunstig zijn (te droog, te veel wind, te harde golven, en mogelijk ook 'te weinig nutriënten op het zandige deel en te weinig aanvoer van zaad/gebrekkige zaadbank in het opgebrachte materiaal).

Alleen op luwere plekjes vinden sporadisch de eerste spontane vestigingen plaats. De aangeplante vegetatie neemt wel de functie van het windscherm over in het invangen van opstuivend zand en het creëren van luwte waar nieuwe soorten zich kunnen vestigen.

3.2 NADERE UITWERKING

Nog in te vullen.

4

Monitoring veiligheid

4.1 INLEIDING

Nog in te vullen.

(Hierin zal ook worden ingegaan op de lessons-learned ten aanzien van de tijdens de pilot uitgevoerde monitoringswerkzaamheden).

5

Gerelateerde producten

5.1 PLAN VAN AANPAK TOETSINGSPROTOCOL (ZIE BIJLAGE 7)

De in het kader van de pilot gedefinieerde bijdrage aan de ontwikkeling van een toetsingsprotocol is als separaat product van deze pilot opgenomen in Bijlage 7 (zie pagina 257) van deze rapportage.

Inhoud rapportage conform werkplan

De ten behoeve van de vorige producten uitgevoerde activiteiten zullen per definitie niet tot een volwaardig toetsingsprotocol leiden. Om toch, gegeven de tijdens de pilot opgedane kennis, effectief richting te geven aan de daadwerkelijke formulering van een toetsingsprotocol, is een separaat product gedefinieerd dat een plan van aanpak voor de definitie van een dergelijk protocol beschrijft.

Ook zal op basis van het resultaat van rapport IV (zie Annex IV) worden aangegeven of het nuttig en verantwoord lijkt de effecten van de aanwezigheid van vegetatie op de veiligheid van een voorlandoplossing in rekening te brengen.

De oplevering van dit product is halverwege de pilot voorzien. Hiermee kan de in de eerste helft opgedane kennis worden 'meegenomen' en kan simultaan aan de tweede helft van de pilot een toegespitst onderzoeksprogramma worden opgestart. Het kader (bijvoorbeeld WTI2023) waarin een dergelijk programma kan worden opgenomen zal nog moeten worden vastgesteld.

Het inzicht in de veiligheidseffecten van de vegetatie neemt natuurlijk toe in de tijd. Het op basis van deze inzichten geformuleerde advies over de rol van vegetatie in de veiligheidsbeschouwing zal aan het eind van de pilot dan ook beter zijn onderbouwd dan halverwege. Desalniettemin zal er halverwege ook al een eerste indicatie worden afgegeven.

Annex V

OPSCHALING EN BUSINESS-CASES

1 Inleiding

1.1 ALGEMEEN

Dit rapport gaat in op het resultaat van de zogenaamde opschaling van de ontwikkelde kennis. Deze rapportage wordt in het werkplan omschreven als rapport V: Opschaling.

1.2 INHOUD RAPPORTAGE CONFORM WERKPLAN

In het werkplan staat beschreven wat de (oorspronkelijke) inhoud van dit onderdeel van de rapportage is. In het volgende is deze opnieuw kort aangehaald.

In de kennisontwikkeling onder de benoemde thema's (ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud, ...) is steeds de nadruk gelegd op het 'vertalen' van de waargenomen/afgeleide resultaten van de proefsectie voor de Houtribdijk naar meer generieke kennis die toepasbaar is in andere omstandigheden/locaties. Om te komen tot een meer integrale verkenning van de mogelijkheden voor voorlandoplossingen in meer concrete zin, zal in aanvulling hierop worden gekeken naar concrete opties voor opschaling. Het gaat hier dus om een op basis van de individuele guidelines gecombineerde verkenning van de (on)mogelijkheden voor de realisatie van een voorlandoplossing op andere locaties.

Doel van een dergelijke verkenning (de zogenaamde 'roadmap') is om via een eenvoudige 'procedure' en business-case aan te geven of een voorlandoplossing voor een bepaalde locatie inderdaad als een kansrijke oplossing kan worden gezien. Dergelijke informatie kan behulpzaam zijn in de verkenningfase van een dijkversterkingsproject waarin kansrijke alternatieven worden geselecteerd. Het ontbreken ervan zou kunnen leiden tot het (achteraf gezien) onterecht afvallen van een dergelijke optie.

Deze overkoepelende verkenning geeft ook de mogelijkheid om een meer expliciete koppeling te leggen met andere BwN-projecten, zoals de zandmotor en het recent voor de HPZ opgestarte innovatie/monitoringsprogramma.

Roadmaps en business-cases (12)

Doel van deze activiteit is het opleveren van een rapportage over de ruimere toepasbaarheid van voorlandoplossingen, dit uitgewerkt voor een specifieke locaties waar door waterkeringbeheerders wordt nagedacht over de mogelijke toepassing van een zandige versterking.

Als voorbeeld van dergelijke locaties moet niet alleen worden gedacht aan de voor de hand liggende locaties als de Houtribdijk en de Markermeerdijk, maar ook aan bijvoorbeeld dijken langs de Friese kust, het IJsselmeer en het Haringvliet. De te onderzoeken locaties zullen in overleg met project partners (RWS, HBWP en Waterkeringbeheerders) worden geselecteerd.

Voor de uitwerking zal gebruik worden gemaakt van de karakteristieken van de beschouwde locaties. Als onderdeel daarvan zal ook worden gekeken naar de problemen met de te versterken dijk. Het type voorlandoplossing hangt immers samen met dit veiligheidsprobleem. Is er bijvoorbeeld sprake van een geotechnisch probleem (HPZ, Markermeerdijk), dan komt een standalone voorlandoplossing in beeld. Heeft de dijk nog wel enige sterkte, maar wordt de voorzijde te veel aangevallen (bekleding en/of overslagprobleem), dan ligt een hybride oplossing voor de hand.

Na vaststelling van de mogelijke oplossingsrichting kan op basis van de 'guideline ontwerp' een eerste indicatie worden verkregen over de benodigde afmetingen van het voorland. Vervolgens kan met de 'guideline aanleg' inzicht worden verkregen in de mogelijke aanlegmethodes en de hiermee samenhangende kosten en de 'guideline vergunningen' in het hiervoor te doorlopen vergunningentraject. De 'guideline beheer- en onderhoud' geeft tenslotte inzicht in de met het beheer en onderhoud samenhangende aspecten.

Resultaat is een set van voorontwerpen waarin de opgedane kennis wordt toegepast op specifieke locaties. Door de toepassing van alle guidelines op concrete locaties komt alle ontwikkelde kennis bij elkaar en kan de toepasbaarheid ervan voor de geselecteerde gevallen worden beoordeeld. Mogelijk leidt dit weer tot een bijstelling/aanscherping van individuele guidelines.

Voor de beschouwde locaties laat deze oefening zien in hoeverre het mogelijk is om veel sneller en beter een inschatting te kunnen maken van de mogelijke toepasbaarheid van voorlandoplossingen. Onderdeel hiervan zal ook het opstellen van een business-case per beschouwde locatie zijn.

Deze activiteit geeft daarmee invulling aan het oorspronkelijke hoofddoel van deze pilot.

Gegeven het feit dat de helft van de definitieve guidelines pas in 2018 beschikbaar komt, is er voor gekozen om halverwege de pilot een eerste exercitie te plannen (najaar 2016). Deze sessie leidt ook mogelijk weer tot enige bijstelling van de guidelines. De finale sessie is gepland in het voorjaar van 2018.

1.3 GEVOLGDE AANPAK

Het onderzoeksthema opschaalbaarheid c.q. de onderzoeksvraag betreffende het toepassingsbereik (vraag 13) komt enerzijds als product terug in Tabel 3-2, maar is daarnaast ook integraal onderdeel van de andere thema's waar op basis van inzichten uit de pilot generieke kennisproducten worden ontwikkeld die elders toepasbaar zijn.

Opschaalbaarheid heeft immers steeds betrekking op de 'vertaling' van de resultaten van de pilot naar andere locaties of toepassingen. Hiermee komt opschaalbaarheid terug in de formulering van een bepaald product waarbij het nagestreefde product de lokale dimensie van de proefsectie/pilot overschrijdt. Het is immers niet de bedoeling om enkel en alleen de ervaringen op de proefsectie te beschrijven, maar juist om ervan te leren voor andere locaties en toepassingen.

Als voorbeeld van deze benadering kan de productcategorie 'vergunningen' worden genoemd. Doel van het product van de pilot is niet zozeer het opleveren van de 'lessons-learned' van het voor de aanleg van de proefsectie doorlopen vergunningenproces, maar de hierop gebaseerde lessen voor een toekomstig

vergunningstraject ten behoeve van een meer grootschaliger voorlandoplossing (voor bijvoorbeeld een groot deel van de Houtribdijk).

Het te leveren product is een via opschaling verkregen 'guideline vergunningen' welke ingezet kan worden in toekomstige initiatieven.

Een soortgelijke guideline benadering geldt ook voor de guideline binnen de andere thema's met uitzondering van de Toetsing. De hier op te leveren producten zijn een bijdrage aan de ontwikkeling van een toetsingsprotocol voor voorlandoplossingen (en zijn geen eindproduct dat ingezet kan worden in vervolg initiatieven voor voorlandoplossingen). De tijdens de doorlooptijd van de pilot te verwachten hydraulische belasting zal naar waarschijnlijkheid kleiner zijn dan de voor een toetsing te hanteren ontwerpbelasting. Hiermee zullen de monitoringsgegevens dus wel relevant inzicht leveren, maar geen definitief antwoord kunnen geven op de toetsingsproblematiek.

1.4 HUIDIGE STAND VAN ZAKEN

Nog geen activiteiten.

2

Mogelijke toepassingen

2.1 INLEIDING

Onderdeel van het werkprogramma is het definiëren van zogenaamde opschalingslocaties en het ontwikkelen van de basis voor business cases voor zandige oplossingen. Voor deze locaties zal de mogelijkheid voor het toepassen van een zandige vooroeveroplossing in beeld worden gebracht en nader worden onderbouwd met een business case. In onderstaande is een toelichting gegeven op de opschalingslocaties die onderzocht zullen worden en de wijze waarop invulling wordt gegeven aan de business case.

2.2 OPSCHALINGSLOCATIES

2.2.1 ALGEMEEN

De verkenning naar opschalingslocaties start vanuit een beter begrip van zachte (voorland)oplossingen wat betreft ontwerp, aanleg en beheer en onderhoud. Belangrijkste bron van inspiratie daarbij is de pilot bij de Houtribdijk en in eerste instantie zal daarom gezocht worden naar vergelijkbare opgaven in vergelijkbare situaties. Met dit als uitgangspunt worden locaties gecategoriseerd in drie schillen waarbij de situatie steeds meer gaat afwijken van de situatie bij de pilot in het Markermeer.

In Tabel V - 2.1 is een overzicht gegeven van enkele locaties met een korte beschrijving van de relevante karakteristieken.

2.2.2 EERSTE SCHIL - MARKERMEER/IJSSELMEER

Dit zijn projecten om het Markermeer waarin een zachte kering een rol speelt, zoals de Markermeerdijken, de Houtribdijk en het project Marker Wadden. Dit zijn projecten die wat betreft golfdynamiek en stroming in essentie niet veel afwijken van de situatie bij Trintelhaven. De golfdynamiek is voor loefzijde Marker Wadden groter, maar voor de andere projecten kleiner (zie onderstaande tabel). Dit laatste maakt het mogelijk om eerder tot een doorvertaling naar het gedrag naar maatgevende condities te kijken. Een verder kenmerk van deze projecten is dat ze al ver zijn in de planvorming c.q. contractering. Dit heeft als voordeel dat er veel projectmatige kennis is, die het mogelijk maakt een business-case ook nader te onderbouwen en te kwantificeren. Nadeel is dat nuttige input vanuit het pilot project, al dan niet in een business case format, snel moet gebeuren. Een volledige business-case benadering (zie onder) zal in de 1^e schil niet aan de orde zijn. Zo is voor de Markermeerdijken en Oeverdijk de beslissing om zacht te versterken is genomen maar zoeken deze initiatieven nog wel naar cofinanciering, vooral vanuit de verwachte natuurbaten.

2.2.3 TWEEDE SCHIL - ZOET WATER, RIVIERBEKKENS

Dit zijn projecten in groot open en zoet water waarbij golven een rol van betekenis spelen maar tevens een (onregelmatige) rivierafvoer invloed heeft op de (ontwerp) waterstanden. Er wordt daarbij in hoofdzaak gedacht aan Haringvliet en Hollands Diep, waar op dit moment geen concrete versterkingsopgaven spelen. In de tweede schil gaat het om de doorvertaling van het concept naar andere zoet water situaties waarbij de maatgevende condities mede bepaald worden door een ver boven gemiddelde (rivier) waterstand. Ter illustratie, de opwaaiing leidt bij het Markermeer tot een extra opzet van 1 tot 2 meter. Voor het benedenrivierengebied gaat het om meerdere meters. Hierdoor zal ook de vegetatie ontwikkeling rond het waterpeil en het langjarig langstransport wezenlijk anders zijn.

2.2.4 DERDE SCHIL - INTERGETIJDEGEBIEDEN

Dit zijn projecten in intergetijdegebieden. Zand speelt naast vegetatie, in de vorm van kwelders een rol. Daarnaast zijn getij en zout zijn erg bepalend voor het functioneren, aanleggen en beheer van de voorlandoplossing. De aandacht in de derde schil gaat in eerste instantie uit naar de Waddenzeedijken en wanneer nog relevant de Ooster- en Westerschelde.

Locatie	Hydrodynamica	Vegetatie	Overig
Trintelhaven	Langjarig: opzet tot 0,5 meter, T=1 golven orde 1 meter. Maatgevend: opzet tot 2 meter, T=10.000 orde 2 meter. Langstransport, groot bruto, beperkt netto.	Oeverzone blijft kaal zand. Hoger op het profiel afhankelijk van inrichting en beheer gras en struiken.	Aanleg in hoofdzaak met fracties D50 200 tot 250 µm. Beperkte zetting.
Houtribdijk	Langjarig: opzet tot 0,3 tot 0,5 meter, T=1 golven orde 0,5 tot 0,9 m. Maatgevend: opzet tot 2 meter, T=10.000 orde 1,2 tot 2 meter. Langstransport, varieert ook stukken waar netto vrijwel gelijk is aan bruto.	Oeverzones deels kaal zoals bij EcoShape pilot, deels beschut met mogelijke ontwikkeling van rietoevers.	Aanleg in hoofdzaak met fracties D50 200 tot 250 µm. Beperkte zetting, maar plaatselijk tot 30 a 40%.
Marker Wadden	Langjarig: opzet tot 0,5 tot 0,9 meter, T=1 golven orde 0,9 m. Maatgevend: opzet tot 1m meter, T=50 orde 1,2 tot 1,5 m. Langstransport, varieert ook stukken waar netto vrijwel gelijk is aan bruto.	Zoals hierboven. Afhankelijk van het ontwerp komen loef, lij en achter vooroeverdammen gelegen zachte randen voor.	Aanleg mogelijk in verschillende fracties.
Markermeerdijken, oeverdijken	Langjarig: opzet tot 0,3 tot 0,5 meter, T=1 golven orde 0,5 tot 0,9 m. Maatgevend: opzet tot 1,5 meter, T=10.000 orde 1,2 tot 1,5 meter. Langstransport, varieert ook stukken waar netto vrijwel gelijk is aan bruto.	Oeverzones deels kaal zoals bij EcoShape pilot, mogelijk dat ook deels beschutte oevers worden aangelegd met mogelijke ontwikkeling van rietoevers.	Aanleg in hoofdzaak met fracties D50 200 tot 250 µm. Grote zetting 50 tot 100%.

Tabel V - 2.1 Overzicht karakteristieken hydrodynamica en vegetatie per beschouwde locatie.

3

Business-cases

3.1 INLEIDING

Het doel van de business case is om op basis van het technische inhoudelijk ontwerp, kosten, baten en kansen voor financiering inzichtelijk te krijgen zodat een beter idee verkregen wordt waar een zachte voorlandoplossing toegepast kan worden.

Hart van de business case is een ontwerp voor een zachte voorlandoplossing dat wordt gemaakt op basis van de ontwerprichtlijnen die in de pilot verder worden ontwikkeld waarbij specifiek aandacht zal zijn voor beheer en onderhoud, inspectie en toetsing. Daarnaast wordt gekeken naar de wijze waarop een zachte kering kan worden aangelegd (slimme uitvoeringsmethoden). Voor wat betreft het voorvertalen van het technisch ontwerp naar kosten wordt aansluiting gezocht met de SSK systematiek waarin gebruik gemaakt zal worden van ramingen en kentallen uit lopende trajecten. Door de voorlandoplossing qua kosten te vergelijken met een alternatieve (meer conventionele) waterveiligheidsoplossing wordt aan het HBWP inzichtelijk gemaakt of een zachte voorlandoplossing een kosteneffectief alternatief kan zijn. Tot slot wordt nog gekeken of er eventuele maatschappelijke baten dan wel vermeden kosten zijn en of op grond hiervan cofinanciering gevonden kan worden voor de aanleg dan wel het beheer en onderhoud. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan subsidies voor natuurbeheer.

3.2 VERSCHILLENDE NIVEAUS

3.2.1 NULDE NIVEAU: DAT VAN DE ONTWERPPRINCIPES

Mede op basis van de EcoShape-pilot worden ontwerpprincipes opgesteld voor het ontwerp van een zachte kering. Het gaat daarbij om de wijze waarop het vereiste volume kan worden berekend en waar in het profiel dat moet zijn gelegen. Het gaat ook om het eventueel conditioneren van de bodem met oog op vegetatiegroei en de inzet van constructies voor het beperken van het onderhoud. De aanleg van de pilot geeft in beperkte mate ook aanwijzingen over de uitvoering. Onduidelijk is of de EcoShape pilot ook informatie levert voor de beheer en onderhoudsfase. Er is een sterke link met de overige activiteiten binnen de pilot die zullen leiden tot een ontwerpleidraad. Belangrijk voor de lopende ontwerptrajecten langs het Markermeer is het kunnen schatten van het langstransport. De EcoShape pilot is de enige plek die hiervoor echte meetwaarden levert.

3.2.2 EERSTE NIVEAU: DAT VAN DE KOSTEN RAMING

Op basis van een kosteneffectiviteit vergelijking in termen van directe (bouw)kosten kan al een vergelijking worden gemaakt tussen een zachte en een conventionele kering. Vooral bij meer sectoraal ingestoken projecten kan dit al voldoende zijn om een duidelijke vergelijking mogelijk te maken. Omdat er

doorgaans sprake is van een groot verschil in de beheer en onderhoudsdimensie is het raadzaam daarbij in ieder geval ook naar een vergelijking in LCC termen te kijken op termijn van 20 jaar (o.a. contractperiode) en langer. Een ander punt dat kan worden meegenomen in de vergelijking zijn de indirecte kosten, inclusief de waardering van risico's.

3.2.3 TWEEDE NIVEAU: DAT VAN EEN MKBA-VERGELIJKING

Hierbij wordt gekeken naar zaken als vermeden kosten, mogelijke maatschappelijke baten. Feitelijk wordt hierbij ook een MKBA benadering gevolgd waarbij gekeken wordt naar maatschappelijke baten.

3.2.4 DERDE NIVEAU; VAN EEN (FINANCIËLE) BUSINESS CASE

Dit is het niveau waarop wordt gekeken naar welke geïdentificeerde baten in de MKBA verband daadwerkelijk mogelijkheden geven tot (co-)financiering. Dus het gaat om echte Euro's.

3.3 NADERE UITWERKING VAN DE BUSINESS CASE BENADERING

Hiervoor wordt aansluiting gezocht op lopende initiatieven binnen EcoShape. Vanuit kennisontwikkelings-projecten rondom de ZandMotor wordt in 2015 gewerkt aan het ontwikkelen van een zogenaamde business case template voor zandige strategieën in lijn met Building with Nature. Uitgangspunt daarbij is dat de interactie tussen ontwerp, kosten, baten en financiering inzichtelijk worden gemaakt gedurende het (interactieve) ontwerpproces. Vanuit het project pilot voorlandoplossing Houtribdijk zal de ontwikkelde template concreter gemaakt worden voor wat betreft de ontwerprichtlijnen en raming, met ook meer aandacht voor de uitvoering. Daarnaast bestaat de mogelijkheid om expertise vanuit het HBWP wat betreft business cases te koppelen aan het lopende project binnen EcoShape om aan de voorkant de template mee te ontwikkelen. Het resultaat is een korte omschrijving van een business case.

4

Doorvertaling naar Markermeer

4.1 AANPAK

Voor de projecten rond het Markermeer worden alle niveaus van de business case (integraal) doorlopen:

- **Bepalen van mogelijke basisontwerpen.**
Deze worden in hoofdzaak afgeleid van lopende trajecten, en waar zinvol aangevuld dan wel geoptimaliseerd met kennis vanuit de EcoShape pilot.
- **Bepalen van de kosten van basisontwerpen.**
Hiervoor wordt aangesloten bij de lopende projecten. Punt van aandacht is wel dat SSK ramingen niet openbaar zijn. Er wordt daarom veeleer gewerkt met een generiek schema voor het bepalen van aanleg en onderhoudskosten. Voor het Markermeer is de wijze waarop zand kan worden gewonnen en de deklaag een plaats kan krijgen bepalend voor de kosten. De kosten van een zacht basisontwerp worden daarbij ook naast de kosten van een conventionele dijkversterking gezet.
- **Bepalen van de mogelijke baten van de zachte oplossingen.**
Voor de projecten om het Markermeer is hierbij vooral de betekenis van een zachte kering inclusief de daarvoor benodigde winputten voor het ecologische herstel van het ecosysteem Markermeer van belang en de bijdrage die kan worden geleverd aan KTW, TBES en Natura 2000 beheersdoelen. De baten zijn dus in hoofdzaak kwalitatief, maar kunnen mogelijk via de band van vermeden kosten, of kostenbesparingen wel aan Euro's worden gekoppeld. Plaatselijk spelen ook recreatiebaten. Hiervoor kan o.a. ook gebruik worden gemaakt van de TEEB-studie (economie, ecologie en biodiversiteit) die de provincie Noord Holland heeft laten uitvoeren in het kader van de oeverdijk ontwikkelingen. Een verder punt van aandacht is het kunnen waarderen van de inherente flexibiliteit die een zachte kering biedt ten aanzien van veranderingen in (meer)peil en normering. Deze laatste onderdelen kunnen evenwel ook een plaats krijgen in de raming.
- **Bepalen van mogelijkheden voor cofinanciering.**
Dit is een concrete discussie die voor de projecten oeverdijk en Houtribdijk loopt of gaat lopen. Voor Marker Wadden ligt de situatie anders. Dit project heeft niet de veiligheid maar juist het ecologische herstel van het Markermeer als uitgangspunt en wordt vanuit dit oogpunt dan ook gefinancierd..

Deze stappen resulteren in ontwerpen en overwegingen bij het ontwerp, aanleg en beheer en onderhoud, kostenvergelijkingen, vergelijkingen op MKBA niveau en suggesties voor cofinanciering.

4.2 **DEFINITIE BASISONTWERPEN**

...

4.3 **KOSTEN VAN DE BASISONTWERPEN**

...

4.4 **MOGELIJKE BATEN ZACHTE OPLOSSINGEN**

...

4.5 **MOGELIJKHEDEN COFINANCIERING**

...

5

Doorvertaling andere gebieden

5.1 DOORVERTALING NAAR HARINGVLIET, HOLLANDS DIEP SITUATIES.

Deze doorvertaling is minder concreet, vooral ook omdat deze situaties sterk afwijken van die langs het Markermeer. Wel is mogelijk om aan te geven welk onderdeel van de ontwerprichtlijnen overdraagbaar is, en op welke aspecten meer locatie-specifiek naar het ontwerp moet worden gekeken. Ook de volgende stappen, dat van een basisontwerp, de daarmee samenhangende kosten en mogelijke baten worden globaal genomen.

5.2 DOORVERTALING NAAR INTERGETIJDE-GEBIEDEN.

Deze doorvertaling is ook globaal, zie hiervoor. Wel kan bij de doorvertaling naar ontwerpen ook kennis worden ingeschakeld uit andere trajecten waarin gekeken wordt naar de inzet van kwelders en duinen als onderdeel van de primaire kering.

Annex VI PRODUCTEN

Bijlage 1 Guideline ontwerp

Deze guideline zal pas op middellange termijn (2016/17) worden ingevuld.

Eerst is daarbij immers inzicht nodig in tenminste de mogelijkheden om het XBEACH-model voor de kwantificering van de profielontwikkeling tijdens maatgevende omstandigheden te kunnen gebruiken.

Wel zal in een eerder stadium een eerste voorzet (inhoudsopgave, stappenplan) worden opgesteld waarmee aanvullend richting wordt gegeven aan de invulling van deze guideline.

Bijlage 2

Lessons-learned vergunningen

Deze rapportage is inmiddels afgerond en vastgesteld (EcoShape, 2015b).

Deze notitie is inmiddels via de website beschikbaar gemaakt.

Bijlage 3 Guideline vergunningen

In aanvulling op de in het voorjaar van 2015 beschikbaar gestelde ‘lessons-learned’ van het voor de aanleg van de proefsectie doorlopen vergunningenproces (EcoShape, 2015b), zijn nu ook de procedures voor een toekomstig vergunningentrajec ten behoeve van een meer grootschaliger voorlandoplossing (voor bijvoorbeeld een groot deel van de Houtribdijk) in kaart gebracht.

Daarbij is gebruik gemaakt van de ervaringen van de bij de pilot betrokken partijen.

In dit rapport is getracht het vergunningenproces voor zandige versterkingen zowel procesmatig als inhoudelijk te beschrijven. Daarbij is eerst ingegaan op het proces en zijn vervolgens zowel de inhoudelijke kant van de vergunningen als de bijbehorende onderzoeken nader belicht, dit met een focus op de toepassing van zandige versterkingen in het Markermeer en IJsselmeergebied.

Bij de beschrijving van het integrale proces is onderscheid gemaakt tussen een viertal opeenvolgende stappen, te weten het uitvoeren van een zogenaamde omgevingsscan, het definiëren van een vergunningenstrategie en vervolgens het aanvragen van de benodigde vergunningen en het doorlopen van de verschillende procedures.

Vervolgens is een overzicht gegeven van de verschillende vergunningen.

De belangrijkste zijn daarbij het projectplan Waterwet (Watervergunning), de Omgevingsvergunning, de Nb-wet vergunning, de Flora- en faunavergunning en de Ontgrondingsvergunning voor de zandwinning. Per vergunning is aangegeven welke wetgeving relevant is, welke onderbouwing er nodig is en welke bevoegde gezagen en procedures er nodig zijn. Ook is in de vorm van een tabel een overzicht gegeven van een vijftiental onderzoeken die in dit kader relevant kunnen zijn.

Aansluitend is nog ingegaan op specifiek voor de zandwinning en uitvoering benodigde uitwerkingen. Aandachtspunt daarbij is onder andere dat een kosteneffectieve aanleg van een zandige versterking gebaat is bij een eigen zandwinning en een kosteneffectieve uitvoering. Dit kan worden bereikt door de aannemer zoveel mogelijk vrijheidsgraden te gunnen. Dit laatste heeft echter ook weer consequenties voor het MER en de vergunningaanvragen die hier adequaat op moeten inspelen.

Samenvattend geeft dit document een overzicht van alles wat er rondom vergunningen speelt en kan zo als guideline worden gebruikt voor verkrijgen van de benodigde vergunningen voor de daadwerkelijke aanleg van een zandige versterking.

Dit document is inmiddels opgeleverd en op de website beschikbaar gemaakt (EcoShape, 2016a).

Bijlage 4 Lessons-learned aanleg

Deze rapportage is inmiddels afgerond en vastgesteld (EcoShape, 2015b).

Deze notitie inmiddels via de website beschikbaar gemaakt.

Bijlage 5 Guideline aanleg

In aanvulling op de in het voorjaar van 2015 beschikbaar gestelde 'lessons-learned' van de aanleg van de proefsectie (EcoShape, 2015b), is nu ook een leidraad aanleg opgesteld.

Deze leidraad gaat in op aspecten waarmee rekening moet worden gehouden bij de aanleg van een zachte versterking, ofwel een versterking met een grondlichaam. Het gaat daarbij om de relatie maar ook verschillen tussen wat er wordt uitgerekend en hoe dat kan worden aangelegd, maar ook hoe de wijze van uitvoering weer van invloed kan zijn op het ontwerp.

Een belangrijk onderwerp is, naast natuurlijk de inpassing in de omgeving, ook hoe ontwerp en grondstromen met elkaar samenhangen en wat daarbij onder andere in termen van effecten en vergunningsvoorwaarden komt kijken. Ook de wijze waarop de aanleg het beste in een contract kan worden gezet vraagt de nodige aandacht, vooral als er sprake is van onzekerheden wat betreft zetting en morfologische ontwikkeling van het profiel. Beheer en onderhoud zijn immers vaak een zorgpunt voor de dijkbeheerder en verdienen ook een plaats in dit overzicht.

Parallel aan het opstellen van deze guideline is ook gewerkt aan een guideline voor het vergunningenproces (EcoShape, 2016a). Waar relevant wordt er naar deze notitie verwezen.

De notitie begint met een korte beschouwing over de *pilot Houtribdijk* en de daaruit volgende aandachtspunten. Hierbij is ook aangegeven wat de verschillen zullen zijn tussen een dergelijke kleinschalige aanleg en de realisatie van een veel grotere zandige versterkingsopgave.

Aansluitend is eerst aandacht gegeven aan de *onderlinge samenhang* tussen de voornaamste onderwerpen, namelijk het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van een zandige versterking. Het onderlinge verband hangt direct samen met het feit dat een natuurlijke kering wordt gebouwd met grond en dat de kosten vooral afhankelijk zijn van de wijze van uitvoering en de beschikbaarheid van grond. Een illustratief overzicht van deze relaties is gegeven in een tabel waarin enkele verbanden worden gelegd tussen ontwerp, aanleg en onderhoud en hoe deze relateren aan veiligheid, grondstromen medegebruik, MER, vergunningen en.

Bij de aanleg van een zandige versterking is het goed om expliciet onderscheid te maken tussen *vier typen maatregelen*, namelijk de waarborging van de veiligheid, de onderhoudslaag en onderhoud beperkende constructies, de constructies en werken ten behoeve van mitigatie en compensatie en als vierde de aanvullende maatregelen ten behoeve van het voorziene medegebruik.

Voor wat betreft de *vormgeving van het dwarsprofiel* kan onderscheid worden gemaakt tussen verschillende soorten profielen. Het gaat daarbij om het rekenprofiel, het ontwerpprofiel, het aanlegprofiel en het dynamische evenwichtsprofiel. Deze worden in deze guideline op hoofdlijnen behandeld maar komen in de nog op te stellen 'guideline ontwerp' nog uitgebreider aan bod.

De voor de aanleg benodigde/mogelijke/beschikbare *grondstromen* spelen een belangrijke rol in het ontwerp en zijn bepalend voor de met een zandige versterking samenhangende kosten. Aandachtspunten zijn hierbij de opbouw en mogelijke aanlegwijzen en de inzet van verschillende zandfracties. Ook wordt

hierbij nog aandacht besteed aan de bodemopbouw binnen het IJsselmeergebied en de mogelijke baggerschema's.

Bij versterkingen in het IJsselmeergebied op basis van een eigen zandwinning komt ook een groot volume aan dekgrond vrij. Hoe met deze *dekgrond* om te gaan, constructief aanwenden, omputten of inzetten voor natuurontwikkeling, is een belangrijke keuze in het ontwerpproces.

De wijze van *aanleg en uitvoering* is afhankelijk van de grondstromen en de inzet van materieel. Verder spelen ook de optredende verliezen en de effecten van zettingen van de ondergrond een belangrijke rol en moet er bovendien rekening worden gehouden met de effecten op de natuur.

De benodigde voorbereidingen hebben betrekking op het aanvragen van vergunningen en het opstellen van een MER. Aandachtspunten daarbij zijn de locatie en omvang van de zandwinning, het beschouwen van archeologische en natuurwaarden, maar ook de tijdens de aanleg optredende vertroebeling. Verder moet er op voorhand rekening worden gehouden met bijvoorbeeld de mogelijkheden voor het bergen van dekgrond.

De contractuele aspecten vormen een belangrijk aandachtspunt. Er moet daarbij worden gezocht naar een voldoende ruimte voor de opdrachtnemer voor de uitvoering, ontwerpvrijheid binnen een kader van minimale ontwerptechnische eisen en vergunningsvoorwaarden en de juiste prikkels voor het realiseren van een potentiële win-win voor natuur, landschap en medegebruik.

Dit document is inmiddels opgeleverde en op de website beschikbaar gemaakt (EcoShape, 2016b).

Bijlage 6

Guideline beheer en onderhoud

Deze guideline zal pas op termijn (2016/17) kunnen worden ingevuld. Eerst is daarbij immers inzicht nodig in tenminste de ontwikkeling van de op de proefsectie aangebrachte vegetatie.

Wel zal in een eerder stadium een eerste voorzet (inhoudsopgave) worden opgesteld waarmee aanvullend richting wordt gegeven aan de invulling van deze guideline.

Bijlage 7

Plan van aanpak toetsingsprotocol

Dit product zal pas op termijn (2016/17) kunnen worden ingevuld.

Wel zal in een eerder stadium een eerste voorzet worden opgesteld waarmee aanvullend richting wordt gegeven aan de invulling van dit protocol.

Colofon

PILOT VOORLANDOPLOSSING HOUTRIBDIJK INTERIM-RAPPORTAGE FEBRUARI 2017

OPDRACHTGEVER:

RWS/EcoShape-stuurgroep Pilot Houtribdijk

STATUS:

Definitief

AUTEUR:

Henk Steetzel
Robbin van Santen
Jerker Menninga
Vincent Vuik (HKV)
Ellis Penning (Deltares)
Marieke de Lange (Alterra)

GECONTROLEERD DOOR:

Henk Steetzel

VRIJGEGEVEN:

22 februari 2017
079132021:A

EcoShape, Building with Nature

Burgraadt Gebouw
Burgemeester de Raadsingel 69
3311 JG Dordrecht
Tel: +31 (0)78 6111 099
Fax: +31 (0)78 6111 090
E-mail: info@EcoShape.nl
Website: www.EcoShape.nl

Disclaimer:

De in deze rapportage opgenomen informatie in is vrij toegankelijk en vrij te gebruiken. Hoewel ten tijde van publicatie deze informatie met de grootste zorg is samengesteld, zijn de gebruikers ervan zelf volledig verantwoordelijk voor het gebruik en interpretatie van de informatie.