

**HYDROMORFOLOGISCHE EFFECTEN KOPPELPROJECTEN DIJKVERSTERKING
EEMSHAVEN – DELFZIJL**

PROVINCIE GRONINGEN

11 februari 2016
078589928:A - Definitief
C03041.002103.0100



Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inleiding | 3 |
| 1.1 | Aanleiding..... | 3 |
| 1.2 | Doel..... | 3 |
| 1.3 | Leeswijzer..... | 3 |
| 2 | Maatregelen | 4 |
| 2.1 | Inleiding..... | 4 |
| 2.2 | Beschrijving..... | 5 |
| 3 | Model opzet | 7 |
| 3.1 | Inleiding..... | 7 |
| 3.2 | Rekenroosters en aandrijving..... | 7 |
| 3.3 | Schematisatie maatregelen..... | 8 |
| 4 | Resultaten | 10 |
| 4.1 | Inleiding..... | 10 |
| 4.2 | Normale condities..... | 10 |
| 4.2.1 | Stroomsnelheden..... | 10 |
| 4.2.2 | Schuifspanningen..... | 14 |
| 4.2.3 | Lokale effecten..... | 18 |
| 4.2.4 | Debieten..... | 19 |
| 4.2.5 | Conclusie..... | 21 |
| 4.3 | Extreme condities..... | 22 |
| 4.3.1 | Afleiding 1:100 jaar conditie..... | 22 |
| 4.3.2 | Effect op golfhoogtes..... | 23 |
| 4.3.3 | Effect op orbitaalsnelheden..... | 25 |
| 4.3.4 | Conclusie..... | 28 |
| 4.4 | Ecologische beoordeling KRW..... | 29 |
| 4.4.1 | Waterlichaam Eems-Dollard..... | 29 |
| 4.4.2 | KRW doelstellingen..... | 29 |
| 4.4.3 | Effectbeoordeling biologische waterkwaliteit Eems-Dollard (NL81_2)..... | 30 |
| 4.4.4 | Conclusie..... | 33 |
| 5 | Dubbele Dijk | 34 |
| 5.1 | Inleiding..... | 34 |
| 5.2 | Schematisatie..... | 35 |
| 5.2.1 | Model rooster..... | 35 |
| 5.2.2 | Schematisatie maatregel..... | 35 |
| 5.3 | Normale condities..... | 36 |
| 5.3.1 | Stroomsnelheden..... | 37 |
| 5.3.2 | Schuifspanningen..... | 38 |
| 5.3.3 | Lokale effecten..... | 40 |
| 5.3.4 | Conclusie..... | 42 |

| | | |
|------------------|---|-----------|
| 6 | Verwijdering Griesberg..... | 44 |
| 7 | Conclusies en aanbevelingen | 49 |
| | Referenties..... | 51 |
| Bijlage 1 | Berekende tijdseries waterstand, stroomsnelheid en schuifspanning..... | 52 |
| Bijlage 2 | Berekende tijdseries debieten | 55 |
| Bijlage 3 | Hydra-K berekeningen | 60 |
| Bijlage 4 | Ontwerp Dubbele Dijk – variant 4 | 62 |

1 Inleiding

1.1 AANLEIDING

Dijkverbetering Eemshaven-Delfzijl

Het dijktraject tussen Eemshaven en Delfzijl moet worden verbeterd. De Provincie Groningen en Waterschap Noorderzijlvest zien de kans om het concept Rijke Dijk te combineren met de dijkverbetering.

Rijke Dijk

Het Rijke Dijk concept streeft naar ecologische verrijking van waterbouwkundige werken door toepassing van verbeterde ontwerpen. Hierbij is het behoud, en zo mogelijk de verbetering, van de originele waterbouwkundige functie het uitgangspunt. Het resultaat is een grotere biodiversiteit, een aantrekkelijker kustlandschap en een gunstige invloed op de kwaliteit van het aangrenzende watersysteem.

1.2 DOEL

Het doel van de studie is drieledig:

1. Bepaal de effecten van de Rijke-Dijk-maatregelen op waterbeweging, sedimenttransport en morfologie en stel aanpassingen voor als ongewenste effecten te verwachten zijn.
2. Bepaal de effecten van de maatregelen op waterveiligheid en stel aanpassingen voor als ongewenste effecten te verwachten zijn.
3. Bepaal de effecten van de maatregelen op het tijdig realiseren van de doelen volgens de Kader Richtlijn Water (KRW) en stel aanpassingen voor als ongewenste effecten te verwachten zijn.

1.3 LEESWIJZER

Hoofdstuk 2 beschrijft de voorgenomen Rijke Dijk maatregelen. Hoofdstuk 3 behandelt de opzet en aandrijving van het toegepaste model om de effecten te berekenen en de wijze waarop de maatregelen in het model zijn geschematiseerd. Hoofdstuk 4 presenteert de resultaten en de vertaling ervan. Hoofdstuk 5 staat stil bij de inpassing van het Dubbele Dijk concept. Hoofdstuk 6 bespreekt de effecten van het verwijderen van de griesberg zoals dat in een eerdere studie is berekend en tot slot vat hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen samen.

2 Maatregelen

2.1 INLEIDING

Langs het dijktraject Eemshaven en Delfzijl staan vijf Rijke Dijk - maatregelen gepland (Grontmij, 2015). Dit zijn de volgende:

1. Verruwing van het buitentalud
2. Aanleg recreatieve getijdepoeltjes
3. Aanpassen strekdammen
4. Aanleg vogelbroedeiland
5. Verbeteren potentie mosselbanken (doormiddel van een palenbos)

Figuur 1 toont de locatie van de maatregelen. Hieronder worden de maatregelen kort toegelicht.



Figuur 1. Rijke Dijk – maatregelen op het traject (Grontmij, 2015)

2.2 BESCHRIJVING

Ad. 1. Verruwing van het buitentalud

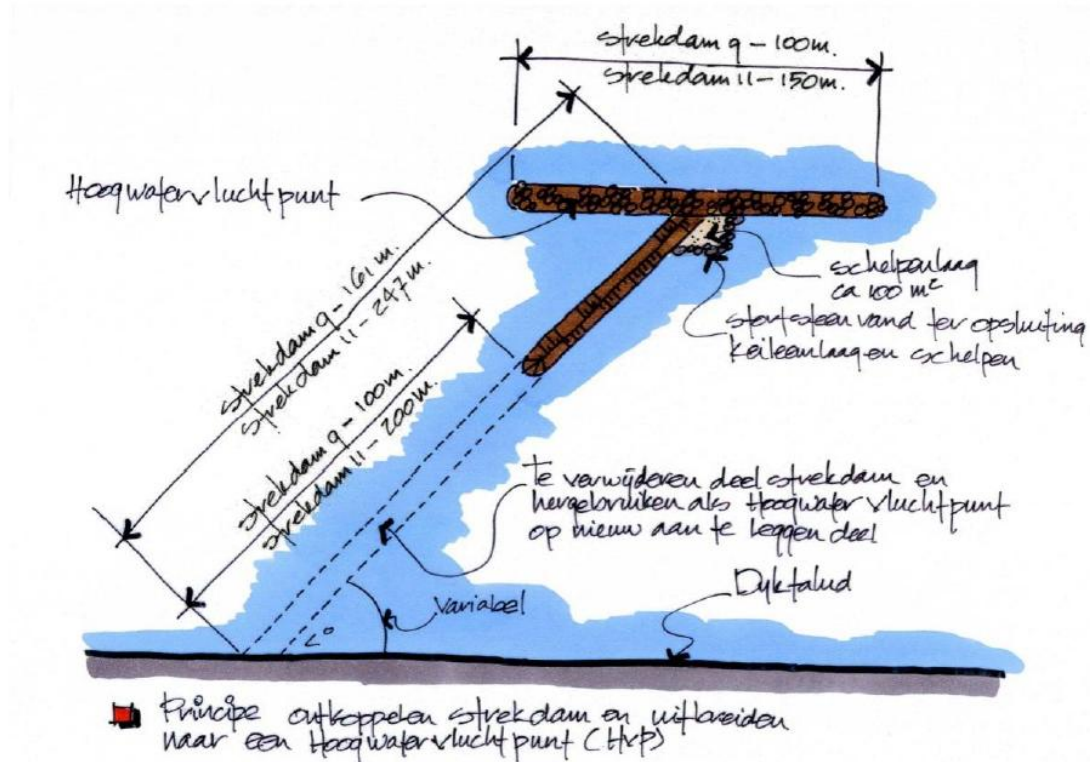
Op delen van de dijk moet de bekleding worden vervangen. De nieuwe bekleding wordt zo vormgegeven dat organismen zich onder water beter kunnen vestigen. Uit studies in de Westerschelde blijkt dat vervangen van betonzuiltjes door geplaatste breuksteen de aanhechtingsoppervlakte voor wieren, mossels en andere organismen met een factor 10 of meer kan vergroten. Hierdoor wordt het voedselaanbod voor andere organismen in de voedselketen (o.a. vogels) vergroot.

Ad 2. Aanleg recreatieve getijdepoeltjes

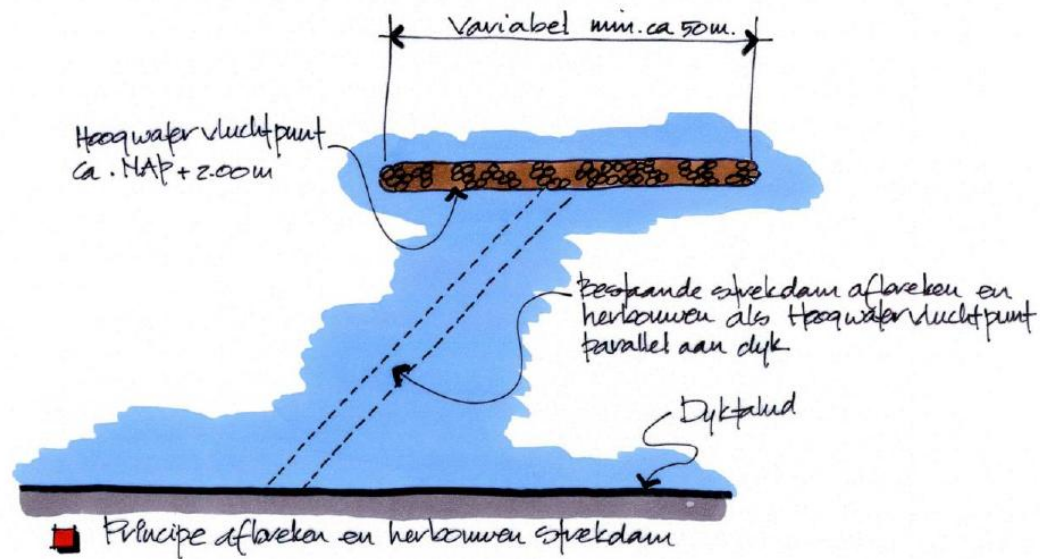
Getijdepoeltjes zijn bedoeld om het water langs de dijk vast te houden met laagwater zodat verschillende dieren hier een verblijfplaats kunnen vinden. In de poelen ontstaat een (zichtbare) diversiteit aan flora en fauna, die als voedselbron voor vogels kunnen dienen en ook een belangrijke educatieve/recreatieve functie hebben.

Ad 3. Aanleg hoogwatervluchtplaatsen en broedplaatsen voor vogels aan bestaande strekdammen

De huidige strekdammen worden deels al gebruikt als hoogwatervluchtplaats. Deze plekken worden geoptimaliseerd door ze te ontkoppelen van de kust en/of te draaien (figuur 2 en figuur 3). Bij de strekdammen worden op twee locaties schelpenstrandjes aangelegd als mogelijke broedplaats voor o.a. bontbekplevieren. De mogelijkheden voor vogels om te overtijen en ongestoord te broeden worden daardoor vergroot.



Figuur 2. Ontkoppeling van strekdam 9 en 11 als hoogwatervluchtplaats (Grontmij, 2015)



Figuur 3. Strekdammen 6, 7 en 8 gedraaid als hoogwatervluchtplaats (Grontmij, 2015)

Ad 4. Aanleg vogeleiland

Ter hoogte van Nieuwstad wordt een vogeleiland aangelegd. Het eiland dient als broedplaats voor sterns en visdieven. Daarnaast dient deze locatie buiten het broedseizoen als hoogwatervluchtplaats. Het eiland is minimaal twee hectare groot. De kruinhoogte voor de broedfunctie moet boven de gemiddeld hoogste hoogwaterlijn komen te liggen en voldoende laag zijn om in de winter te worden overspoeld door golven. Dit voorkomt duurzame vegetatieopslag en ophoping van vogelmest. Vanwege de impact hiervan op het landschap wordt het eiland zorgvuldig landschappelijk ingepast door een uitgekiende vormgeving.

Ad 5. Verbeteren potentie mosselbanken

Ter hoogte van het gemaal Spijksterpompen bevinden zich al jaren mosselbanken, die in omvang variëren. De laatste jaren is de omvang van de mosselbanken sterk afgenomen. Voor het verbeteren van de herkolonisatie van de mosselbanken wordt een palenbos geplaatst. De palen zijn voorzien van touwen waaraan mosselen zich makkelijk kunnen hechten.

3 Model opzet

3.1 INLEIDING

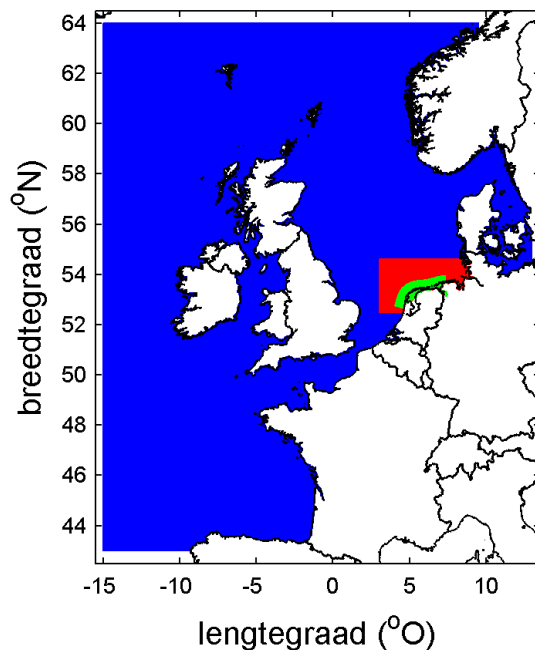
Voor het doel van deze studie is het door ARCADIS gebouwde Delft3D-model van het Eems-Dollard estuarium zodanig aangepast dat de Rijke-Dijk-maatregelen er met voldoende detail in geschematiseerd kunnen worden. We werken met een gekalibreerde basismodel zoals dat in eerdere studies is toegepast. Het Eems-Dollard model wordt aangedreven door drie grootschaliger modellen.

3.2 REKENROOSTERS EN AANDRIJVING

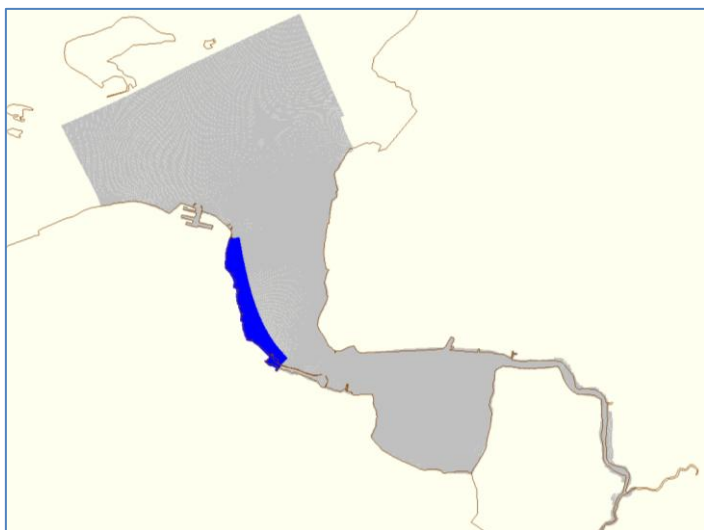
Het Eems-Dollard model wordt aangedreven door de volgende grootschalige modellen:

- DCSMv6 model (Deltares, 2013)
- DCSMv6 3x verfijnd
- Kustwad

Het DCSMv6 model wordt op de open rand aangedreven met amplitudes en fases van de getijcomponenten Q1, O1, P1, K1, N2, M2, S2, K2, SA, 2Q1, SIGMA1, RO1, CHI1, PI1, FI1, THETA1, 2N2, MU2, NU2, LABDA2, L2 en T2. Figuur 4 toont de rekenroosters van bovengenoemde modellen. Het getij plant zich via deze modellen voort naar de Eems-Dollard. Figuur 5 toont de roosters van het Eems-Dollard model en het Rijke Dijk model.



Figuur 4 Overzicht van de grootschalige rekenroosters (blauw = DCSMv6, rood = DCSMnest, groen = Kustwad).



Figuur 5 Overzicht van de detailrekenroosters (grijs = Eems-Dollard, blauw = Rijke Dijk).

3.3 SCHEMATISATIE MAATREGELEN

Langs het dijktraject staan vijf Rijke Dijk - maatregelen gepland. Dit zijn:

1. Verruwing van het buitentalud
2. Aanleg recreatieve getijdepoeltjes
3. Aanpassen strekdammen
4. Aanleg vogelbroedeiland
5. Verbeteren potentie mosselbanken (doormiddel van een palenbos)

Hieronder wordt de wijze van schematisatie besproken. De recreatieve getijdepoeltjes en het palenbos worden vanwege hun beperkte omvang niet in het model geschematiseerd.

Ad.1. Verruwing van het buitentalud

De verruwing van het buitentalud wordt geschematiseerd als een hogere bodemruwheid. Dit zal leiden tot lagere stroomsnelheden dicht bij de dijk.

Ad.2 Aanleg recreatieve getijdepoeltjes

Er worden vijf poelen aangelegd in grootte oplopend van circa 5 x 2 m (nabij stadsstrand Delfzijl), tot 10 x 2 m, 12 x 2 m, 15 x 2 m en 20 x 2 m richting Eemshaven. Dit is dusdanig klein dat ze op de stroming een verwaarloosbaar effect zullen hebben. De getijdepoeltjes worden daarom niet in het model geschematiseerd.

Ad.3 Aanpassen strekdammen

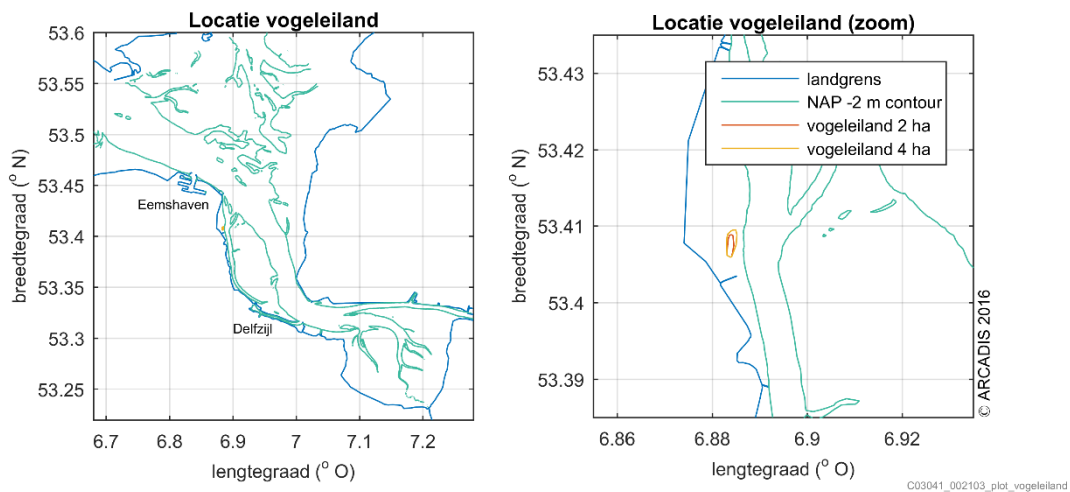
De strekdammen worden geschematiseerd als lokale overlaat. De maatregel bestaat dan uit verlengen, verleggen en ontkoppelen van de kust.

Ad.4 Aanleg vogelbroedeiland

Ter hoogte van de Oostpolderdijk wordt een broedeiland aangelegd voor sterns en visdieven met een beoogd oppervlak van 2-4 ha (20.000-40.000 m²). Het eiland wordt langgerekt in noord-zuidrichting

aangelegd op NAP +2,80 m. Figuur 6 toont de in het model aangebracht locatie en dimensies van het vogeleiland. Om de effecten zo duidelijk mogelijk in beeld te brengen is het 2 ha eiland in het model iets groter dan beoogd namelijk met een lengte van ongeveer 330 m en een breedte van ongeveer 75 m. Ook het 4 ha eiland is in het model groter namelijk met een lengte van ongeveer 360 m en een breedte van 120 m. Het eiland is in het model aangebracht als erosiebestendig.

Het eiland is in het model aangebracht in een betrekkelijk ondiepe zone aan de rand van de geul Bocht van Watum (figuur 6). De minimale afstand tot de kust bedraagt 300 m. De afstand tot de dichtstbijzijnde strekdam 11 bedraagt ongeveer 320 m. Figuur 6 illustreert de betrekkelijk geringe dimensies van het eiland in vergelijking met de geulen Bocht van Watum en het Oostfriesche Gaatje en de plaat Hond-Paap.



Figuur 6. Locatie vogeleiland

Ad.5 Verbeteren potentie mosselbanken (doormiddel van een palenbos)

Uitgaande van 30 palen met een onderlinge afstand van 2 m in een rechthoekige vorm met 5x6 palen komen we aan een oppervlak van $10 \times 12 = 120 \text{ m}^2$. Dit is dusdanig klein dat dit een verwaarloosbaar effect zal hebben op het grootschalig stromingspatroon. De palen worden daarom niet in het model geschematiseerd.

4 Resultaten

4.1 INLEIDING

Voor normale condities zijn berekeningen gemaakt voor een springtij-doodtij cyclus van ruim 14 dagen voor de situatie zonder (huidig) en met maatregelen (met Rijke Dijk). Voor extreme condities zijn berekeningen gemaakt voor een situatie van wind, waterstand en golven met een overschrijdingsfrequentie van 1/100 jaar.

Dit hoofdstuk presenteert in par. 4.2 de effecten van de Rijke Dijk maatregelen op basis van stromingskaarten, schuifspanningskaarten en tijdseries van stroomsnelheden, schuifspanningen op enkele representatieve locaties en tijdseries van debieten door de Bocht van Watum. In par. 4.3 wordt de 1:100 jaar conditie afgeleid en worden de effecten van de maatregelen op de golfhoogtes gepresenteerd. In par. 4.4 worden de effecten ecologisch beoordeeld.

4.2 NORMALE CONDITIES

4.2.1 STROOMSNELHEDEN

Bestaande situatie

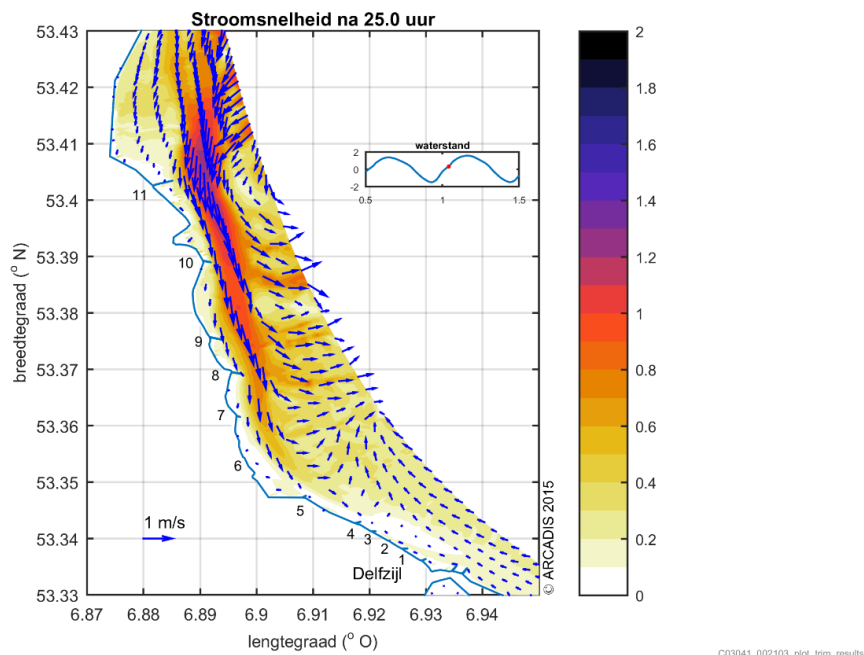
Figuur 7 toont een voorbeeld van berekende dieptegemiddelde stroomsnelheden tijdens opkomend tij in de bestaande situatie. Er is gekozen voor de fase van het getij waarin het effect van de Rijke Dijk maatregelen het duidelijkst zichtbaar is.

Duidelijk is in deze figuur te zien dat het water het estuarium binnenstroomt in deze fase van het getij. In het noorden in de Bocht van Watum liggen de snelheden in de orde van 1 m/s. Verder naar het zuiden, ter hoogte van Delfzijl, is de dieptegemiddelde snelheid in de Bocht van Watum veel lager, namelijk ongeveer 0,2 m/s. De zandplaat Hond-Paap loopt in deze fase van het getij juist onder water. Dit vindt plaats zowel via de Bocht van Watum als via het Oostfriesche Gaatje. Een groot deel van het getijdebiet door de Bocht van Watum komt ten goede aan het onderlopen van de zandplaat waardoor er in het zuiden van de geul minder overblijft. De zandplaat wordt in deze fase van het getij ook vanuit het zuiden aangestroomd via het Oostfriesche Gaatje.

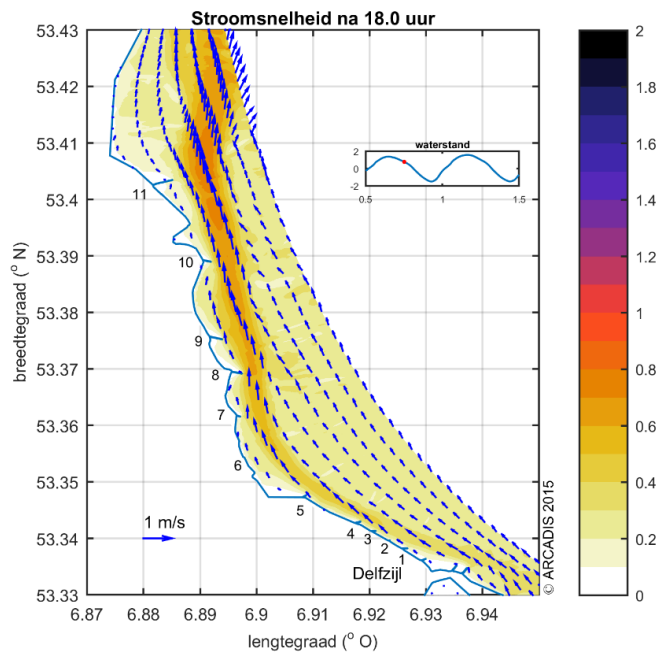
Ter hoogte van het geplande vogeleiland zijn de stroomsnelheden ook voldoende groot om zand en slib in beweging te brengen. Om afkalving van het eiland tegen te gaan zullen de buitentaluds tegen erosie beschermd moeten worden met bijvoorbeeld steenbestorting. Een alternatieve benadering is om erosie van een beschermd zandlichaam toe te staan, zoals dat bijvoorbeeld bij de bescherming van het vogeleiland Griend in de westelijke Waddenzee gebeurt.

Figuur 8 toont een voorbeeld van berekende dieptegemiddelde stroomsnelheden tijdens afgaand tij in de bestaande situatie. In het noorden van de Bocht van Watum zijn de snelheden orde 1 m/s. Het debiet door het noorden van deze geul wordt echter voor een groot deel bepaald door afstroming van de zandplaat Hond-Paap. Een zeer klein deel van het debiet vanuit de Dollard stroomt af via de Bocht van Watum. Het grootste deel van het totale ebdebiet, ook van de zandplaat, loopt door het Oostfriesche Gaatje.

De Bocht van Watum speelt vrijwel geen rol in het grootschalige getijverhangsysteem in het estuarium: het is in termen van getijdebiet nauwelijks een doorgaande getijgeul. Het noordelijk deel van de geul speelt daarentegen wel een belangrijke rol bij de vulling en lediging van een min of meer eigen kombergingsgebied dat grotendeels bestaat uit de (westzijde van de) Hond-Paap.



Figuur 7. Snelheden tijdens opkomend tij (incl. strekdamnummers)

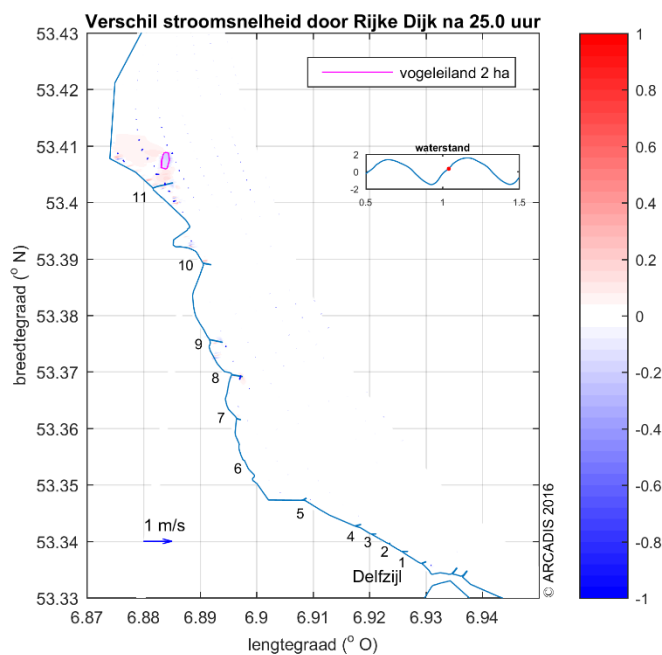


C03041_002103_plot_trim_results

Figuur 8. Stroomsnelheden tijdens afgaand tij (incl. strekdamnummers)

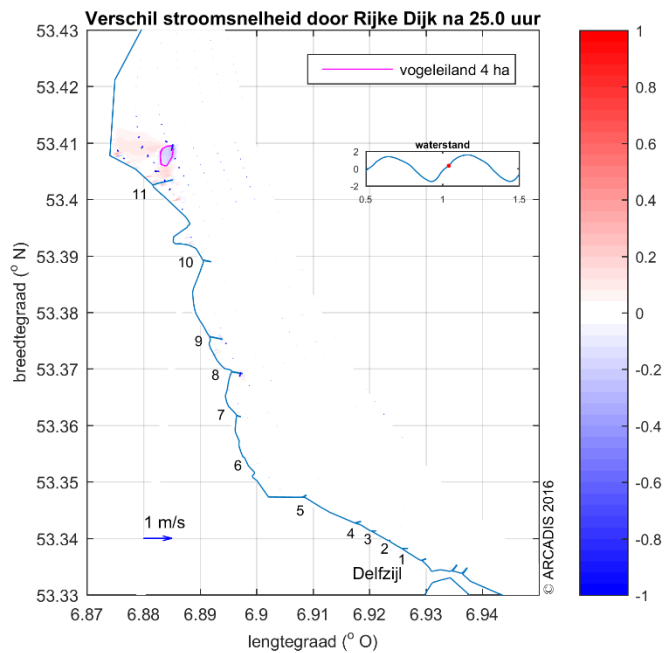
Effecten Rijke Dijk

Figuur 9 toont het effect van de Rijke Dijk maatregelen op de stroomsnelheden bij opkomend tij. Met name ter hoogte van de ont koppeling bij strekdam 11 ten westen van het 2 ha vogeleiland is een toename van de stroomsnelheid met hooguit enkele decimeters per seconde zichtbaar. In veel mindere mate en omvang is de toename van de stroomsnelheid ook bij strekdammen 8 en 9 zichtbaar. Ook ten zuiden van het vogeleiland nemen de stroomsnelheden iets toe. Het water wil als het ware om het vogeleiland heen om door de ont koppeling bij strekdam 11 te stromen. Bij een vogeleiland van 4 ha is het effect iets geprononceerder maar blijft dit nog steeds beperkt tot $< 0,2$ m/s (figuur 10).



C03041_002103_plot_trim_results

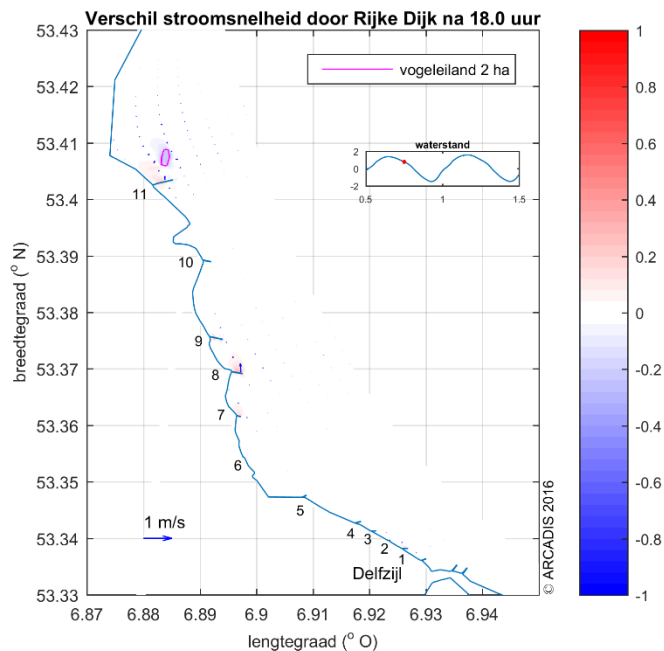
Figuur 9. Verschil in stroomsnelheden tijdens opkomend tij (incl. strekdamnummers) met vogeleiland 2 ha



C03041_002103_plot_trim_results

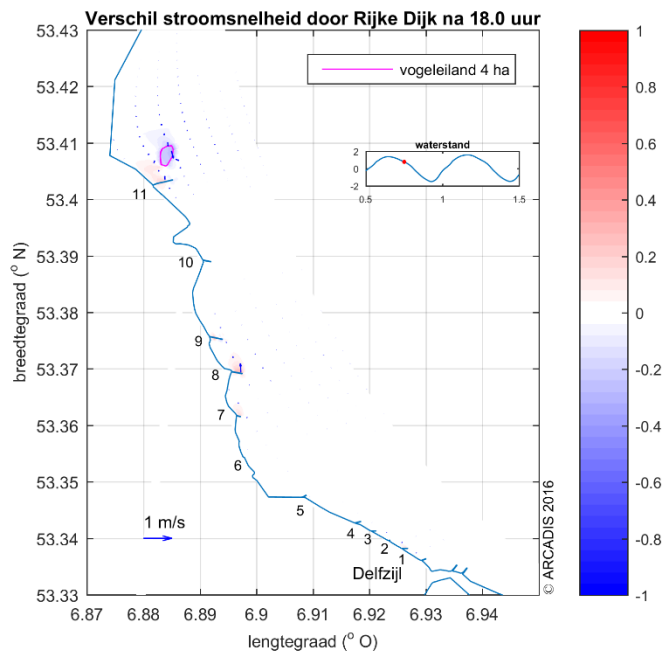
Figuur 10. Verschil in stroomsnelheden tijdens opkomend tij (incl. strekdamnummers) met 4 ha vogeleiland

Figuur 11 toont het effect op de stroomsnelheden bij afgaand tij. Hier is een toename van de stroomsnelheid met enkele decimeters per seconde zichtbaar bij met name strekdam 11, 9, 8 en 7. Het 2 ha vogeleiland zorgt voor enige stromingsluwte ten noorden ervan. Een vogeleiland van 4 ha veroorzaakt een iets groter luwtegebied tot ongeveer 300 m ten noorden van het eiland (figuur 12).



C03041_002103_plot_trim_results

Figuur 11. Verschil in stroomsnelheden tijdens afgaand tij (incl. strekdamnummers) met vogeleiland 2 ha



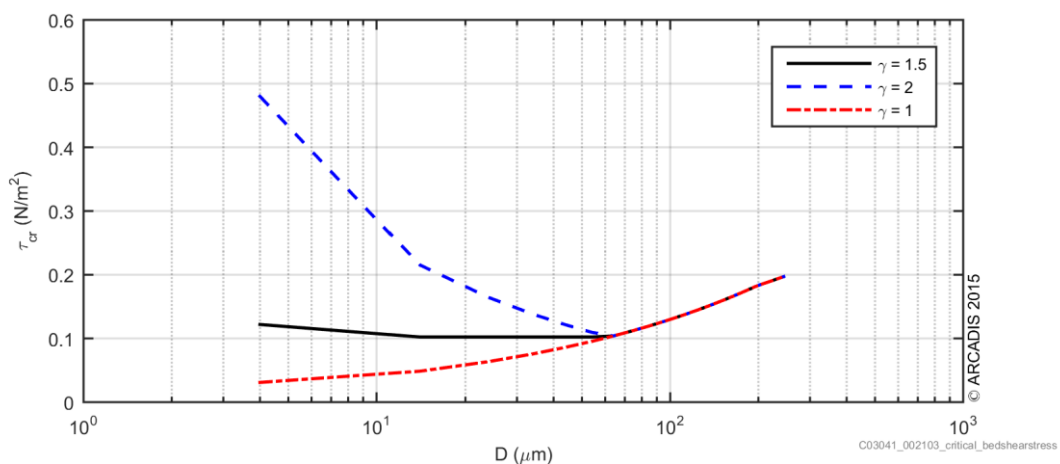
C03041_002103_plot_trim_results

Figuur 12. Verschil in stroomsnelheden tijdens afgaand tij (incl. strekdamnummers) met vogeleiland 4 ha

4.2.2 SCHUIFSPANNINGEN

Bestaande situatie

Figuur 14 toont de bodemschuifspanning in de bestaande situatie tijdens opkomend tij. Het water stroomt het estuarium binnen in deze fase van het getij. In het noorden in de Bocht van Watum liggen de snelheden in de orde van 1 m/s en zijn de schuifspanningen daardoor voldoende groot om zand en slib in beweging te brengen (zie figuur 13 voor kritieke bodemschuifspanning voor begin van beweging).

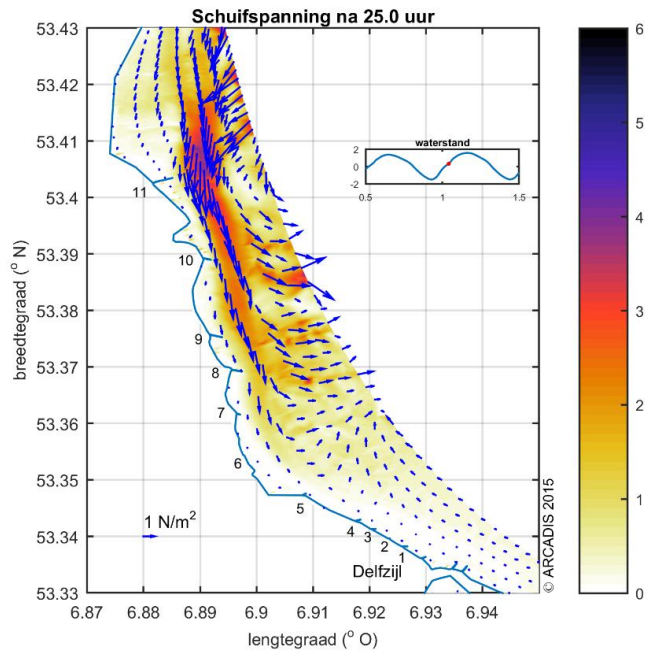


C03041_002103_critical_bedshearstress

Figuur 13. Kritieke bodemschuifspanning volgens Van Rijn (2007).

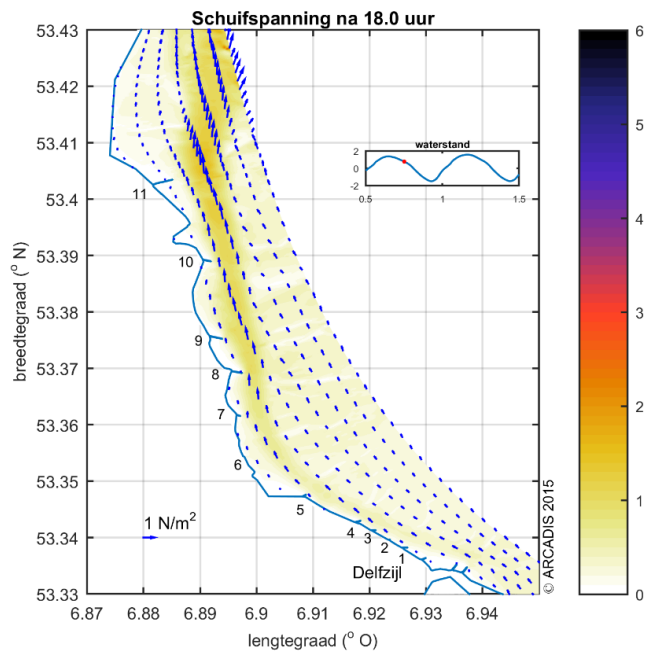
Verder naar het zuiden, ter hoogte van Delfzijl, is de dieptegemiddelde snelheid in de Bocht van Watum veel lager, namelijk ongeveer 0,2 m/s. De bodemschuifspanning is ook veel lager en zand en slib wordt hierdoor minder gemakkelijk opgepakt door het water. Ook rond de strekdammen zijn de

schuifspanningen betrekkelijk laag. Tijdens afgaand tij zijn de schuifspanningen in de geul ook het hoogst en voldoende groot om zand en slib in beweging te brengen (figuur 15). Ook in deze fase van het getij zijn de bodemschuifspanningen rond de strekdammen veel lager.



C03041_002103_plot_trim_results_tau

Figuur 14. Schuifspanningen tijdens opkomend tij



C03041_002103_plot_trim_results_tau

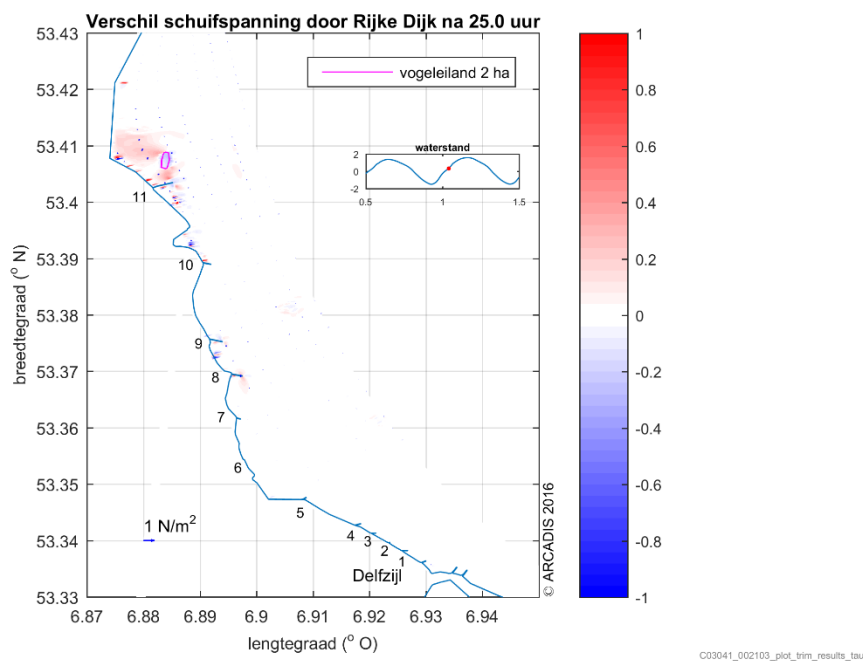
Figuur 15. Schuifspanningen tijdens afgaand tij

Effecten Rijke Dijk

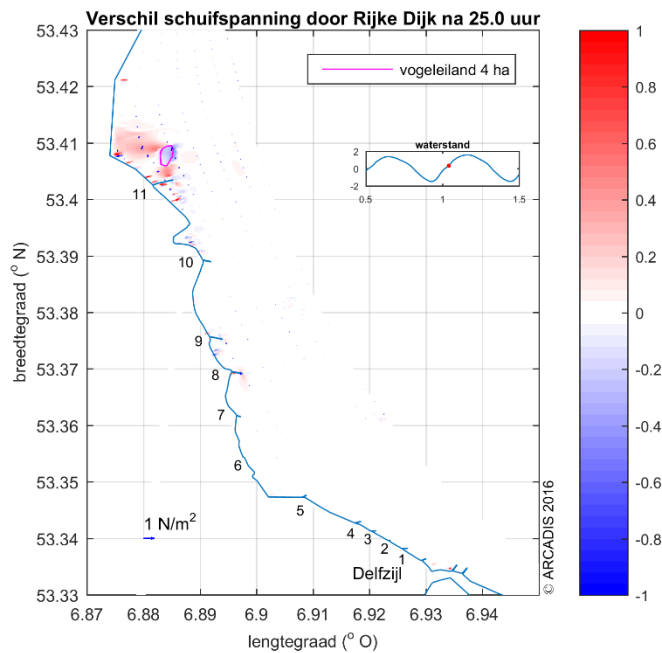
Figuur 16 toont het effect van de Rijke Dijk maatregelen op de bodemschuifspanning. Deze vertoont logischerwijs overeenkomst met het effect op de stroomsnelheden in figuur 9. Met name ter hoogte van de ont koppeling bij strekdam 11 is een toename van de schuifspanningen met $\sim 0,1 \text{ N/m}^2$ zichtbaar. In veel mindere mate en omvang is de toename van de stroomsnelheid ook bij strekdammen 8 en 9 zichtbaar.

Ook ten zuiden van het vogeleiland van 2 ha zijn de schuifspanningen bij opkomend tij hoger. Het water wil als het ware om het vogeleiland heen om door de ont koppeling bij strekdam 11 te stromen. Bij een vogeleiland van 4 ha is het effect iets geprononceerder (figuur 17). Het water moet om een iets groter obstakel heen om door de ont koppeling bij strekdam 11 te stromen.

De toename van de schuifspanning is zodanig dat zand en slib in beweging kan komen waar dat in de bestaande situatie niet het geval was. In deze zones is een kleine aanpassing van de bodem (verlaging) te verwachten om tot een nieuw evenwicht te komen. Voortschrijdende erosie zal hier niet optreden.



Figuur 16. Verschil in schuifspanningen tijdens opkomend tij met vogeleiland 2 ha

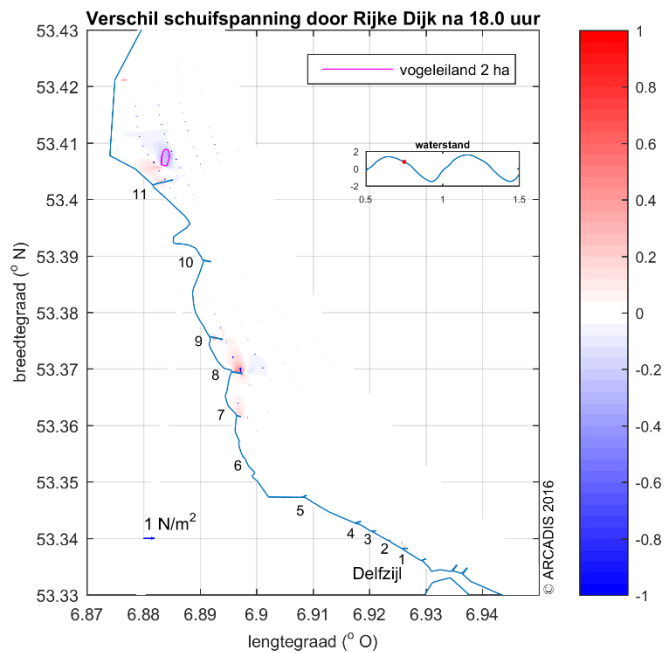


C03041_002103_pilot_trim_results_tau

Figuur 17. Verschil in schuifspanningen tijdens opkomend tij met vogeleiland 4 ha

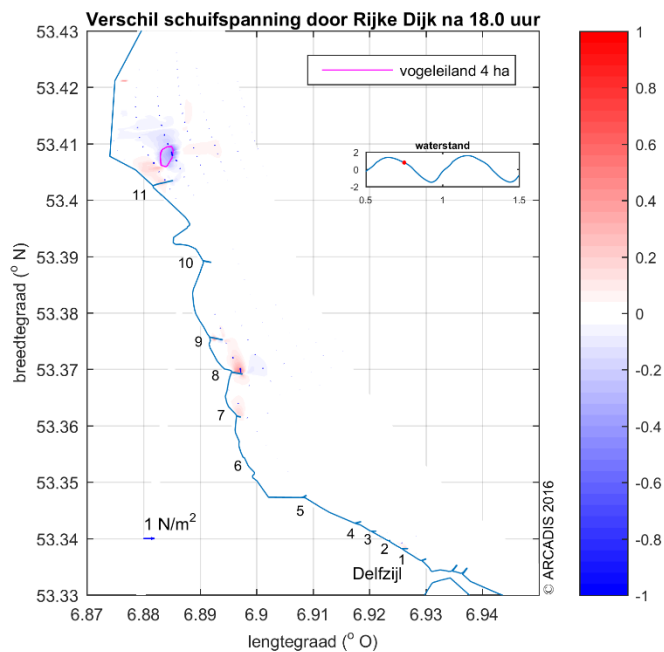
Figuur 18 toont het effect op de schuifspanningen bij afgaand tij. Hier is een toename van de schuifspanning met $\sim 0,1 \text{ N/m}^2$ zichtbaar bij name strekdam 11, 9, 8 en 7. Het vogeleiland van 2 ha zorgt voor enige stromingsluwte ten noorden ervan waardoor de schuifspanningen daar lager zijn. Een vogeleiland van 4 ha veroorzaakt een iets groter luwtegebied met lagere schuifspanningen tot ongeveer 300 m ten noorden van het eiland en een zeer geringe toename ten oosten (figuur 12).

Ook in deze fase van het getij is deze toename van de schuifspanning zodanig dat zand en slib in beweging kan komen waar dat in de bestaande situatie niet het geval was en is een kleine aanpassing van de bodem (verlaging) te verwachten om tot een nieuw evenwicht te komen. De lichte afname van de schuifspanningen ten noorden van het vogeleiland kan tot enige sedimentatie in dat gebied leiden tot zich een nieuw evenwicht heeft ingesteld.



C03041_002103_plot_trim_results_tau

Figuur 18. Verschil in schuifspanningen tijdens afgaand tij met 2 ha vogelbroedeiland



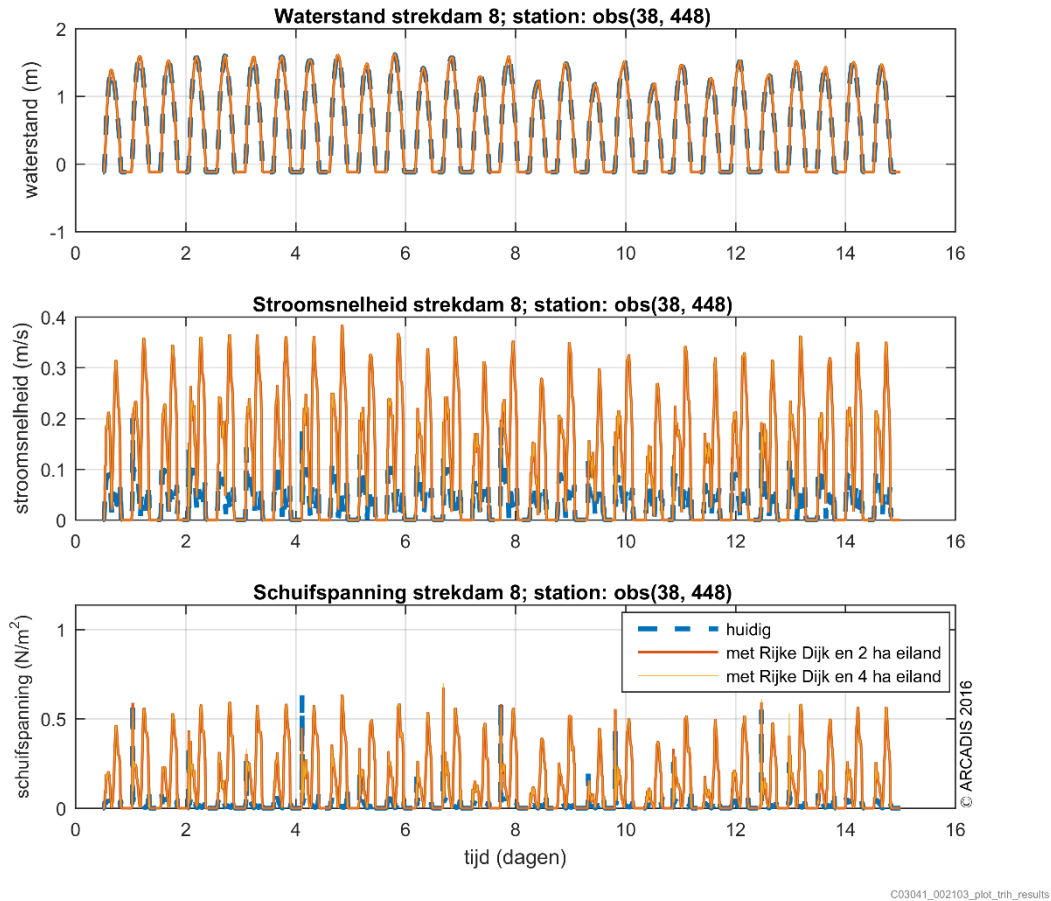
C03041_002103_plot_trim_results_tau

Figuur 19. Verschil in schuifspanningen tijdens afgaand tij met 4 ha vogelbroedeiland

4.2.3 LOKALE EFFECTEN

Voorgaande figuren van stroomsnelheden en schuifspanningen lieten zien dat met name ter plaatse van de gedraaide en ontkoppelde strekdammen 8, 9 en 11 een effect zichtbaar is. Onderstaande tijdsreeks van waterstanden, stroomsnelheden en schuifspanningen tonen deze effecten in meer detail in de tijd.

Figuur 20 toont het effect ter hoogte van de ont koppeling bij strekdam 8. Zoals te verwachten is er geen effect op de waterstanden maar wel een duidelijk effect op de stroomsnelheden. Deze nemen toe tot bijna 0,4 m/s. Hierdoor nemen ook de schuifspanningen toe tot waarden groter dan 0,5 N/m². Dit betekent dat zand in beweging komt (figuur 13). Dit zal tot erosie leiden.



Figuur 20. Tijdserie van waterstand, stroomsnelheid en schuifspanning ter hoogte van de ont koppeling bij strekdam 8 (zie figuur 3 voor schets)

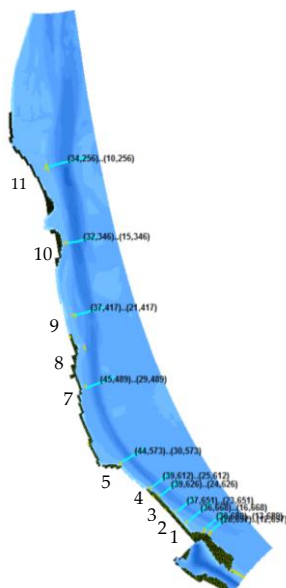
Ook ter hoogte van de ont koppeling van de andere strekdammen nemen de stroomsnelheden en schuifspanningen toe (zie Bijlage 1).

Om erosie ter hoogte van de ont koppeling te vermijden dient een bodembescherming aangebracht te worden.

4.2.4 DEBIETEN

Figuur 21 toont de locaties van de dwarsdoorsnedes waarvoor de getijdebielten en getijvolumes zijn berekend. Ter illustratie van het effect van de Rijke Dijk maatregelen toont figuur 22 het berekende momentane en cumulatieve debiet door de Bocht van Watum in dwarsdoorsnedes ter hoogte van strekdam 7 in de bestaande situatie en in de situatie met Rijke Dijk. Een negatief debiet duidt op een

debiet in noordwestelijke richting. De debieten door de andere doorsnedes worden in Bijlage 2 gepresenteerd.

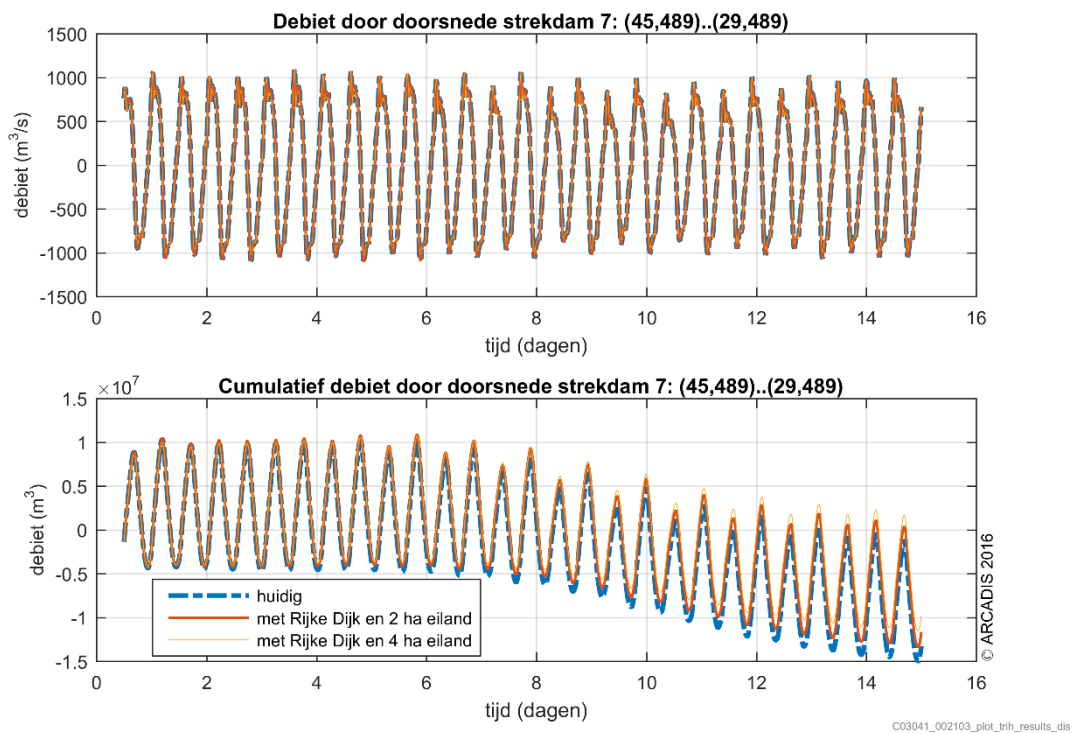


Figuur 21. Dwarsdoorsnedes

Aan de tijdseries van de debieten is niet direct te zien dat de geul Bocht van Watum ebgedomineerd is. Maar het cumulatieve debiet maakt de eb-dominantie wel duidelijk: er stroomt tijdens eb meer debiet door de geul dan tijdens vloed waardoor het cumulatieve debiet netto over het algemeen een negatieve trend vertoont. De ebdominantie is sterker in het zuidelijk deel van de Bocht van Watum.

Het effect van de Rijke Dijk maatregelen op het momentane debiet (bovenste paneel) is in elke doorsnede dusdanig klein dat het in de figuren niet zichtbaar is. Het effect op het cumulatieve debiet is uiterst gering en slechts enigszins zichtbaar ter hoogte van strekdam 7 en 9 waar er netto iets minder water zeewaarts door de Bocht van Watum stroomt.

Het geringe effect van de Rijke Dijk maatregelen op de debieten door de Bocht van Watum wordt verklaart door de kleine rol die deze geul speelt in het grootschalige getijverhangsysteem. In termen van getijdebiet is het nauwelijks een doorgaande getijgeul. Het noordelijk deel van de geul speelt wel een belangrijke rol bij de vulling en lediging van een min of meer eigen kombergingsgebied dat grotendeels bestaat uit de (westzijde van de) Hond-Paap.



Figuur 22. Instantaan debiet (boven) en cumulatief debiet (onder) door Bocht van Watum ter hoogte van strekdam 7

4.2.5 CONCLUSIE

De Rijke Dijk maatregelen een beperkte lokale invloed hebben op de waterbeweging. De stroomsnelheden ter hoogte van de ont koppeling van de strekdammen nemen toe met enkele decimeters per seconde. Om erosie ter hoogte van de ont koppeling te vermijden dient een bodembescherming aangebracht te worden.

Het effect op de waterbeweging is gering in omvang omdat de maatregelen klein zijn in verhouding tot de grootschalige waterbeweging in de Eems-Dollard tussen Eemshaven en Delfzijl.

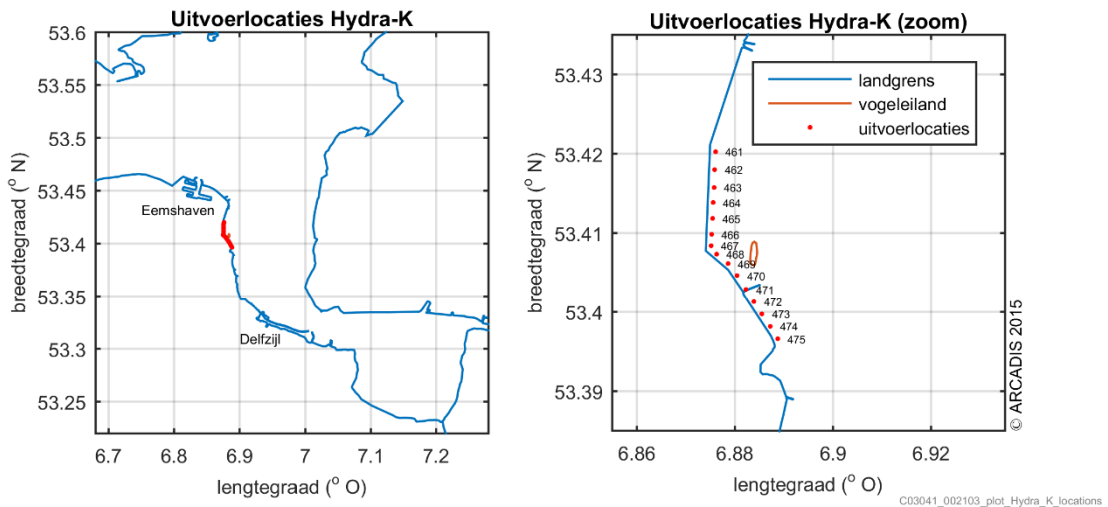
Het effect van de Rijke Dijk maatregelen op het totale gemiddelde getijvolume door de Bocht van Watum is zeer klein (enkele promillen) ten opzichte van de huidige dynamiek van de geul. De Rijke Dijk maatregelen hebben daardoor geen invloed op de grootschalige morfologie van het Eems-Dollard estuarium.

Het geringe effect van de Rijke Dijk maatregelen op de debieten door de De Bocht van Watum wordt verklaart door de kleine rol die deze geul speelt in het grootschalige getijverhangsysteem. In termen van getijdebiet is het nauwelijks een doorgaande getijgeul. Het noordelijk deel van de geul speelt wel een belangrijke rol bij de vulling en lediging van een min of meer eigen kombergingsgebied dat grotendeels bestaat uit de (westzijde van de) Hond-Paap.

4.3 EXTREME CONDITIES

4.3.1 AFLEIDING 1:100 JAAR CONDITIE

Voor extreme condities zijn berekeningen gemaakt voor een situatie van wind, waterstand en golven met een overschrijdingsfrequentie van 1/100 jaar voor 15 locaties langs de dijk ter hoogte van het Vogeleiland (figuur 23). De 1/100 jaar condities zijn afgeleid met behulp van Hydra-K versie 3.6.5 Extra Opties. De 1/100 condities zijn berekend voor zowel de huidige situatie als voor een situatie in 2050 inclusief de gevolgen van zeespiegelstijging. Voor zeespiegelstijging is een waarde van 0,35 m aangehouden conform de Deltascenario's Warm en Stoom (Deltares, 2011)



Figuur 23. Aangenomen locatie vogeleiland en uitvoerlocaties Hydra-K

Door Deltares (2014) zijn generieke aanpassingen aangebracht aan Hydra-K voor het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden. Voor de berekeningen met Hydra-K is de standaard bijgeleverde SWAN database gebruikt (SWAN_WADDENZEE_OOST.mdb). In de profielen database zijn twee aanpassingen gemaakt: in de tabel Locatie is de kolom overschrijdingskans aangepast naar 0,01 (1/100e per jaar) en in de tabel Terugkeertijden is de kolom Terugkeertijd aangepast naar 100 (1/100e per jaar) voor de betreffende locaties. De uitvoer is een set aan hydraulische randvoorwaarden per uitvoerlocatie. In de gebruikershandleiding van Hydra-K (2012) staat per kenmerk de betekenis gegeven.

Tabel 1 toont het gemiddelde van de belangrijkste parameters op de 15 locaties zonder zeespiegelstijging en tabel 2 toont hetzelfde inclusief het effect van zeespiegelstijging. Bijlage 3 toont de parameters per locaties. De waterstand is 4,4 m zonder zeespiegelstijging en 4,7 m met zeespiegelstijging. De significante golfhoogte bedraagt $H_{sn} = 1,1$ m met een piekperiode T_p van 3,9-4,1 s onder een invalshoek van $Th_n = 10-12^\circ$. De windsnelheid is ruim 24 m/s en de windrichting $315-318^\circ$.

| Locaties | Waterstand Wln (m) | Golfhoogte Hsn (m) | Golfhoek Thn ($^\circ$) | Piekperiode Tpn (s) | Windsnelheid Wso (m/s) | Windrichting Wro ($^\circ$) | Toetspeil (m) |
|----------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------|
| 461-475 | 4,4 | 1,1 | 10 | 3,9 | 24,3 | 315 | 5,76 |

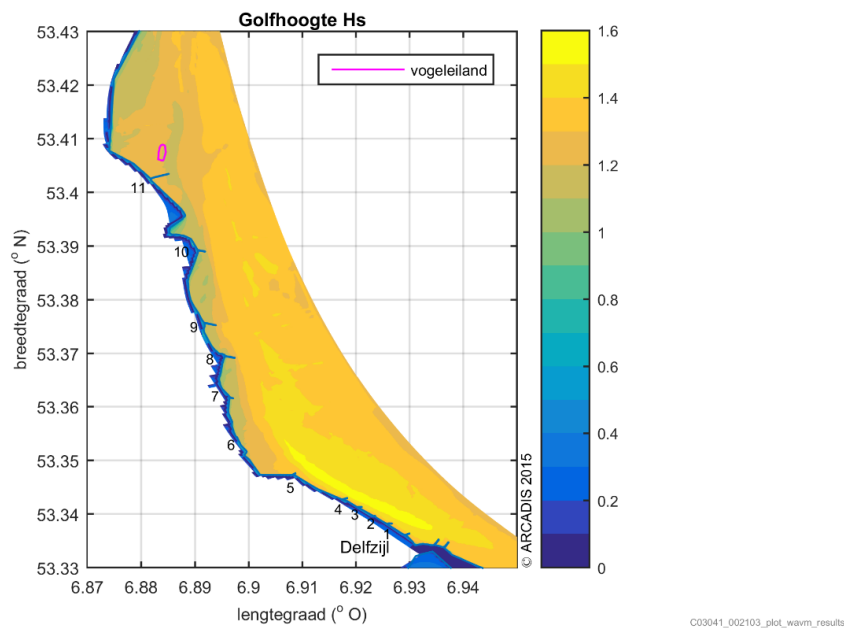
Tabel 1. Gemiddelde van 1/100 jaar condities berekend op 15 locaties langs de dijk ter hoogte van vogelbroedeiland

| Waterstand | Golfhoogte | Golfhoek | Piekperiode | Windsnelheid | Windrichting | Toetspeil | |
|------------|------------|----------|-------------|--------------|--------------|-----------|------|
| Locaties | Wln (m) | Hsn (m) | Thn (°) | Tpn (s) | Wso (m/s) | Wro (°) | (m) |
| 461-475 | 4,7 | 1,1 | 12 | 4,1 | 24,2 | 318 | 5,76 |

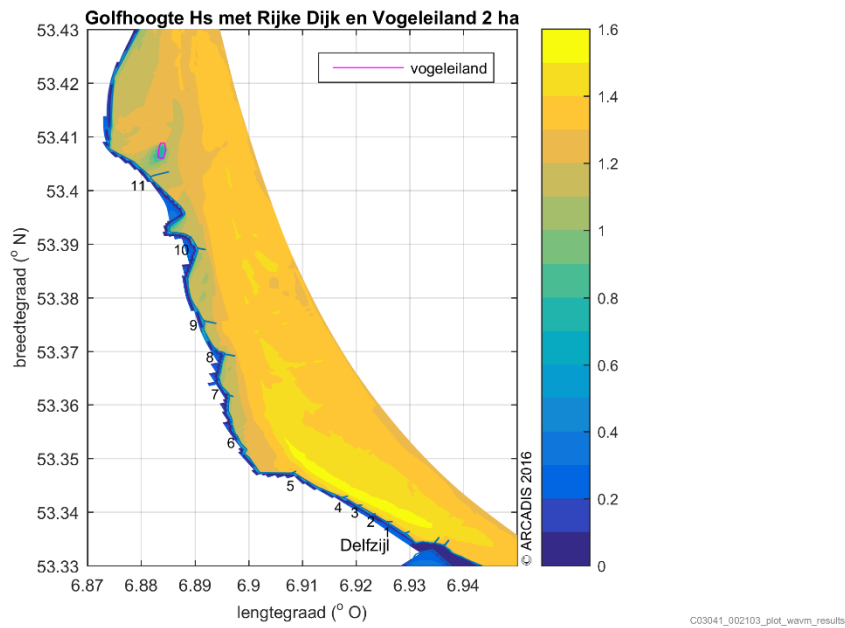
Tabel 2. Gemiddelde van 1/100 jaar condities berekend op 15 locaties langs de dijk ter hoogte van vogeleiland inclusief effect van zeespiegelstijging

4.3.2 EFFECT OP GOLFHOOGTES

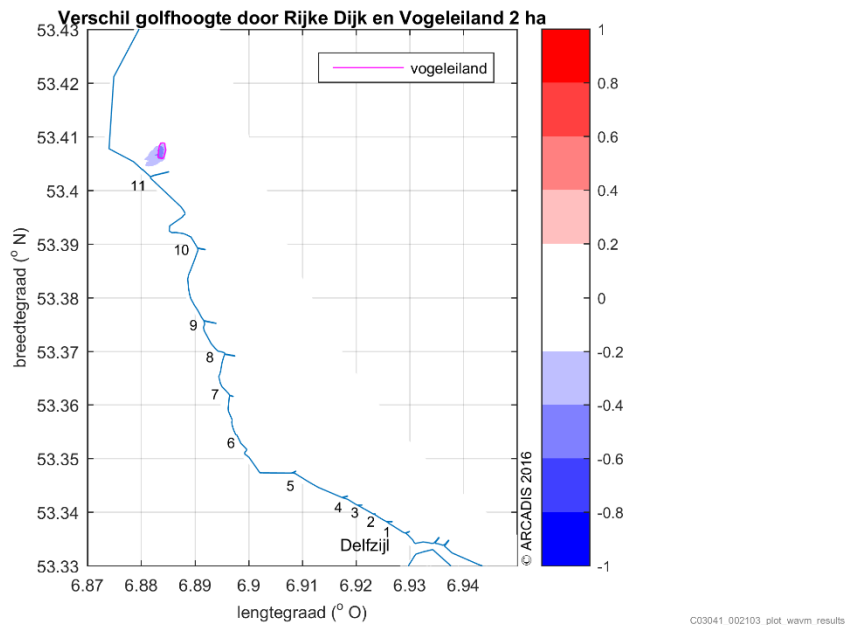
Op basis van bovengenoemde maatgevende condities zijn de effecten van de Rijke Dijk maatregelen en het vogeleiland berekend met het Delft3D golfmodel (Delft3D-WAVE). Figuur 24 toont de berekende golfhoogtes voor een 1:100 jaar conditie en de situatie zonder Rijke Dijk maatregelen en zonder vogeleiland. De golfhoogte $H_s = 1,1$ m treedt op ter hoogte van het vogeleiland. Westwaarts ervan zijn de golven ongeveer 0,1 m hoger. Verder naar het zuiden zijn de golven langs de dijk enkele decimeters hoger. Figuur 25 toont de berekende golfhoogtes met Rijke Dijk maatregelen en vogeleiland. Het vogeleiland van 2 ha heeft vooral een afschermende werking voor de golven. Op het vogeleiland en westwaarts ervan is golfhoogte 0,1-0,2 m lager. Het luwtegebied is bij een vogeleiland van 4 ha iets groter (figuur 27). Dit is nog duidelijker zichtbaar in de golfhoogteverschilkaart in figuur 26 en figuur 28. Effecten van ontkoppeling van de strekdammen op de golfhoogte is bij deze condities nihil en daardoor in de figuren niet zichtbaar.



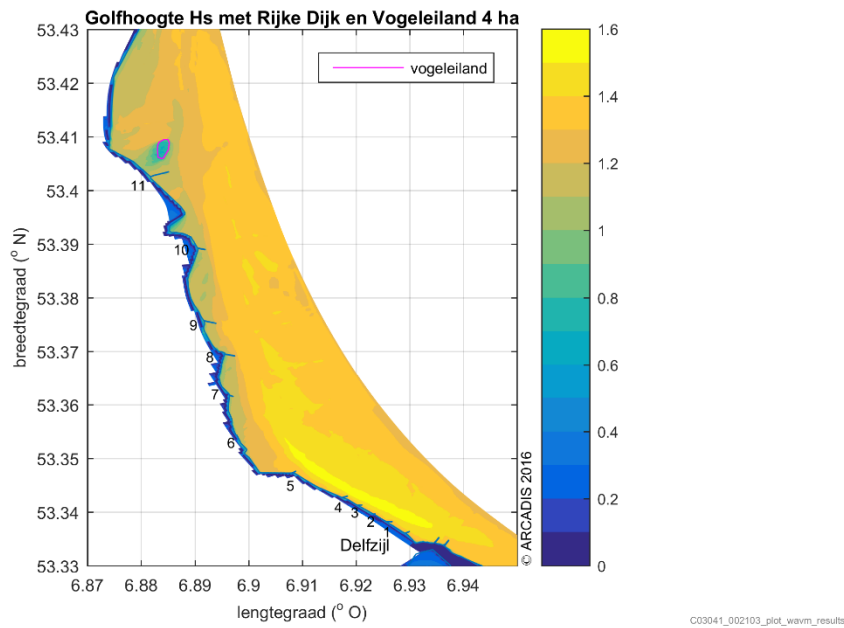
Figuur 24. Golfhoogte voor 1:100 jaar conditie zonder Rijke Dijk maatregelen en zonder vogeleiland



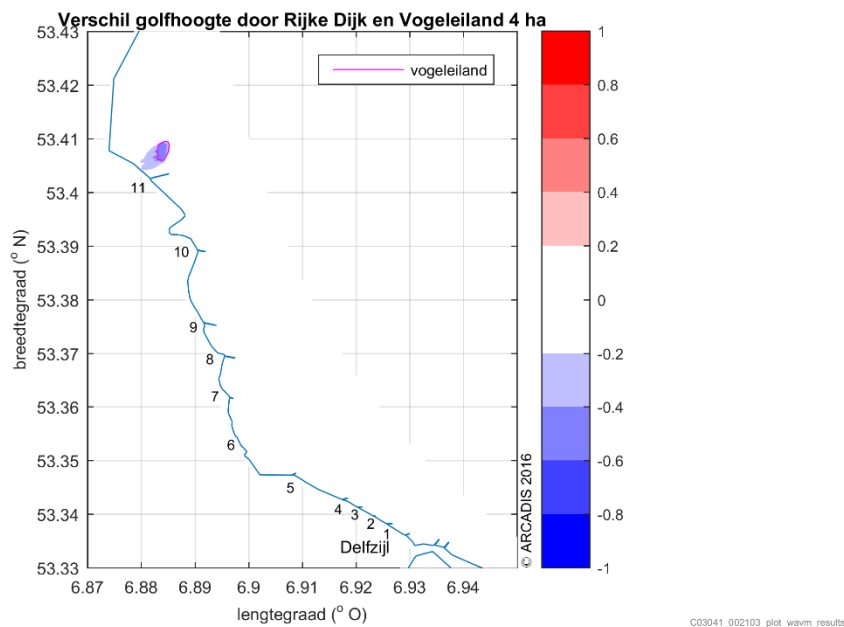
Figuur 25. Golfhoogte voor 1:100 jaar conditie met Rijke Dijk maatregelen en met vogeleiland 2 ha



Figuur 26. Verschil in golfhoogte voor 1:100 jaar conditie als gevolg van Rijke Dijk maatregelen en vogeleiland 2 ha



Figuur 27. Golfhoogte voor 1:100 jaar conditie met Rijke Dijk maatregelen en met vogeleiland 4 ha

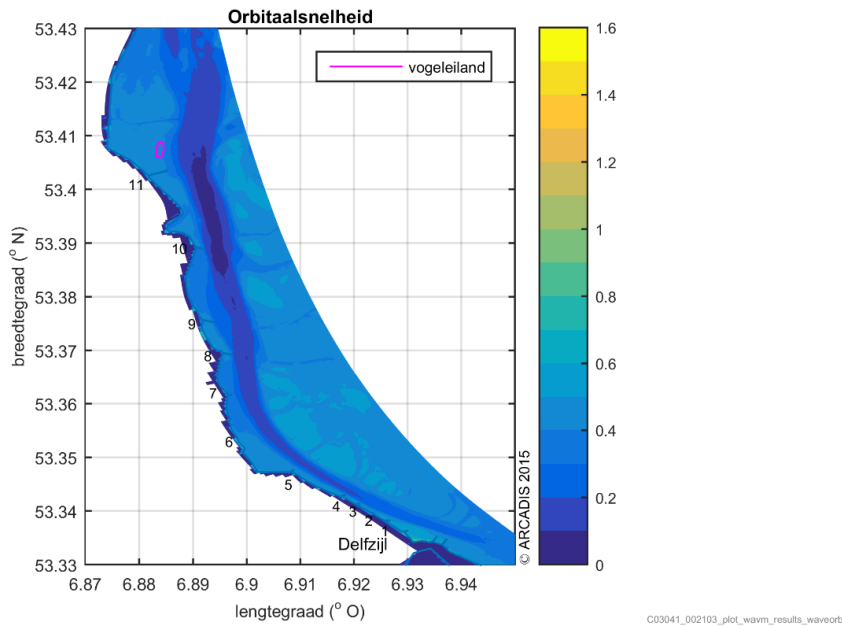


Figuur 28. Verschil in golfhoogte voor 1:100 jaar conditie als gevolg van Rijke Dijk maatregelen en vogeleiland 4 ha

4.3.3 EFFECT OP ORBITAALSNELHEDEN

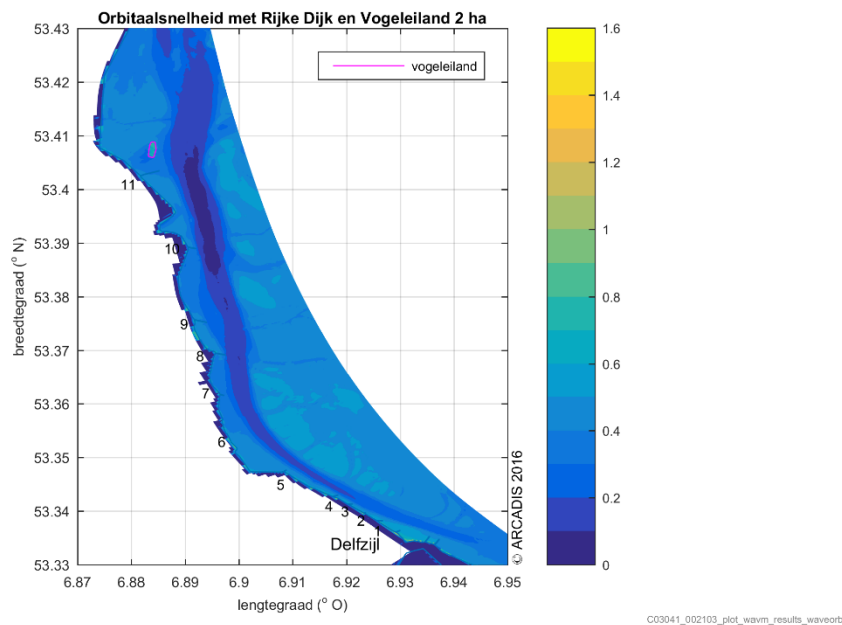
Figuur 29 toont de berekende orbitaalsnelheden bij een 1:100 jaar waterstands-, wind-, en golfconditie. Op de ondiepe delen zoals de plaat Hond-Paap en langs de dijk zijn de orbitaalsnelheden enkele decimeters per seconde. Ter hoogte van de locatie waar het vogeleiland is gepland bedraagt de orbitaalsnelheid in de huidige situatie gemiddeld ongeveer 0,4 m/s. In de diepere delen van de geul is de orbitaalsnelheid veel

lager omdat de golven daar de bodem bijna niet meer kunnen bereiken door de grote diepte van ongeveer 15 m (bij een waterstand van NAP+4.4 m).

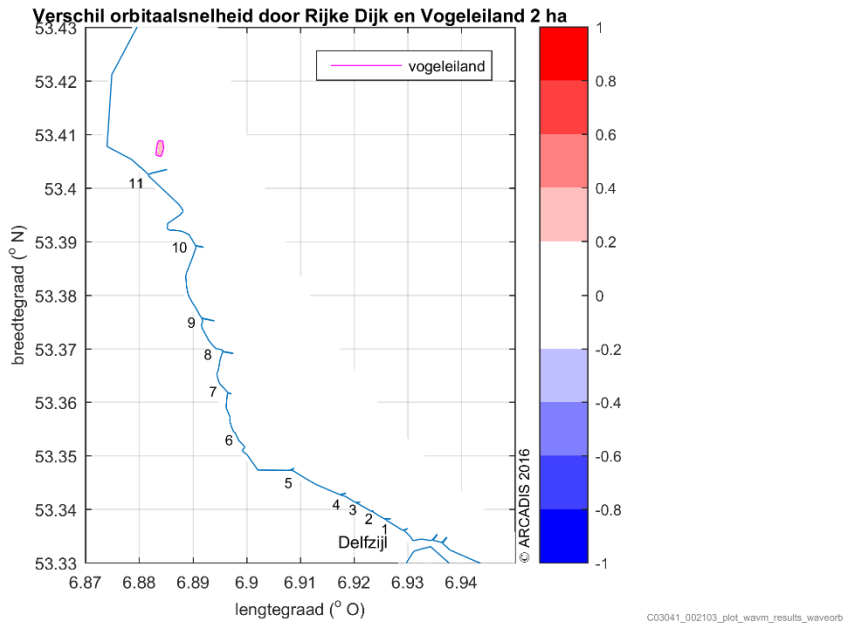


Figuur 29. Orbitaalsnelheid bij 1:100 jaar conditie zonder Rijke Dijk maatregelen en zonder vogeiland

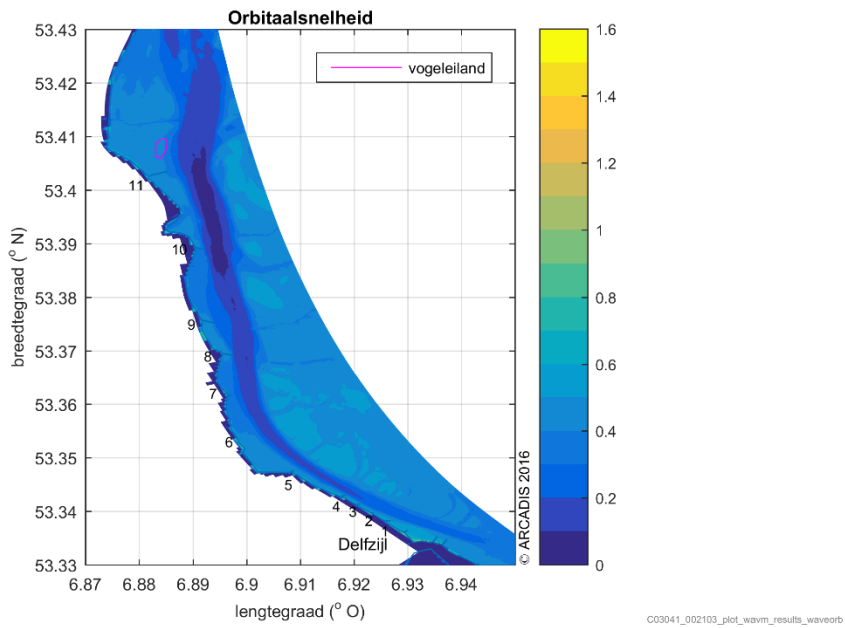
Figuur 30 toont de orbitaalsnelheden met Rijke Dijk maatregelen en vogeiland. Hoewel het vogeiland vooral een afschermende werking heeft voor de golven is de diepte boven het eiland zelf geringer. Daardoor is de orbitaalsnelheid groter, namelijk ongeveer 0,7 m/s. Dit is nog duidelijker zichtbaar in de golfhoogteverschilkaart in figuur 31.



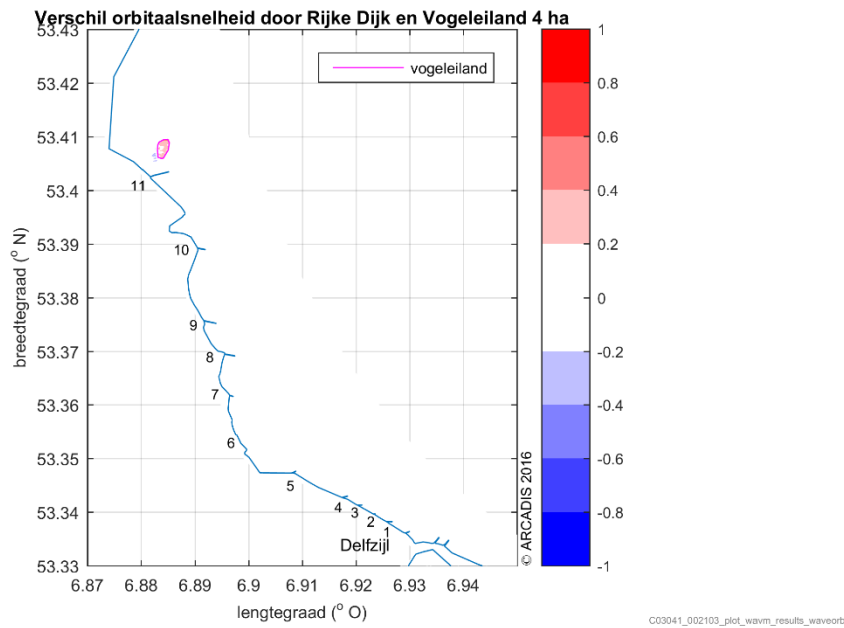
Figuur 30. Orbitaalsnelheid bij 1:100 jaar conditie met Rijke Dijk maatregelen en met vogeiland 2 ha



Figuur 31. Verschil in orbitaalsnelheid voor 1:100 jaar conditie als gevolg van Rijke Dijk maatregelen en vogeleiland 2 ha



Figuur 32. Orbitaalsnelheid bij 1:100 jaar conditie met Rijke Dijk maatregelen en met vogeleiland 4 ha



Figuur 33. Verschil in orbitaalsnelheid voor 1:100 jaar conditie als gevolg van Rijke Dijk maatregelen en vogeleiland 4 ha

4.3.4 CONCLUSIE

Voor een 1:100 jaar condities bedraagt de waterstand is NAP+4,4 m zonder zeespiegelstijging en NAP+4,7 m met zeespiegelstijging. De significante golfhoogte ter hoogte van het vogeleiland bedraagt $H_{sn} = 1,1$ m met een piekperiode T_p van 3,9-4,1 s onder een invalshoek van $\theta_{in} = 10-12^\circ$. De windsnelheid is ruim 24 m/s en de windrichting $315-318^\circ$.

Het vogeleiland wordt aangelegd op NAP+2,8 m. Bij een waterstand van NAP+4,4 m staat het eiland dus 1,6 m onder water. Bij golven van 1,1 m zijn de orbitaalsnelheden zodanig dat kiezels/ grind/schelpen in beweging zullen komen. Wanneer dit onvoldoende wordt beschermd dan zal deze laag eroderen en ook het onderliggende keileem en zand zal worden aangetast door de golven.

Wanneer het eiland voldoende erosiebestendig wordt aangelegd dan heeft het vooral een afschermdende werking voor de golven. Op het vogeleiland en westwaarts ervan is golfhoogte tijdens een 1:100 jaar conditie 0,1-0,2 m lager dan in de huidige situatie.

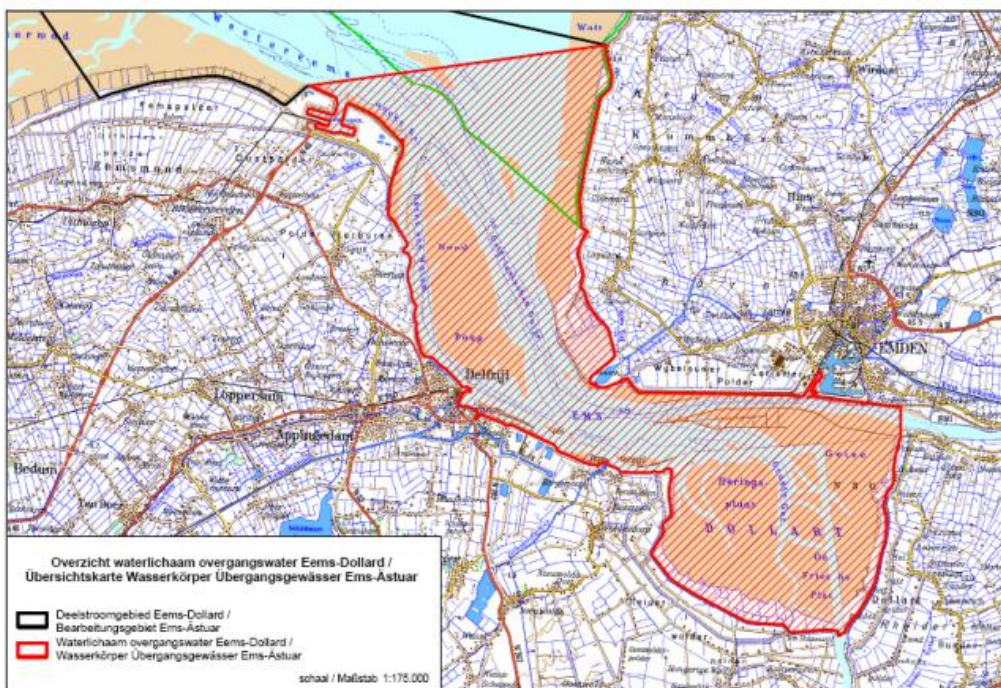
Ontkoppeling van de strekdammen heeft bij een 1:100 condities een nihil effect op de golfhoogtes.

De Rijke Dijk maatregelen hebben daardoor geen invloed op de waterveiligheid met dien verstande dat er ter hoogte van de ontkoppeling van de strekdammen een bodembescherming aangebracht dient te worden.

4.4 ECOLOGISCHE BEOORDELING KRW

4.4.1 WATERLICHAAM EEMS-DOLLARD

Het Rijke Dijken traject loopt door het KRW-waterlichaam Eems-Dollard kust (NL81_2), Figuur 34. Hoewel het project in potentie positieve effecten heeft voor natuur willen we uitsluiten dat de ecologische en chemische doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) negatieve effecten ondervinden. De ontwikkelingen mogen er immers niet toe leiden dat het tijdig realiseren van de KRW-doelen in gevaar komt. Bovendien kent de KRW het 'stand still' beginsel. Dit houdt in dat fysieke ingrepen en emissies van stoffen niet mogen leiden tot een achteruitgang van de waterkwaliteit. Het 'Toetsingskader waterkwaliteit', dat is opgenomen in het Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2010-2015, vormt de basis voor de toetsing.



Figuur 34. Overzicht waterlichaam Eems-Dollard (uit: Brondocument t.b.v. KRW beheerplan waterlichaam Eems-Dollard, 26 november 2009 / Herziene versie, 2012)

4.4.2 KRW DOELSTELLINGEN

Het waterlichaam Eems-Dollard is gekwalificeerd als 'Estuarium met matig Getijverschil' (type O2). Voor het waterlichaam zijn bij deze typologie passende doelstellingen vastgesteld voor de biologische kwaliteitselementen fytoplankton (algen), overige waterflora (zeegrassen en kwelders/schorren), macrofauna (kleine ongewervelde waterdiertjes) en vis. De waterkwaliteit wordt met behulp van maatlatten vergeleken met een referentiesituatie. Daaruit volgt een beoordeling van de toestand in klassen: goed, matig, ontoereikend of slecht. Uiterlijk in 2027 moeten alle kwaliteitselementen voldoen aan het doel en in een 'goede' toestand verkeren.

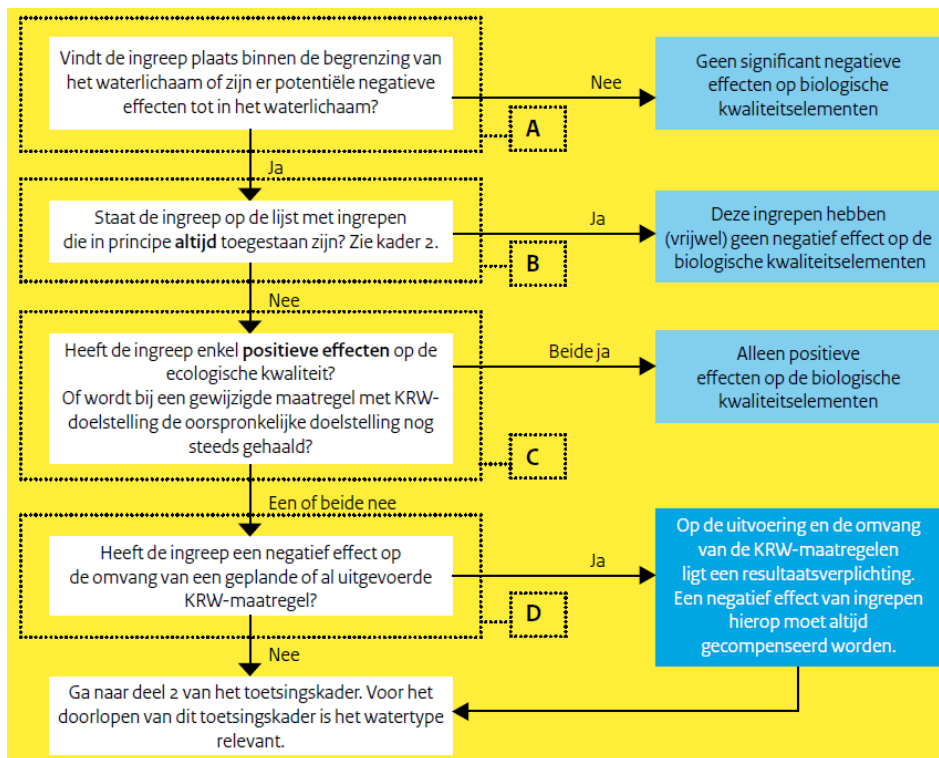
De huidige kwaliteit en de prognose voor 2021 is voor het waterlichaam weergegeven in Tabel 3. Deze gegevens zijn afkomstig uit de ontwerp-factsheets KRW (versie 3 december 2014), behorend bij het Ontwerp Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2016-2021.

| Biologisch kwaliteitselement | Eems-Dollard (NL81_2) | |
|---------------------------------|-----------------------|---------------|
| | Toestand 2014 | Prognose 2021 |
| Fytoplankton | Goed | Goed |
| Overige waterflora | Goed | Goed |
| Macrofauna | Matig | Matig |
| Vis | Matig | Matig |

Tabel 3. Huidige toestand (2014) en prognose (2021) voor de biologische kwaliteitselementen in het waterlichaam Eems-Dollard

4.4.3 EFFECTBEOORDELING BIOLOGISCHE WATERKWALITEIT EEMS-DOLLARD (NL81_2)

Voor het bepalen van de effecten van de werkzaamheden op de doelstellingen voor de biologische waterkwaliteit wordt volgens het 'Toetsingskader waterkwaliteit' een stapsgewijze beoordeling uitgevoerd. Deze bestaat uit een algemeen en een watertype-specifiek deel.

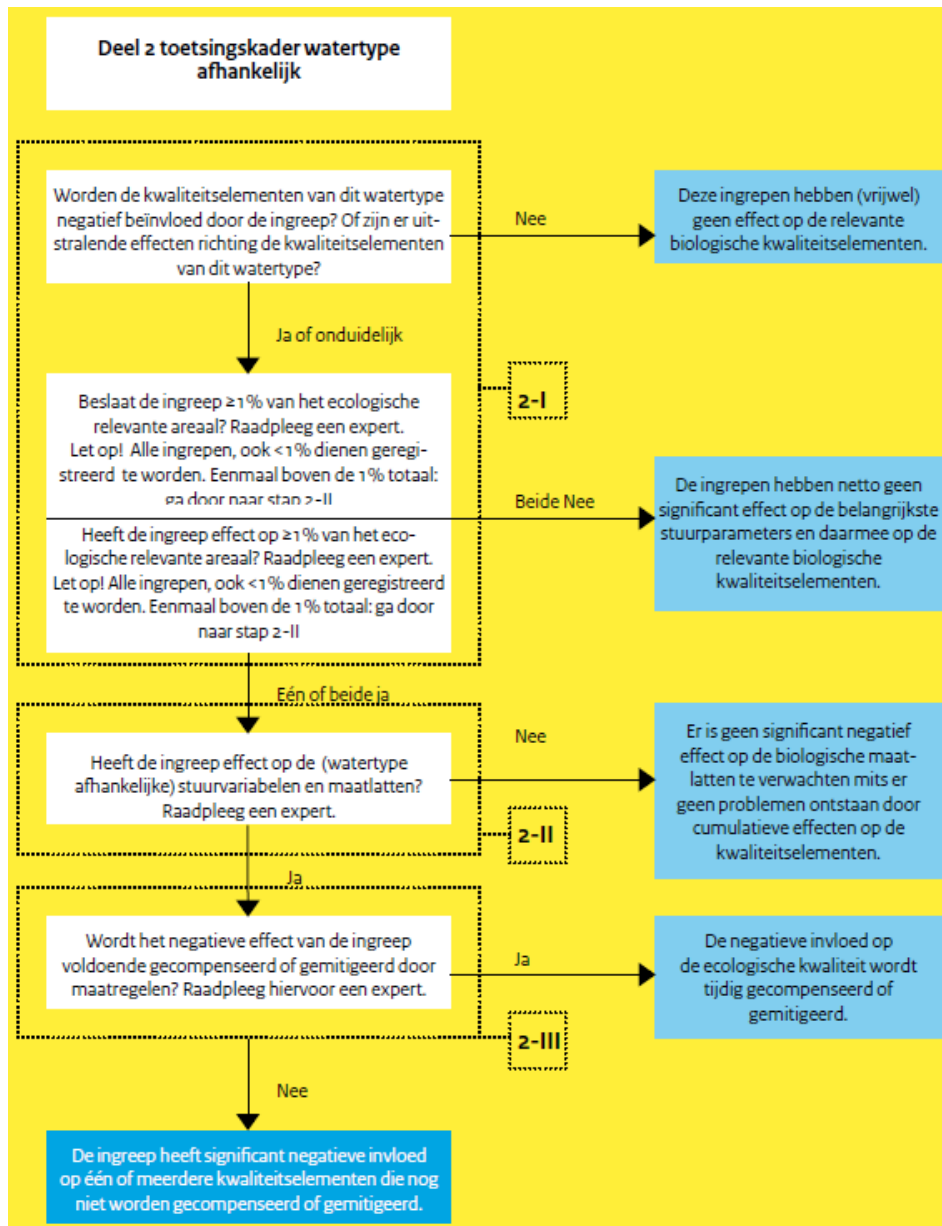


Figuur 35. Beslisschema ecologie (algemeen) uit het Toetsingskader waterkwaliteit

Het algemene deel van het toetsingskader bestaat uit een beslisschema (zie Figuur 35). Wanneer dit doorlopen wordt, blijkt dat:

- er sprake is van ingrepen binnen de begrenzing van de waterlichamen;
- de ingreep (leggen van kabels en leidingen waarbij een primaire waterkering wordt gekruist) niet aangemerkt wordt als vergunningvrije activiteit van ondergeschikt ecologisch belang;
- de ingreep niet uitsluitend positieve effecten heeft op de ecologische waterkwaliteit (lokaal/tijdelijk is er ook sprake van beperkt negatieve effecten);
- de ingreep geen negatief effect heeft op de omvang van geplande of al uitgevoerde KRW-maatregelen (uit de Brondocumenten voor het waterlichaam Eems-Dollard).

Omdat er mogelijk sprake is van negatieve effecten ten aanzien van de ecologische doelstellingen voor het waterlichaam moet er ook naar specifieke effecten worden gekeken (zie Figuur 36). Deze beoordeling is per waterlichaam afzonderlijk doorlopen.



Figuur 36. Beslisschema ecologie (watertype-specifiek) uit het Toetsingskader waterkwaliteit

Er kan niet op voorhand worden uitgesloten dat er sprake is van (beperkt) negatieve effecten op de relevante biologische kwaliteitselementen in het waterlichaam: fytoplankton, overige waterflora, macrofauna en vis. Daarom worden de eventuele effecten hieronder besproken per kwaliteitselement. Daarbij is gebruik gemaakt van de effectbeschrijvingen in dit rapport.

Fytoplankton

Fytoplankton wordt beïnvloed wanneer de lichtinval afneemt door vertroebeling. Dit is in deze ingreep niet het geval. Er zal daarom geen effect op fytoplankton optreden.

Overige waterflora

De werkzaamheden doorsnijden geen potentieel areaal voor water- en oeverplanten (zeegrassen en kwelders). Daardoor zijn er geen directe effecten op overige waterflora. De dichtstbijzijnde relevante gebieden voor zeegrassen en kwelders liggen op redelijke afstand van het projectgebied die volgens de stromingsberekeningen niet worden beïnvloed. Hierdoor kan worden geconcludeerd dat er geen effecten op overige waterflora optreden.

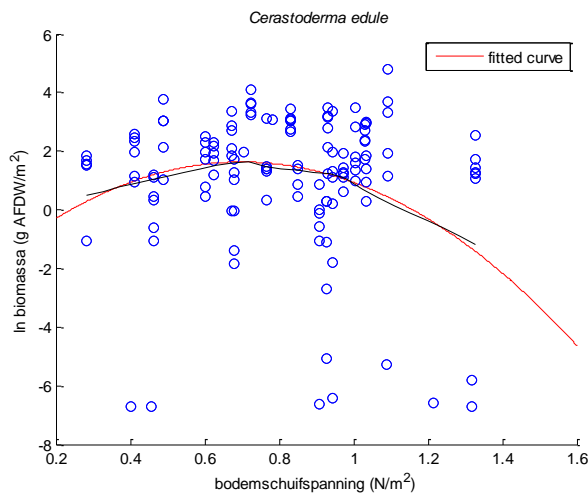
Macrofauna

De ingreep leidt tot permanent veranderingen in stroomsnelheden en bodemschuifspanning. Dit kan vooral een effect hebben op de sessiele macrofauna, zoals schelpdieren en wormen. In 2010 is een studie (Kater et al., 2010) verricht naar de relaties tussen biomassa en dichtheid van een aantal bodemdiersoorten, en (onder meer) de abiotische parameters stroomsnelheid en bodemschuifspanning (in de range 0.2 tot 1.6 N/m²). De studie is gebaseerd op uitkomsten van Delft-3D en de Waddenzee macrobenthos dataset.

Gekeken is naar relaties voor:

- Kokkel (*Cerastoderma edule*)
- Mossel (*Mytilus edulis*)
- Nonnetje (*Macoma balthica*)
- Rode draadworm (*Heteromastus filiformis*)
- Wadslakje (*Hydrobia ulvae*)

De enige relatie die significant bleek te zijn was de relatie tussen kokkel biomassa en schuifspanning. Voor de overige soorten had een toe of afname van de schuifspanning over de genoemde range geen significant effect op biomassa of dichtheid. De relatie voor de kokkels is weergegeven in Figuur 37.



Figuur 37: Relatie tussen bodemschuifspanning en kokkel biomassa, inclusief LOESS smoother (zwarte lijn) en gefit parabolisch model (rode lijn)

In paragraaf 4.2.2 zijn de bodemschuifspanning gepresenteerd. De bodemschuifspanningen zijn het hoogst tijdens opkomend tij. De verandering van de schuifspanning is het grootste rond locatie 11, daar treden een toename van meer dan 0.5 N/m² op. Dit is een gebied waar de bodemschuifspanning nu heel laag zijn. De benthos modellen laten zien dat er in deze range geen effecten zijn op de geanalyseerde bodemdieren. Ook de kokkelbiomassa wordt volgens bovenstaande figuur niet aangetast door deze toename. De stroomsnelheden nemen (uiteraard) op deze locatie ook het meeste toe, maar deze komen

niet boven snelheden uit waarvan een negatief effect kan worden verwacht. Bovendien zou dat dan ook in de bodemschuifspanning terug komen.

Samengevat kan worden geconcludeerd dat de bodemfauna beperkt effect ondervindt van de ingreep en dat de effecten op het gehele waterlichaam beperkt en niet significant zijn.

Vis

Het grootste deel van het waterlichaam is aangemerkt als potentieel areaal voor vis. In het waterlichaam Eems-Dollard zal in totaal een oppervlak van 2-4 ha vogeleiland worden en van minder dan 0.5 ha verlegde strekdam. Dit is circa 0,014-0,026% van het totale oppervlak (ca. 17.500 ha) van het waterlichaam. De mobiele soorten hebben voldoende uitwijkmogelijkheden en kunnen het gebied (tijdelijk) verlaten. Wanneer er herstel optreedt, zullen deze soorten het gebied weer herkoloniseren. De stroomsnelheden veranderen niet in die mate dat het gebied onaantrekkelijk wordt voor vissen. Het effect zal op het hele waterlichaam zeer beperkt en niet significant zijn.

4.4.4 CONCLUSIE

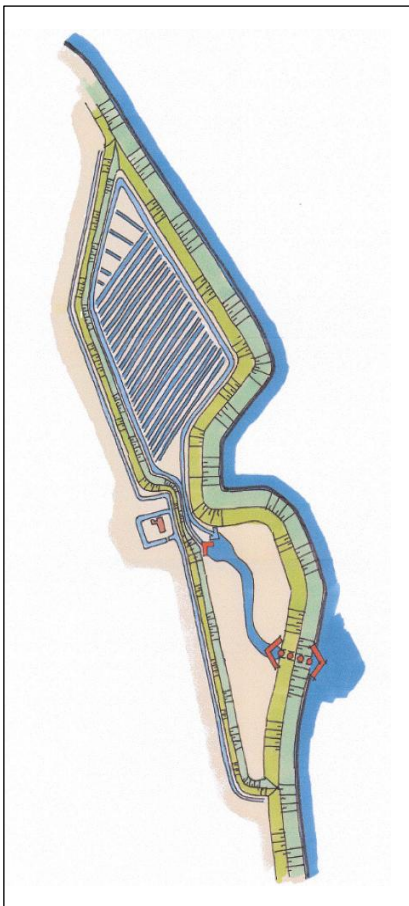
Uit de beoordeling van de effecten van de maatregelen Rijke Dijken de biologische waterkwaliteit blijkt dat er géén significante effecten te verwachten zijn. Eventuele effecten treden slechts lokaal en beperkt op en leiden niet tot een relevante verslechtering van de toestand van de waterlichamen Eems-Dollard.

5

Dubbele Dijk

5.1 INLEIDING

Ter aanvulling op het Rijke-Dijk concept wordt gedacht aan het inpassen van een extra kwelder gelegen tussen de Rijke-Dijk strekdammen 11 en 12; het Dubbele Dijk concept. Deze extra kwelder ligt aan de landzijde van de primaire kering. Een extra dijk landinwaarts vormt de landwaartse begrenzing, terwijl het water door een duiker in en uitstroomt (figuur 38). Doel is om een brak getijde natuursysteem te creëren aan de landzijde van de primaire waterkering. De Breebaart polder, ten zuidwesten van de Punt van Reide aan de Dollard, is een nabijgelegen voorbeeld van een dergelijk systeem.



Figuur 38 Impressie van het dubbele dijk concept

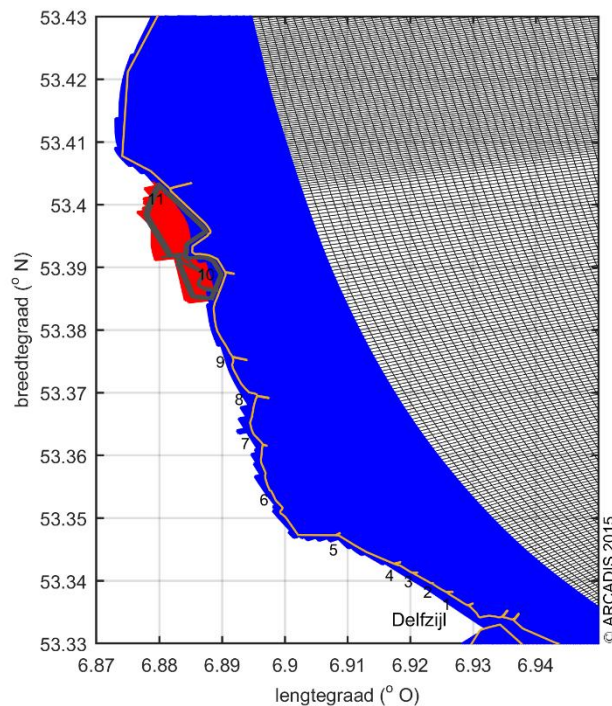
In dit hoofdstuk tonen we de berekende effecten van het Dubbele Dijk concept op de waterbeweging en morfologie. De maatregelen zoals besproken in hoofdstuk 4 vormen hiervoor de referentie. Immers, het

Dubbele Dijk concept betreft een uitbreiding op de Rijke Dijk. Er wordt alleen gekeken naar de normale condities, waarbij één springtij-doodtij cyclus wordt doorgerekend.

5.2 SCHEMATISATIE

5.2.1 MODEL ROOSTER

Het Rijke Dijk model, beschreven in paragraaf 3.2, is uitgebreid met een aantal rekencellen om het Dubbele Dijk concept te schematiseren. Het rode vlak in figuur 39 betreft de uitbreiding op het Rijke Dijk model.



C03041_002103_plot_grid_dubbeledijk

Figuur 39 Overzicht van de detailrekenroosters (grijs = Eems-Dollard, blauw = Rijke Dijk, rood = uitbreiding Rijke Dijk rooster ten behoeve van de Dubbele Dijk).

5.2.2 SCHEMATISATIE MAATREGEL

De inpassing van het Dubbele Dijk concept betreft het volgende:

1. Inpassen van de landwaartse dijk;
2. Verlagen van bodem van de kwelder;
3. Inpassen van de getijde duiker.

Voor het ontwerp is variant 4 in de uitwerkingen van Grontmij, d.d. 12-11-2015, aangehouden (zie Bijlage 4). Hieronder wordt de wijze van schematisatie besproken.

Ad.1. Inpassen van de landwaartse dijk

De landwaartse dijk wordt geschematiseerd doormiddel van het aanbrengen van zogenaamde 'droge cellen'. Door de geringe breedte van de dijk in combinatie met de lokale cel grootte is het niet mogelijk om

de dijk direct in de modelbodem op te nemen. De keuze voor het toepassen droge cellen is echter een goed alternatief en voldoende nauwkeurig voor het doel van deze studie.

Ad.2. Verlagen van de kwelder

De kwelderbodem is geëgaliseerd tot een hoogte van NAP-0,75 m. In het ontwerp is een kanaaltje ingepast vanaf de duiker, gelegen aan de zuidkant, tot aan de overgang van het zuidelijke pand naar het noordelijke pand. Dit kanaaltje is ook in het model ingepast en heeft een diepte van NAP-1.5 m nabij de duiker en een diepte van NAP-2 m bij de overgang naar het noordelijke pand.

Ad.3. Inpassen van de duiker.

In het ontwerp zijn twee getijdeduikers ingepast. In het Delft3D model zijn deze geschematiseerd door middel van de zogenaamde 'Culvert' optie. De getijdeduikers zijn naast elkaar geplaatst en hebben elk de volgende afmetingen:

- Hoogte: 2,5 m;
- Breedte: 6 m;
- Lengte: 55 m;
- Niveau binnen onderkant koker (b.o.k.): NAP-0.5 m.

De lengte is bepaald op basis van de ontwerptekeningen.

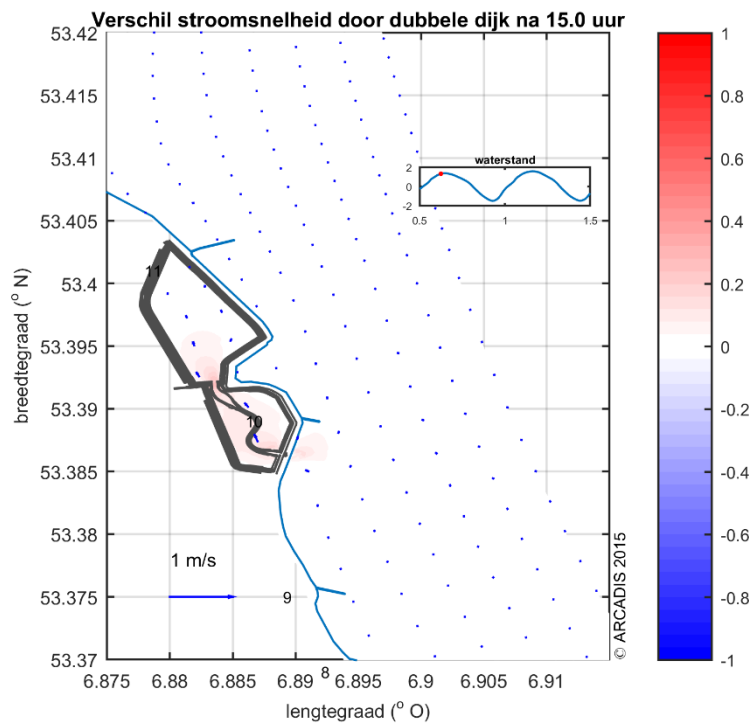
5.3 NORMALE CONDITIES

Deze paragraaf beschrijft het effect van het Dubbele Dijk concept op de stroomsnelheden en de schuifspanningen tijdens normale condities. Hiervoor is het verschil ten opzichte van de modelresultaten voor de Rijke Dijk simulaties bepaald. Het effect tijdens extreme condities is niet onderzocht omdat de duiker tijdens deze omstandigheden zal worden afgesloten.

5.3.1 STROOMSNELHEDEN

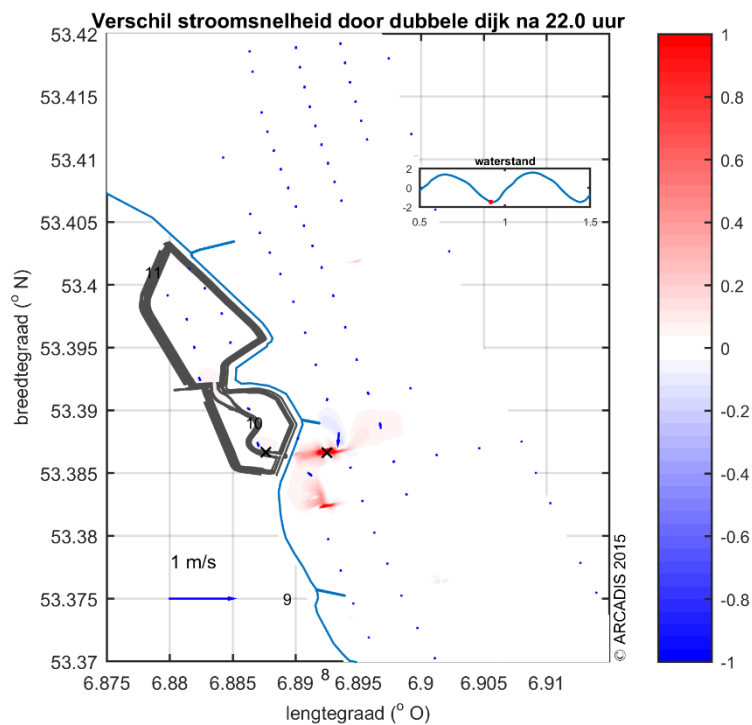
De hoogste stroomsnelheden in de kwelder en nabij de duiker worden gevonden tijdens hoog-, en laagwater buitendijks, als gevolg van traagheid door het beperkte doorstroomoppervlak door de duiker. Op deze momenten zijn dus ook de verschillen ten opzichte van de referentiesituatie het grootst.

Figuur 40 toont het effect van het Dubbele Dijk concept op de stroomsnelheden bij hoogwater. In de kwelder neemt de stroomsnelheid toe met één tot twee decimeter per seconde. Bij de ingang van de duiker buitendijks is de toename van de stroomsnelheid beperkt, minder dan 1 decimeter per seconde.



Figuur 40. Verschil in stroomsnelheden tijdens hoogwater (incl. strekdamnummers)

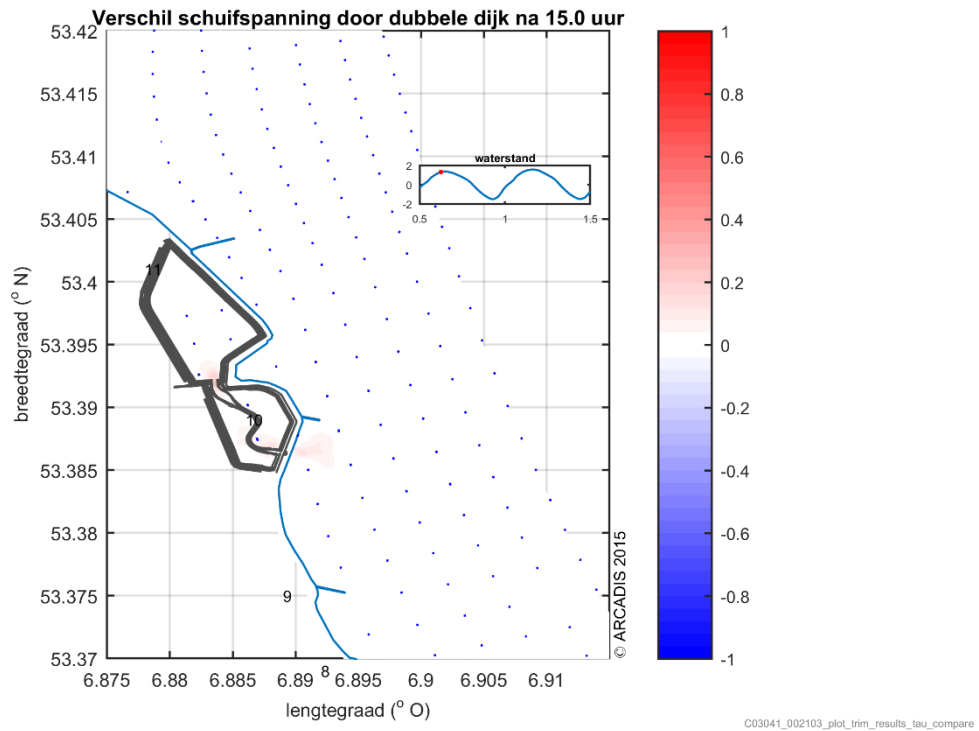
Figuur 41 toont het effect op de stroomsnelheden bij laagwater. Het water wordt nu als het ware uit de kwelder getrokken. Dit leidt tot een toename van de stroomsnelheid bij monding van de duiker van ongeveer 1 m/s. Het gebied ter hoogte van de monding van de duiker valt in de referentiesituatie nagenoeg droog gedurende deze fase van het getij. Daardoor is het verschil in stroomsnelheid tijdens laagwater groter dan tijdens hoogwater. De effecten van de duiker alsmede het verschil tussen binnen en buiten zijn in meer detail bekeken in twee observatiepunten, aangegeven door de zwarte kruisjes in de figuur. Dit is beschreven in paragraaf 5.3.3.



Figuur 41. Verschil in stroomsnelheden tijdens laagwater

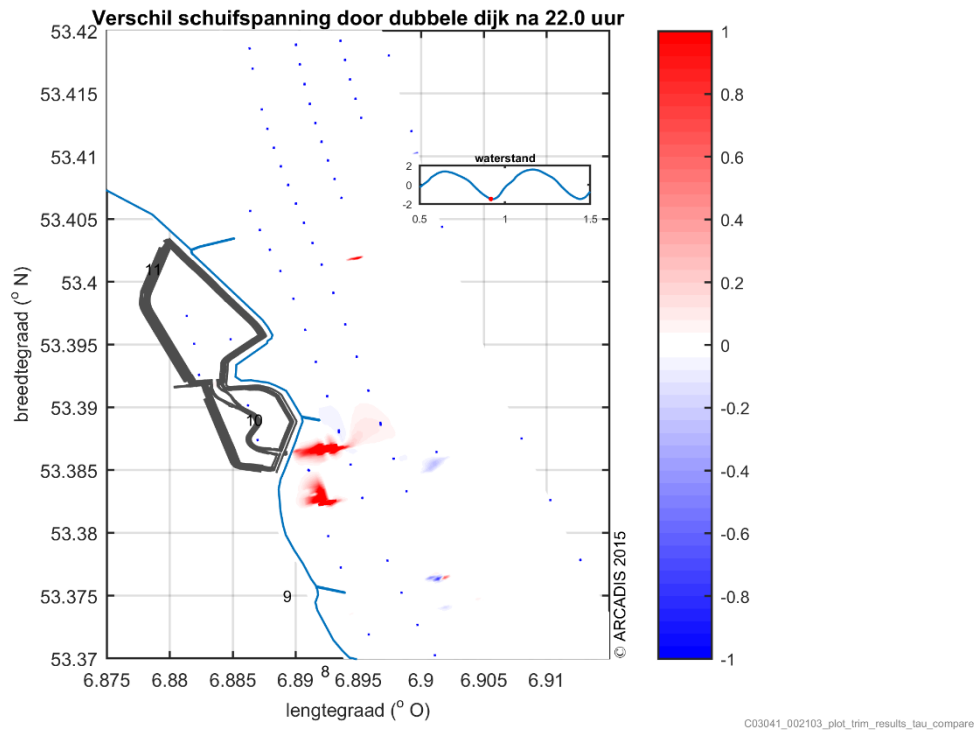
5.3.2 SCHUIFSPANNINGEN

Figuur 42 toont het effect van het Dubbele Dijk concept op de bodemschuifspanning tijdens hoogwater. Deze vertoont logischerwijs overeenkomst met het effect op de stroomsnelheden in figuur 40. Voor de monding van de duiker is een toename van de schuifspanningen met $\sim 0,1 \text{ N/m}^2$ zichtbaar. Een vergelijkbare toename is te zien op de grens tussen het noordelijke en zuidelijke pand in de kwelder. De toename van de schuifspanning is zodanig dat zand en slib in beweging kan komen waar dat in de bestaande situatie niet het geval was. In deze zones is een kleine aanpassing van de bodem (verlaging) te verwachten om tot een nieuw evenwicht te komen. In de kwelder hangt dit ook nog af van de al dan niet aanwezige vegetatie. Voortschrijdende erosie zal hier tijdens deze fase van getij niet optreden.



Figuur 42. Vershil in schuifspanningen tijdens hoogwater

Figuur 43 toont het effect op de schuifspanningen tijdens laag water. Door de gekozen kleurschaal is orde van toename de schuifspanning beperkt tot 1 N/m^2 . Deze toename van de schuifspanning is in ieder geval zodanig dat zand en slib in beweging kan komen. In de bestaande situatie valt dit gebied nagenoeg droog tijdens deze fase van het getij. Doordat hier nu water met voldoende snelheid stroomt is een aanpassing van de bodem (verlaging) te verwachten om tot een nieuw evenwicht te komen. Dit beperkt zich overigens niet tot het gebied voor de monding, maar ook wat naar het zuiden zal de bodem zich gaan aanpassen. Het is te verwachten dat zich nieuwe kreekjes en waterlopen gaan vormen als gevolg van uitstromend water vanuit de kwelder.



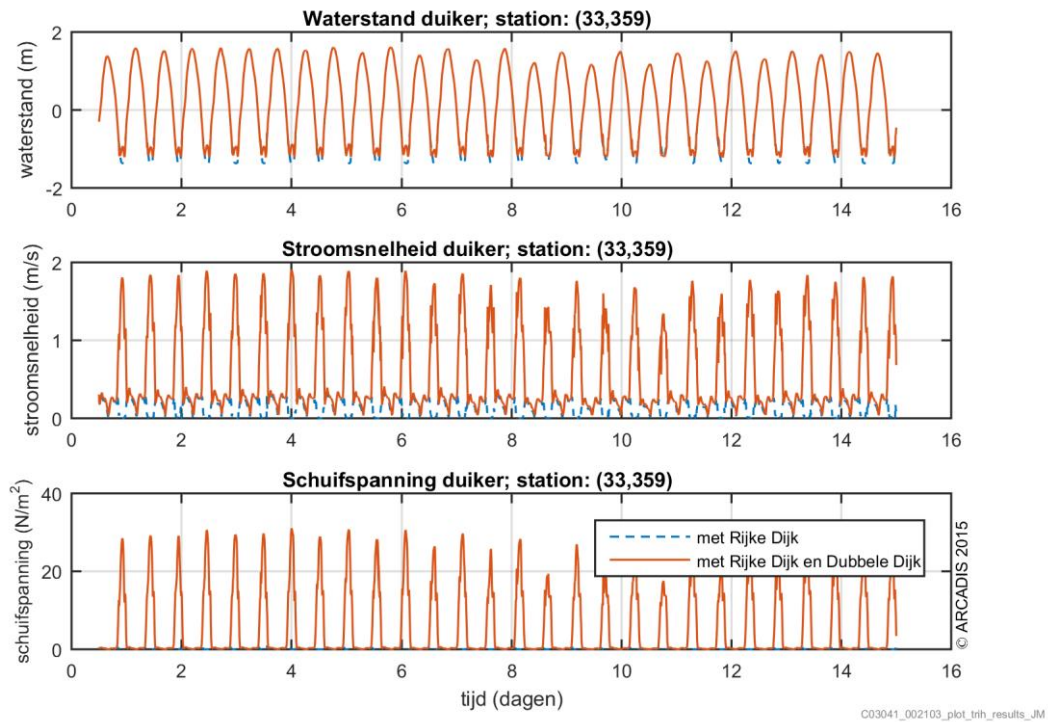
Figuur 43. Verschil in schuifspanningen tijdens laagwater

5.3.3 LOKALE EFFECTEN

De effecten voor de monding en in de kwelder zijn in meer detail in beeld gebracht doormiddel van twee observatiepunten in het model, zoals aangegeven in figuur 41. Figuur 44 toont de tijdserie van de waterstand, stroomsnelheid en bodemschuifspanning in het observatie punt aan de buitenkant van de duiker. Het signaal met en zonder inpassing van de Dubbele Dijk is getoond.

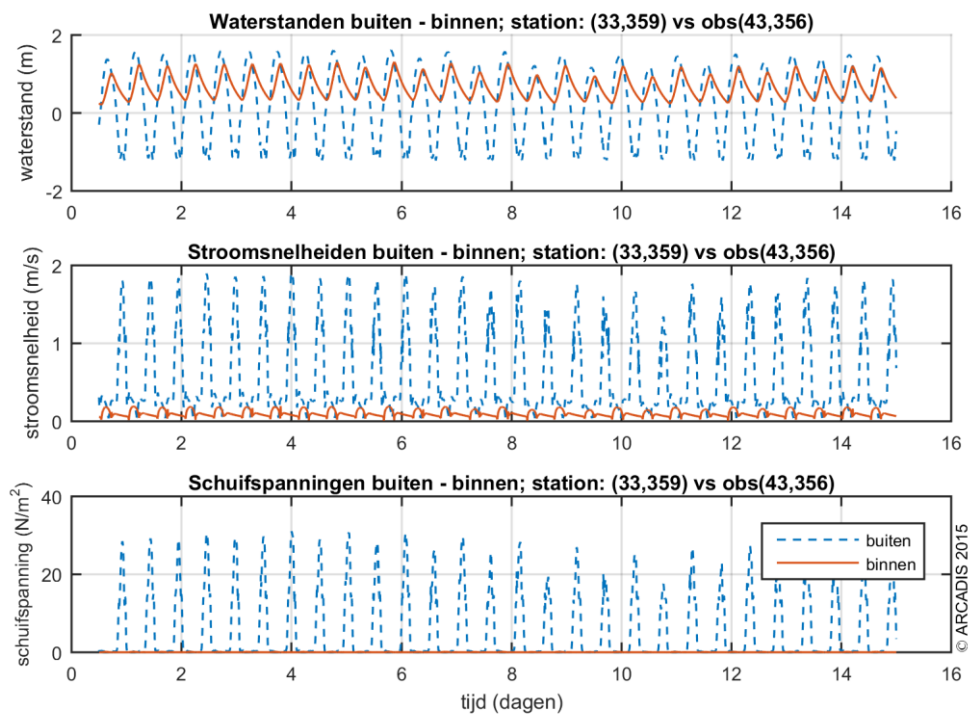
Het waterstand signaal laat zien dat in de situatie met duiker de waterstand wat toeneemt tijdens laagwater. Dit komt door het leegstromen van de kwelder. Dit is ook goed terug te zien in het stroomsnelheid signaal. Ten opzichte van de situatie zonder duiker is de stroomsnelheid sterk toegenomen. In de situatie zonder duiker staat dit gebied nagenoeg droog tijdens laag water. Hierdoor is er vrijwel geen stroming van water tijdens deze fase van het getij. Door het leeg stromen van de kwelder neemt de stroomsnelheid voor de monding van de duiker sterk toe. In combinatie met de geringe waterdiepte tijdens laag water neemt daardoor ook de bodemschuifspanning sterk toe.

Het leeg stromen van de kwelder resulteert in het uitschuren van de bodem in het gebied rond de monding van duiker. Er zal zich hier een geul ontwikkelen totdat zich een nieuw evenwicht heeft ingesteld.



Figuur 44 Tijdsree van waterstand, stroomsnelheid en schuifspanning aan de buitenkant van de duiker

Figuur 45 toont de verschillen in waterstand, stroomsnelheid en schuifspanning tussen het observatiepunt in de kwelder (binnen) en aan de buitenkant van de kwelder (buiten). Het waterstandsignaal laat zien dat er een klein faseverschil optreedt tussen het getij in de kwelder en aan de buitenkant. Dit wordt veroorzaakt door in- en uittreeverliezen door de duiker. Hierdoor is het moment van hoog,- en laagwater iets later in de kwelder dan aan de buitenkant. Ook is de uitwijking in de waterstand minder groot omdat de drempel van de duiker op NAP-0,5 m ligt. Gezien het gemiddelde bodemniveau van NAP-0,75m in de kwelder, kan het gebied niet volledige leegstromen en zal er altijd enkele decimeters water in het hele gebied blijven staan. Vergeleken met de gevonden stroomsnelheden aan de buitenkant van de duiker, zijn de stroomsnelheden in de kwelder significant lager. Hier treedt de hoogste stroomsnelheid op tijdens hoogwater aan de buitenkant. Op dat moment is het waterstandsverhang tussen binnen en buiten het grootst, waardoor de stroomsnelheid toe neemt. De schuifspanning in de kwelder is relatief laag, waardoor sedimenttransport waarschijnlijk nauwelijks zal plaats vinden. Sedimenttransport in de kwelder zal mogelijk nog verder worden beperkt door te verwachten vegetatie.



Figuur 45 Tijdserie van waterstand, stroomsnelheid en schuifspanning aan de binnen,- en buitenkant van de duiker

5.3.4 CONCLUSIE

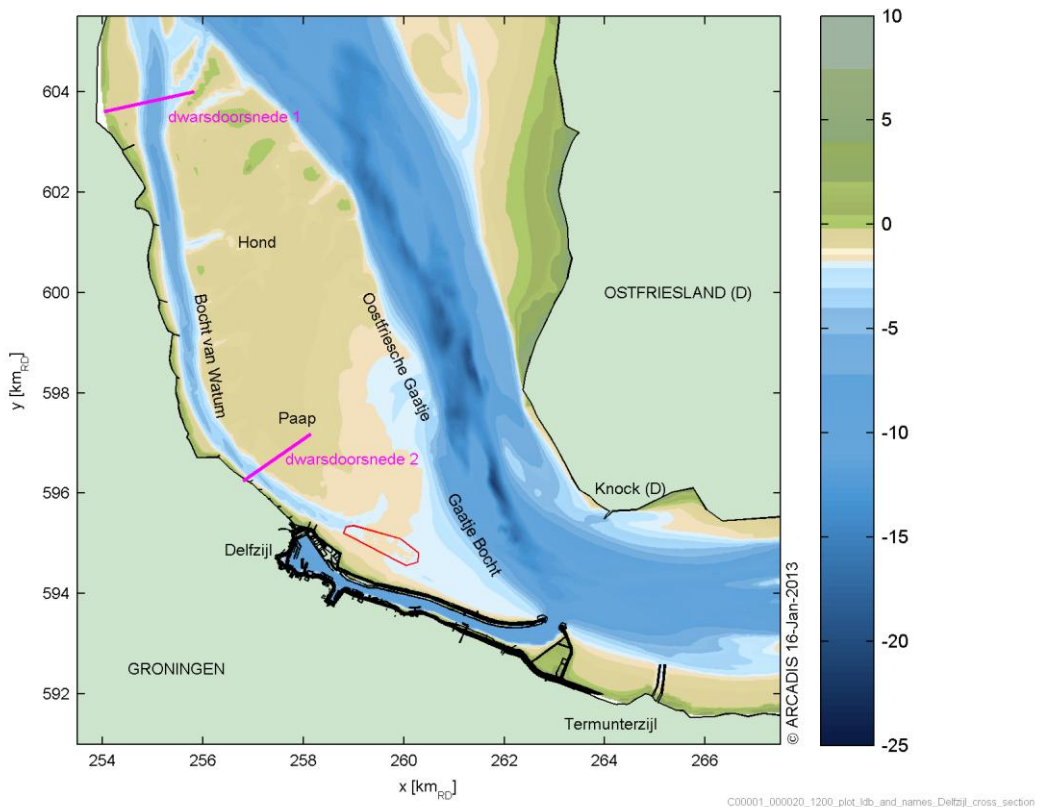
In dit hoofdstuk zijn de effecten van het Dubbele Dijk concept beschreven, ter aanvulling op de Rijke-Dijk maatregelen. Op basis van de uitgevoerde modelsimulaties wordt geconcludeerd dat het Dubbele Dijk concept met name effect heeft op de stroomsnelheden en morfologie in de directe nabijheid van de monding van de getijdeduiker.

De duiker mondt uit in een betrekkelijk ondiep gebied, dat in de huidige situatie tijdens laagwater vrijwel droog komt te liggen, waardoor er nauwelijks stroming van water optreedt. Dit verandert door het inpassen van het Dubbele Dijk concept. Door een faseverschil in het getij tussen binnen en buiten zal er tijdens laagwater nog steeds water uit de kwelder stromen, terwijl buiten de laagste waterstand al is bereikt. Hierdoor neemt lokaal de waterstand in het gebied rondom de monding van de duiker toe. Dit water stroomt in de richting van de hoofdgeul over een zeer geringe diepte. Hierdoor neemt de schuifspanning sterk toe, waardoor er een stroomgeul in de bodem zal ontstaan. Het uitschuren van de bodem zal doorgaan totdat een nieuw evenwicht is bereikt.

6

Verwijdering Griesberg

ARCADIS (2013) heeft in een eerdere studie de effecten van het verwijderen van de griesberg op de waterbeweging berekend. We herhalen hier de resultaten. Figuur 46 toont de resulterende bodemhoogte in het model na verwijdering van de griesberg. De aanpassing in de bodem is aangegeven met een rode polygoon. Er is ongeveer 350.000 m³ materiaal in het model verwijderd en de bodem ter hoogte van de griesberg is daarmee gelijk gemaakt met de omringende bodem.



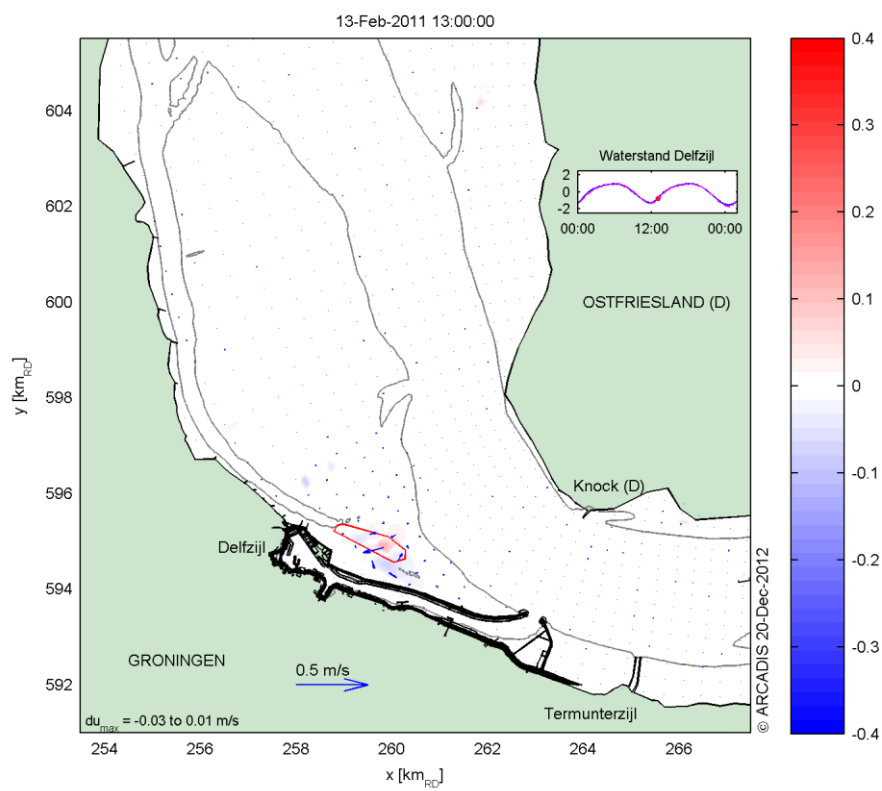
Figuur 46. Geschematiseerde bodemhoogte variant 1: verwijderde griesberg. De variant is aangegeven met een rode polygoon.

Figuur 47 toont het effect van het verwijderen van de griesberg op de snelheid bij opkomend tij. De aanpassing van de snelheden is beperkt en lokaal en ligt in de orde van enkele cm's per seconde. In het gebied van de verwijderde griesberg liggen de snelheden iets hoger, nabij de schermdijk iets lager. Dit geldt eveneens voor de snelheden bij afgaand tij (Figuur 48).

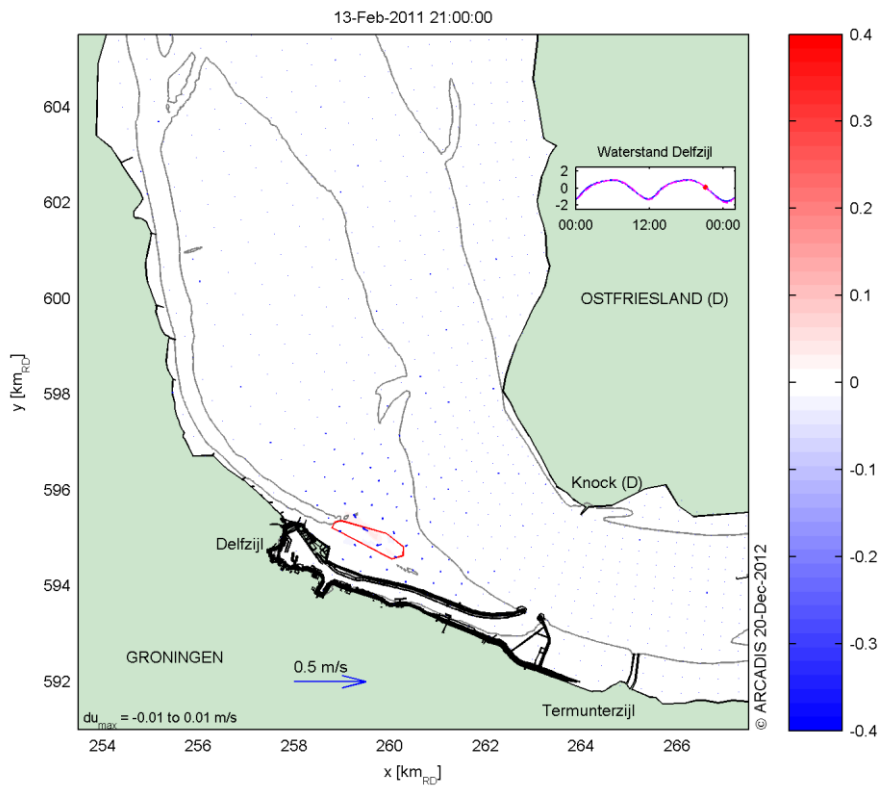
Het zuidelijk deel van de Bocht van Watum neemt al langere tijd af in getijdebiet en natte doorsnede (o.a. Alkyon, 2007). De geul is hier eb-gedomineerd (o.a. Kiezebrink, 1996; Alkyon, 2007). Het is voor de

morfologische ontwikkeling van dit gebied dan ook belangrijk om vast te stellen of het verwijderen van de griesberg van invloed is op het getijdebiet en het getijvolume door deze geul.

Figuur 46 toont de locaties van de dwarsdoorsnedes waarvoor de getijdebieten en getijvolumes zijn berekend. Ter illustratie van het effect van de variant toont figuur 49 het berekende momentane en cumulatieve debiet door de Bocht van Watum in dwarsdoorsnede 2 in de bestaande situatie en in de situatie waarin de griesberg is verwijderd. Een negatief debiet duidt op een debiet in noordwestelijke richting. Duidelijk is te zien dat de geul ebgedomineerd is. Er stroomt tijdens eb meer debiet door de geul dan tijdens vloed waardoor het cumulatieve debiet netto een negatieve trend vertoont. Het effect van het verwijderen van de griesberg op het momentane debiet is nauwelijks zichtbaar. Het effect van het verwijderen van de griesberg op het cumulatieve debiet is zichtbaar in de vorm van een zeer lichte toename van de negatieve trend. De geul wordt iets meer ebdominant.

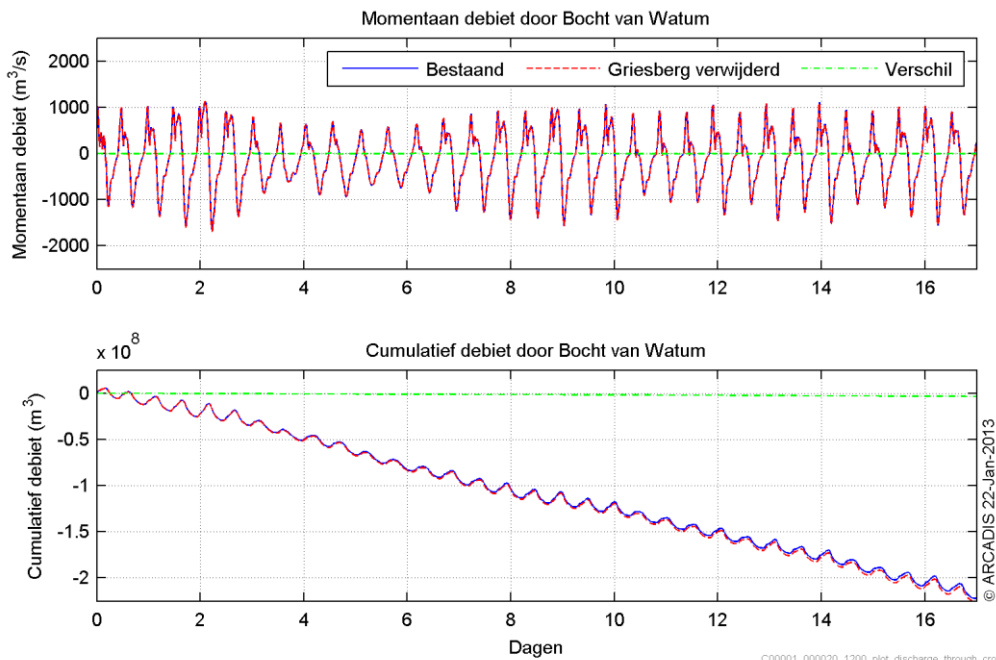


Figuur 47. Effect van verwijderen griesberg op de stroomsnelheid tijdens opkomend tij



C00001_000020_1200_plot_velocity_vectors_def_dd_effect

Figuur 48. Effect van verwijderen griesberg op de stroomsnelheid tijdens afgaand tij



C00001_000020_1200_plot_discharge_through_cross_sections_v02

Figuur 49. Berekend momentaan en cumulatief debiet door de Bocht van Watum in dwarsdoorsnede 2 in bestaande situatie en in situatie waarbij de griesberg is verwijderd.

Tabel 4 toont de berekende procentuele aanpassing van de getijvolumes door de Bocht van Watum in doorsnedes 1 en 2 als gevolg van de variant. De berekende aanpassing van het gemiddelde vloedvolume ligt tussen de -0,0% en -0,2 % (wordt dus marginaal kleiner), van het gemiddelde ebvolume tussen de +0,1% en +0,7% (neemt dus marginaal toe) en van het gemiddelde totale getijvolume tussen de +0,1% en +0,3%.

Volgens stabiliteitsrelaties zoals bijvoorbeeld die van Gerritsen & De Jong (1985) is er een lineair verband tussen de doorsnede van een getijgeul en het debiet dat door die getijgeul stroomt. Voor dat debiet kan gebruik worden gemaakt van het Totale Volume (TV), als de eb- (EV) en de vloedvolumen (VV) niet al te zeer verschillen. Zouden ze dat wel doen (bv EV meer dan twee keer het VV), dan zou in de evenwichtsbeschouwing het dominante getijvolume moeten worden beschouwd. De toename van het getijdebiet (TV) met 0,1% tot 0,3% zou volgens de relatie resulteren in een toename van de oppervlakte van de natte doorsnede met hetzelfde percentage . Met andere woorden: de geul zou marginaal (enkele promillen) ruimer kunnen worden.

| | Aanpassing vloedvolume (%) | Aanpassing ebvolume (%) | Aanpassing totaal volume (%) |
|------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Dwarsdoorsnede 1 | -0,0 | +0,1 | +0,1 |
| Dwarsdoorsnede 2 | -0,2 | +0,7 | +0,3 |

Tabel 4. Aanpassing van het gemiddelde vloedvolume, ebvolume en totaal getijvolume door dwarsdoorsnede 1 en 2 als gevolg van variant 1, in procenten ten opzichte van het volume in de bestaande situatie. Figuur 46 toont de locaties van de dwarsdoorsnedes.

Het is belangrijk vast te stellen dat de berekende aanpassing in de natte doorsnede van de Bocht van Watum ongeveer een factor 100 kleiner is dan de huidige natuurlijke dynamiek die de geul jaarlijks vertoont. Ook verschillen tussen spring en doodtij, alsmede langere getijcycli leiden tot veel grotere variaties in het getijvolume, wat zich net zo uit in de natte doorsnede van de geul.

7

Conclusies en aanbevelingen

Normale condities

Uit de berekeningsresultaten blijkt dat de Rijke Dijk maatregelen een beperkte lokale invloed hebben op de waterbeweging. De stroomsnelheden ter hoogte van de ontkoppeling van de strekdammen nemen toe met enkele decimeters per seconde. Om erosie ter hoogte van de ontkoppeling te vermijden dient een bodembescherming aangebracht te worden.

Het effect op de waterbeweging is gering in omvang omdat de maatregelen klein zijn in verhouding tot de grootschalige waterbeweging in de Eems-Dollard tussen Eemshaven en Delfzijl.

Het effect van de Rijke Dijk maatregelen op het totale gemiddelde getijvolume door de Bocht van Watum is zeer klein (enkele promillen) ten opzichte van de huidige dynamiek van de geul. De Rijke Dijk maatregelen hebben daardoor geen invloed op de grootschalige morfologie van het Eems-Dollard estuarium.

Het geringe effect van de Rijke Dijk maatregelen op de debieten door de De Bocht van Watum wordt verklaart door de kleine rol die deze geul speelt in het grootschalige getijverhangsysteem. In termen van getijdebiet is het nauwelijks een doorgaande getijgeul. Het noordelijk deel van de geul speelt wel een belangrijke rol bij de vulling en lediging van een min of meer eigen kombergingsgebied dat grotendeels bestaat uit de (westzijde van de) Hond-Paap.

Het inpassen van het Dubbele Dijk concept zorgt voor lokale veranderingen in de waterbeweging en morfologie rondom de monding van de duiker. Door een toename van de stroomsnelheid tijdens laagwater zal in eerste instantie een stroomgeul voor de monding van duiker ontstaan. Na enige tijd zal er een evenwicht ontstaan tussen het volume in- en uitstromende water en de dimensies van de geul. Dit proces is vergelijkbaar met de ontwikkelingen bij polder Breebaart. Per duiker stroomt er ongeveer 300.000 m³ per getij het gebied in en uit. Om erosie tegen te gaan dient een bodembescherming bij de in- en uitstroomopeningen aangebracht te worden.

Verwijdering van de griesberg heeft een licht stimulerend effect op het totale getijvolume door de Bocht van Watum en op de ebdominantie van de geul. De veranderingen zijn echter zeer klein ten opzichte van de natuurlijke dynamiek van het geulensysteem.

Extreme condities

Voor een 1:100 jaar condities bedraagt de waterstand is NAP+4,4 m zonder zeespiegelstijging en NAP+4,7 m met zeespiegelstijging. De significante golfhoogte ter hoogte van het vogeleiland bedraagt H_{sn} = 1,1 m met een piekperiode T_p van 3,9-4,1 s onder een invalshoek van Th_n = 10-12°. De windsnelheid is ruim 24 m/s en de windrichting 315-318°.

Het vogeleiland wordt aangelegd op NAP+2,8 m. Bij een waterstand van NAP+4,4 m staat het eiland dus 1,6 m onder water. Bij golven van 1,1 m zijn de orbitaalsnelheden zodanig dat kiezels/ grind/schelpen in beweging zullen komen. Wanneer dit onvoldoende wordt beschermd dan zal deze laag eroderen en ook het onderliggende keileem en zand zal worden aangetast door de golven.

Wanneer het eiland voldoende erosiebestendig wordt aangelegd dan heeft het vooral een afschermdende werking voor de golven. Op het vogeleiland en westwaarts ervan is golfhoogte tijdens een 1:100 jaar conditie 0,1-0,2 m lager dan in de huidige situatie.

Ontkoppeling van de strekdammen heeft bij een 1:100 condities een nihil effect op de golfhoogtes.

De Rijke Dijk maatregelen hebben daardoor geen invloed op de waterveiligheid met dien verstande dat er ter hoogte van de ontkoppeling van de strekdammen een bodembescherming aangebracht wordt.

Voor het Dubbele Dijk concept zijn geen extreme condities doorgerekend, omdat de duiker tijdens deze omstandigheden zal worden afgesloten.

Ecologische beoordeling KRW

Uit de beoordeling van de effecten van de maatregelen Rijke Dijken de biologische waterkwaliteit blijkt dat er géén significante effecten te verwachten zijn. Eventuele effecten treden slechts lokaal en beperkt op en leiden niet tot een relevante verslechtering van de toestand van de waterlichamen Eems-Dollard.

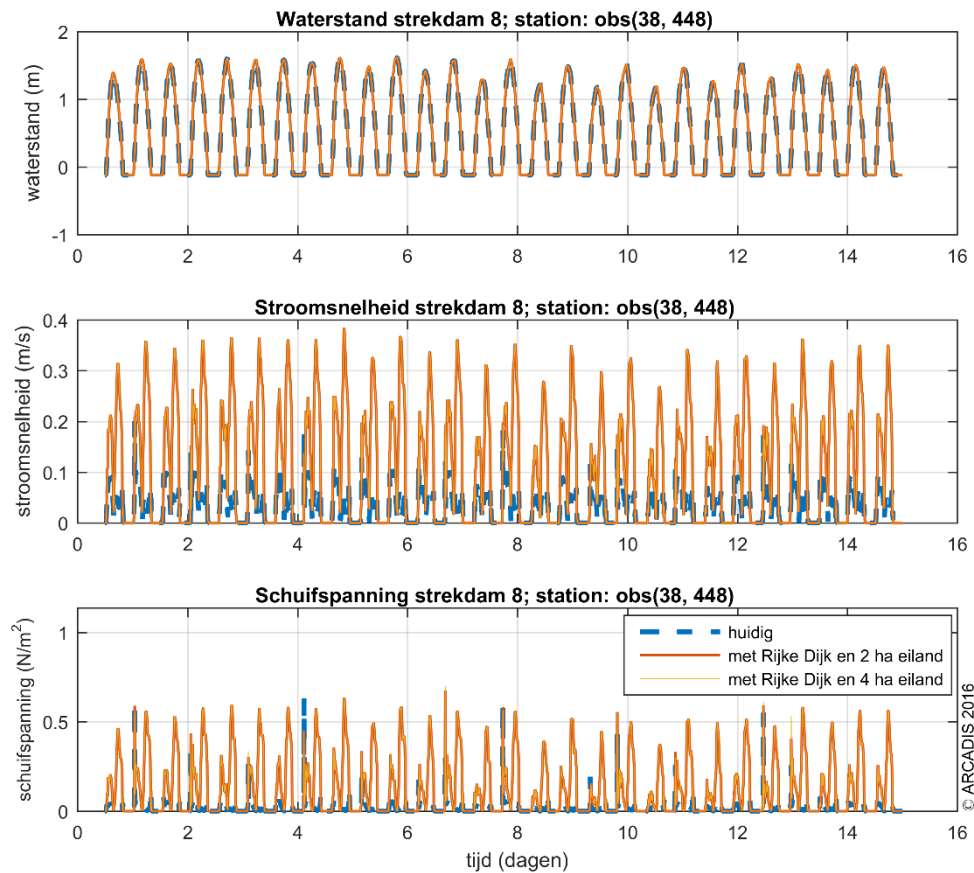
Aanbevelingen

- Aanbrengen bodembescherming bij ontkoppelde strekdam
- Erosiebestendig ontwerp van het vogeleiland, of aanleg van een zandbuffer

Referenties

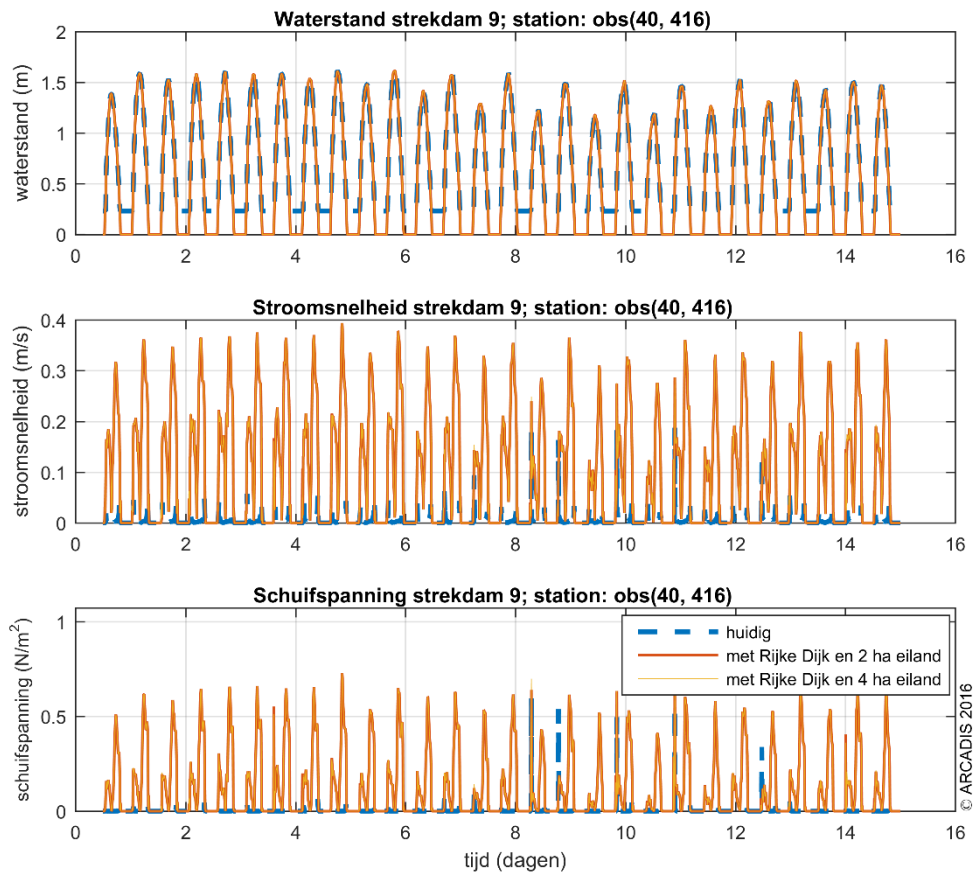
- Adema, J., Geleynse, N., Telenta, B. Een rekenexperiment voor de Waddenzee, de storm van 5 & 6 december 2013. Rapport C03041.001941.0100, ARCADIS, 2014
- Alkyon, 2007. Hydromorphological study for EIA of Eemshaven and EIA of fairway to Eemshaven (No. A1836R1r5). Alkyon Hydraulic Consultancy & Research, Marknesse, The Netherlands.
- ARCADIS, 2013. Numeriek modelberekeningen voor ecodynamische variantenanalyse kustontwikkeling Delfzijl. ARCADIS, rapport 076893494:A
- Deltares, 2011, Deltascenario's, Verkenning van mogelijke fysieke en sociaaleconomische ontwikkelingen in de 21ste eeuw op basis van KNMI'06 en WLO-scenario's, voor gebruik in het Deltaprogramma 2011 – 2012, Deltares, 1204151.002
- Deltares, 2013, Development of the next generation Dutch Continental Shelf Flood Forecasting models, Set-up, calibration and validation, report 1205989-003, 15 July 2013
- Deltares,, 2014, Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden, ten behoeve van nHWBP 2014 projecten, Deltares, 1208992-000, 2014 B
- Grontmij, 2015, Programma van eisen Rijke Dijk, Dijkverbetering Eemshaven-Delfzijl, rapport 344100, Grontmij, 10 mei 2015
- Kater, B.J., Snoek, R. & Hartsuiker, G., 2010. De relatie tussen abiotiek en macrobenthos in de Waddenzee, rapport C04021.002056, geovalley rapport 2, ARCADIS, 10 december 2010.
- Gerritsen, F, en De Jong, H. 1985. Stabiliteit van doorstroomprofielen in het Waddengebied. Rijkswaterstaat, rapport WWKZ 84.v016.
- Hydra-K versie 3.6.5, Gebruikershandleiding productversie WTI-2011, HKV Lijn in water, PR1564, februari 2012
- Kiezebrink, M., 1996. De dynamiek van het Eems-Dollard estuarium. Rapport NN-ANW 96-07, pp. 1-110. Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland.

Bijlage 1

Berekende tijdseries
waterstand, stroomsnelheid
en schuifspanning

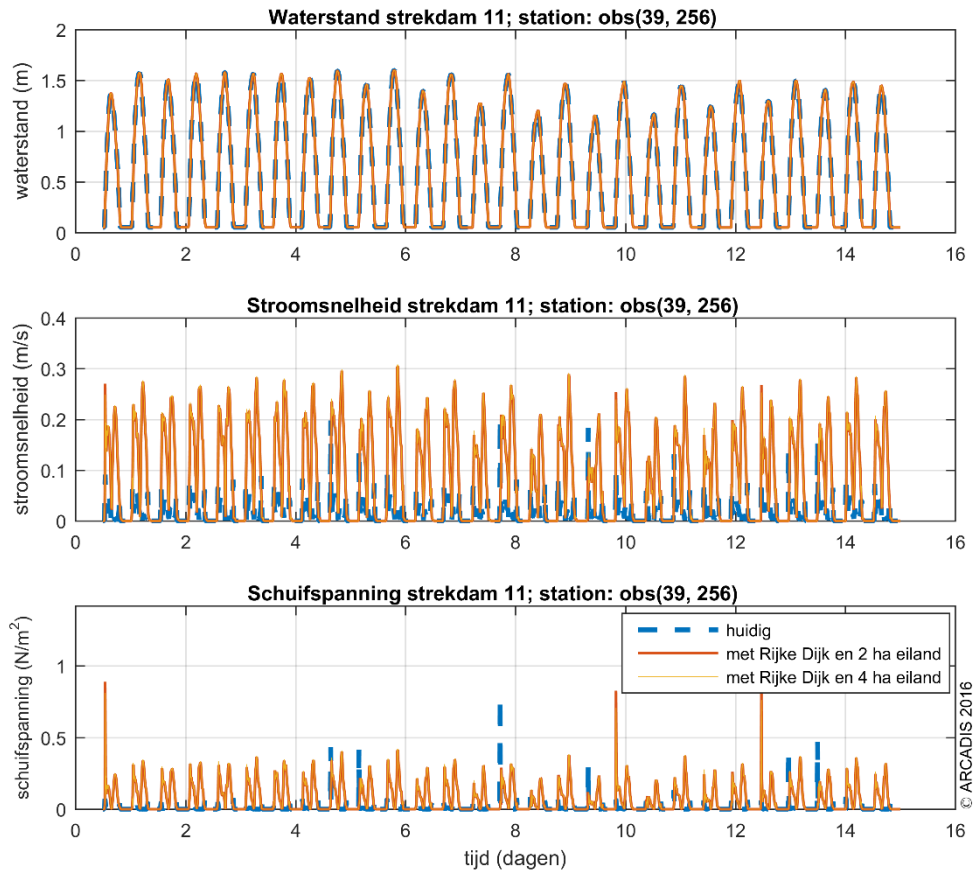
C03041_002103_plot_trih_results

Figuur 50. Tijdserie van waterstand, stroomsnelheid en schuifspanning ter hoogte van de ont koppeling bij strekdam 8 (zie figuur 3 voor schets)



C03041_002103_plot_trnh_results

Figuur 51. Tijdserie van waterstand, stroomsnelheid en schuifspanning ter hoogte van de ontkoppeling bij strekdam 9 (zie figuur 2 voor schets)

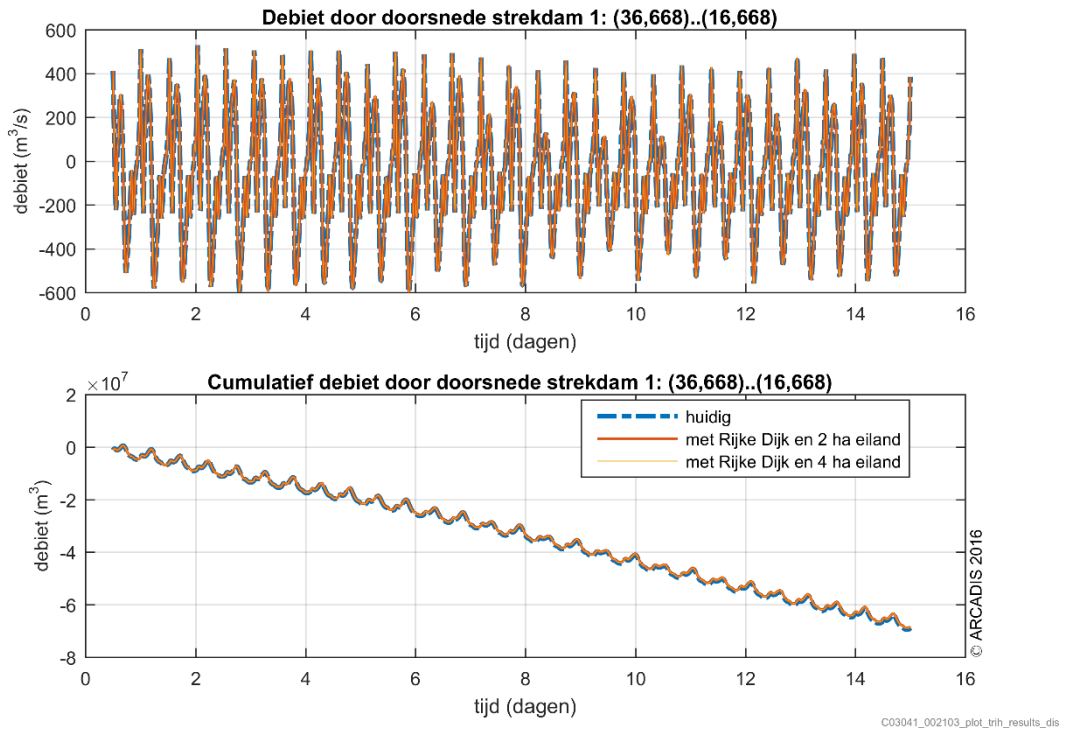


C03041_002103_plot_trnh_results

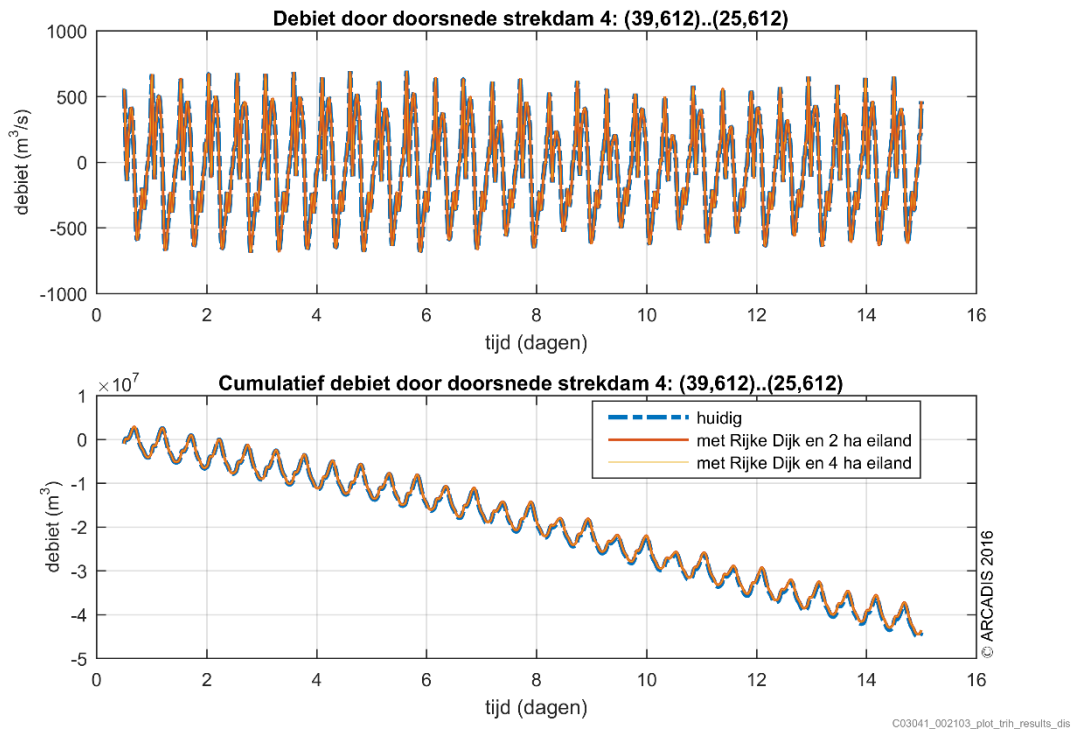
Figuur 52. Tijdsree van waterstand, stroomsnelheid en schuifspanning ter hoogte van de ontkoppeling bij strekdam 11 (zie figuur 2 voor schets)

Bijlage 2

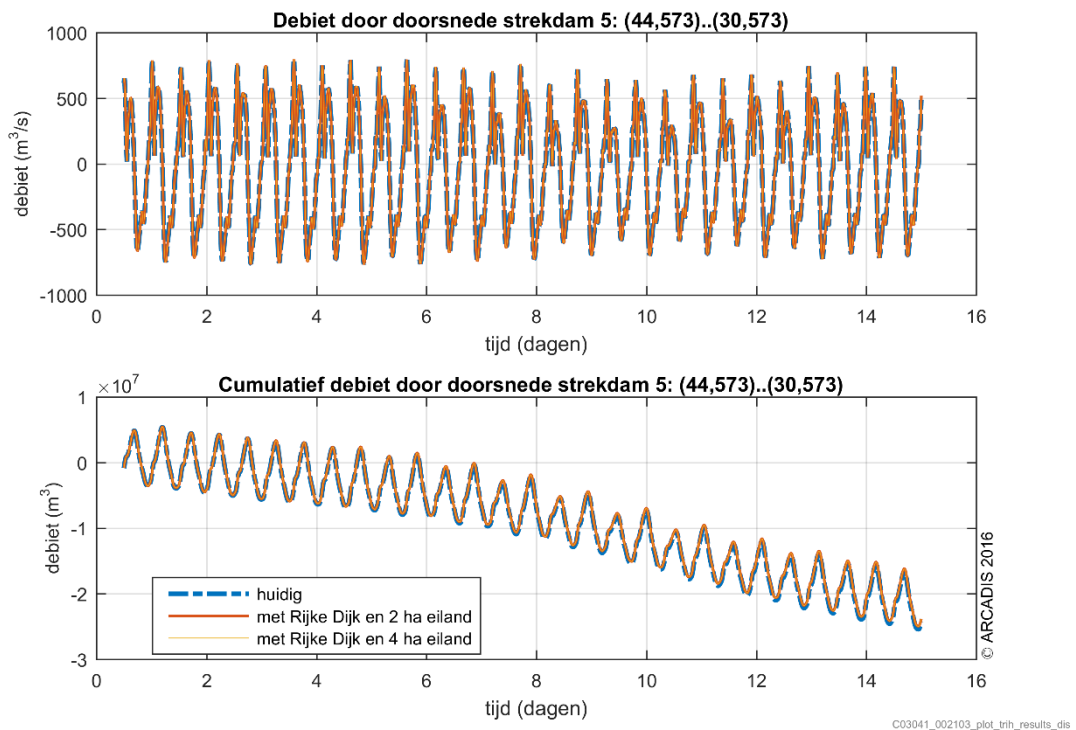
Berekende tijdseries debieten



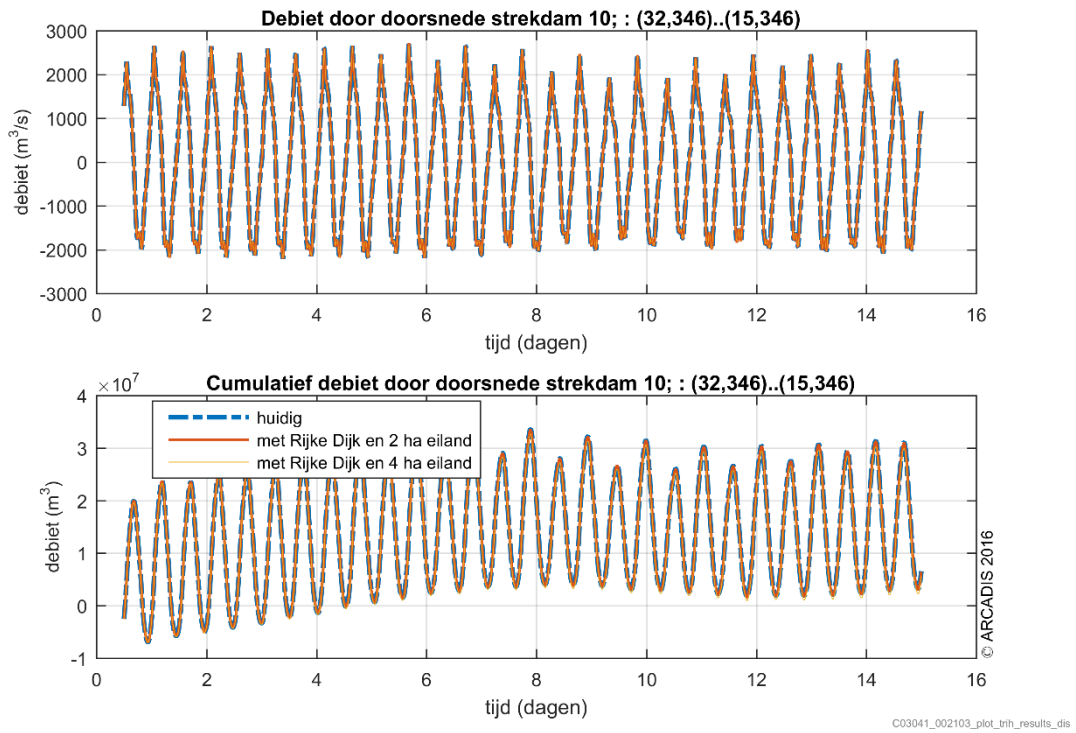
Figuur 53. Instantaan debiet (boven) en cumulatief debiet (onder) door Bocht van Watum ter hoogte van strekdam 1



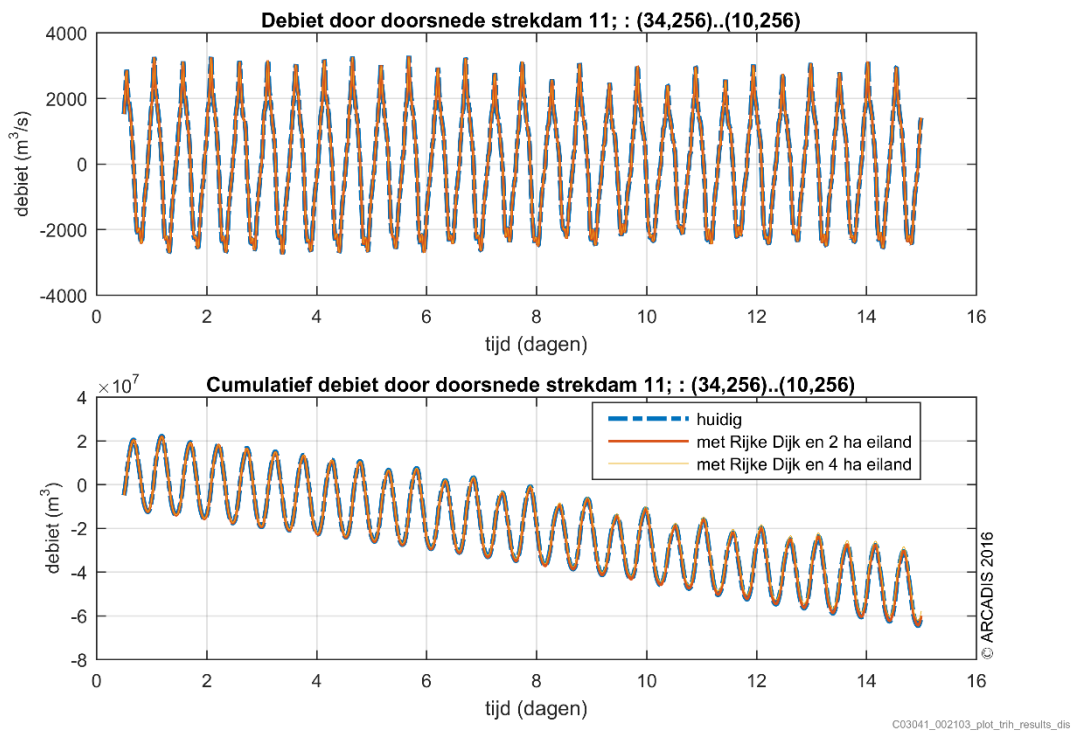
Figuur 56. Instantaan debiet (boven) en cumulatief debiet (onder) door Bocht van Watum ter hoogte van strekdam 4



Figuur 57. Instantaan debiet (boven) en cumulatief debiet (onder) door Bocht van Watum ter hoogte van strekdam 5



Figuur 60. Instantaan debiet (boven) en cumulatief debiet (onder) door Bocht van Watum ter hoogte van strekdam 10



Figuur 61. Instantaan debiet (boven) en cumulatief debiet (onder) door Bocht van Watum ter hoogte van strekdam 10

Bijlage 3 Hydra-K berekeningen

| loc. | X | Y | orient. | W_{in} | H_{sn} | $T_{m1,0n}$ | T_{hn} | T_{pn} | $T_{m0,2n}$ | W_{io} | W_{so} | W_{ro} | Toetspeil |
|------|--------|--------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|-----------|
| 461 | 253983 | 604800 | 92 | 4.24 | 0.85 | 3.32 | 20.53 | 4.41 | 1.71 | 4.01 | 23.95 | 320 | 5.69 |
| 462 | 253977 | 604550 | 91 | 4.25 | 0.90 | 3.30 | 19.51 | 3.79 | 1.76 | 4.01 | 24.01 | 320 | 5.70 |
| 463 | 253971 | 604299 | 92 | 4.25 | 0.92 | 3.26 | 18.22 | 3.47 | 1.78 | 4.00 | 23.90 | 320 | 5.71 |
| 464 | 253966 | 604083 | 92 | 4.25 | 0.95 | 3.29 | 17.89 | 3.55 | 1.82 | 4.00 | 23.97 | 320 | 5.72 |
| 465 | 253961 | 603861 | 91 | 4.27 | 1.01 | 3.44 | 18.45 | 3.97 | 1.91 | 4.01 | 24.05 | 320 | 5.72 |
| 466 | 253955 | 603638 | 91 | 4.29 | 1.06 | 3.60 | 20.33 | 4.39 | 1.98 | 4.02 | 24.11 | 320 | 5.73 |
| 467 | 253950 | 603482 | 91 | 4.31 | 1.07 | 3.66 | 21.48 | 4.49 | 2.02 | 4.02 | 24.04 | 320 | 5.74 |
| 468 | 254024 | 603365 | 41 | 4.34 | 1.11 | 3.67 | 18.83 | 4.62 | 2.05 | 4.05 | 24.00 | 320 | 5.75 |
| 469 | 254182 | 603229 | 41 | 4.52 | 1.14 | 3.74 | 10.40 | 4.54 | 2.07 | 3.95 | 24.50 | 310 | 5.76 |
| 470 | 254311 | 603066 | 57 | 4.52 | 1.21 | 3.77 | 6.67 | 4.52 | 2.13 | 3.95 | 24.62 | 310 | 5.77 |
| 471 | 254437 | 602874 | 59 | 4.54 | 1.17 | 3.64 | 0.83 | 3.62 | 2.07 | 3.96 | 24.63 | 310 | 5.79 |
| 472 | 254548 | 602703 | 57 | 4.54 | 1.12 | 3.34 | 357.43 | 3.46 | 1.99 | 3.95 | 24.54 | 310 | 5.80 |
| 473 | 254660 | 602531 | 57 | 4.56 | 1.17 | 3.35 | 357.27 | 3.53 | 2.03 | 3.96 | 24.66 | 310 | 5.81 |
| 474 | 254773 | 602360 | 56 | 4.56 | 1.14 | 3.19 | 354.73 | 3.45 | 1.99 | 3.95 | 24.66 | 310 | 5.82 |
| 475 | 254877 | 602184 | 66 | 4.51 | 1.05 | 2.94 | 351.07 | 3.23 | 1.91 | 3.91 | 24.10 | 310 | 5.84 |

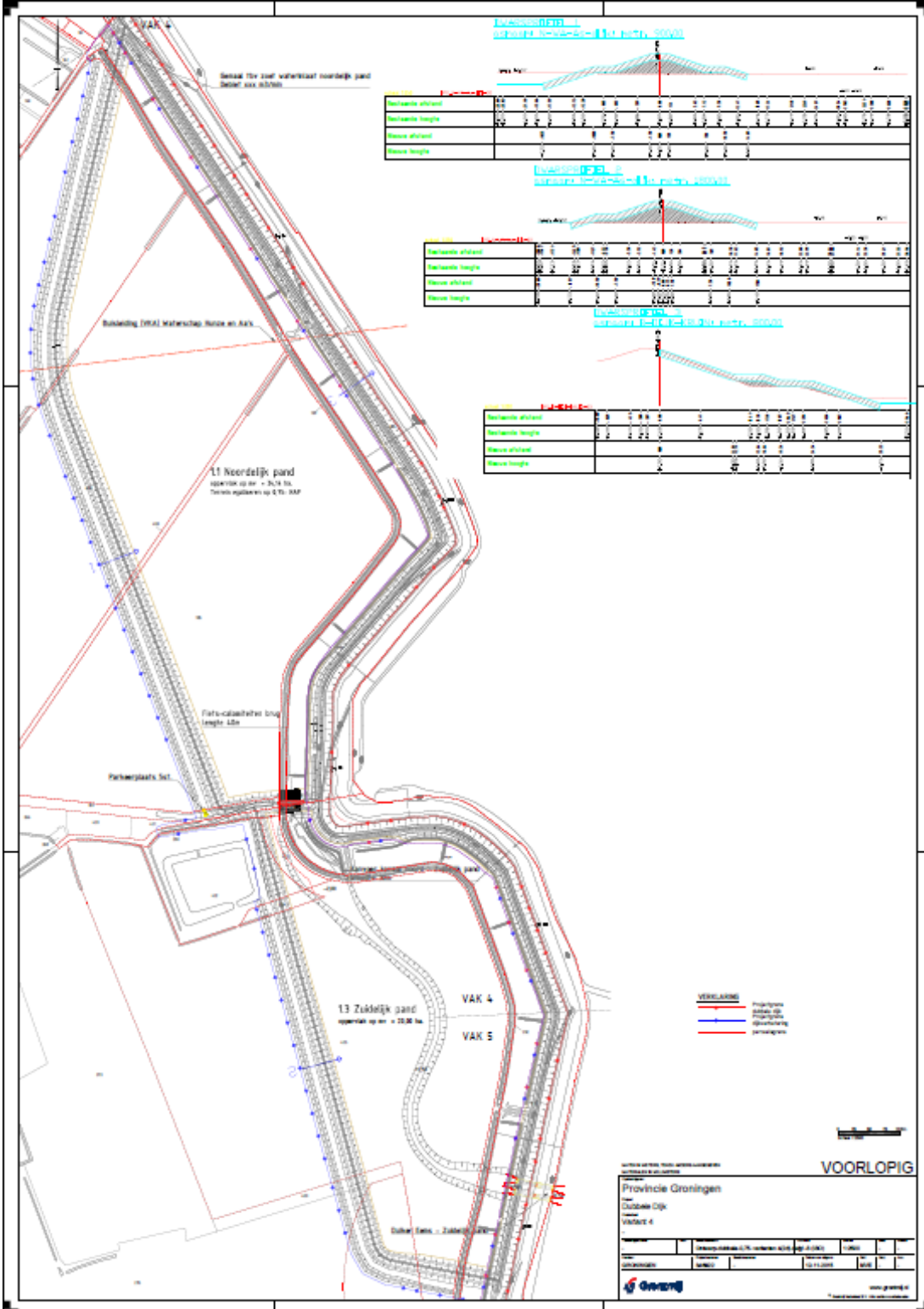
Tabel 5. Berekende 1/100 jaar condities, op basis van waarnemingen, hoogste waterstand, KustDB database zonder stromingscorrectie, Faalmechanisme: golfoverslag, Oploop/Overslagmodule: PC-Overslag versie 7.2 MKH, Hydra-K versie 3.6.5 Extra Opties zonder zeespiegelstijging

| loc. | X | Y | orient. | W_{in} | H_{sn} | $T_{m1,0n}$ | T_{hn} | T_{pn} | $T_{m0,2n}$ | W_{io} | W_{so} | W_{ro} | Toetspeil |
|------|--------|--------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|-----------|
| 461 | 253983 | 604800 | 92 | 4.57 | 0.88 | 3.46 | 20.63 | 4.75 | 1.78 | 4.35 | 23.97 | 320 | 5.69 |
| 462 | 253977 | 604550 | 91 | 4.58 | 0.93 | 3.44 | 19.86 | 4.07 | 1.82 | 4.35 | 24.04 | 320 | 5.70 |
| 463 | 253971 | 604299 | 92 | 4.51 | 1.02 | 3.46 | 22.85 | 3.64 | 1.93 | 4.28 | 23.60 | 325 | 5.71 |
| 464 | 253966 | 604083 | 92 | 4.43 | 1.10 | 3.58 | 26.19 | 3.84 | 2.07 | 4.20 | 23.14 | 330 | 5.72 |
| 465 | 253961 | 603861 | 91 | 4.62 | 1.04 | 3.57 | 19.09 | 4.10 | 1.98 | 4.35 | 24.10 | 320 | 5.72 |
| 466 | 253955 | 603638 | 91 | 4.63 | 1.09 | 3.71 | 20.88 | 4.49 | 2.05 | 4.35 | 24.15 | 320 | 5.73 |
| 467 | 253950 | 603482 | 91 | 4.66 | 1.11 | 3.78 | 21.90 | 4.58 | 2.09 | 4.37 | 24.15 | 320 | 5.74 |
| 468 | 254024 | 603365 | 41 | 4.68 | 1.15 | 3.79 | 19.47 | 4.72 | 2.13 | 4.39 | 24.01 | 320 | 5.75 |
| 469 | 254182 | 603229 | 41 | 4.69 | 1.31 | 4.04 | 16.24 | 4.81 | 2.31 | 4.39 | 24.01 | 320 | 5.76 |
| 470 | 254311 | 603066 | 57 | 4.79 | 1.31 | 3.99 | 10.39 | 4.69 | 2.28 | 4.47 | 24.42 | 315 | 5.77 |
| 471 | 254437 | 602874 | 59 | 4.80 | 1.27 | 3.88 | 5.01 | 3.91 | 2.23 | 4.47 | 24.43 | 315 | 5.79 |
| 472 | 254548 | 602703 | 57 | 4.90 | 1.17 | 3.48 | 358.42 | 3.56 | 2.07 | 4.31 | 24.70 | 310 | 5.80 |
| 473 | 254660 | 602531 | 57 | 4.91 | 1.21 | 3.48 | 358.16 | 3.63 | 2.11 | 4.31 | 24.70 | 310 | 5.81 |
| 474 | 254773 | 602360 | 56 | 4.92 | 1.18 | 3.32 | 355.55 | 3.55 | 2.07 | 4.31 | 24.71 | 310 | 5.82 |
| 475 | 254877 | 602184 | 66 | 4.88 | 1.09 | 3.06 | 351.70 | 3.32 | 1.98 | 4.27 | 24.27 | 310 | 5.84 |

Tabel 6. Berekende 1/100 jaar condities, op basis van waarnemingen, hoogste waterstand, KustDB database zonder stromingscorrectie, Faalmechanisme: golfoverslag, Oploop/Overslagmodule: PC-Overslag versie 7.2 MKH, Hydra-K versie 3.6.5 Extra Opties met 0,35 m zeespiegelstijging

Bijlage 4

Ontwerp Dubbele Dijk – variant 4



Colofon

HYDROMORFOLOGISCHE EFFECTEN KOPPELPROJECTEN DIJKVERSTERKING EEMSHAVEN – DELFIJL

OPDRACHTGEVER:

Provincie Groningen

STATUS:

Definitief

AUTEUR:

dr.ir. B.T. Grasmeijer
Belinda Kater
Jerker Menninga

GECONTROLEERD DOOR:

Dr. Jelmer Cleveringa

VRIJGEGEVEN DOOR:

Michiel van Reen

11 februari 2016

078589928:A

ARCADIS NEDERLAND BV

Hanzelaan 286

Postbus 137

8000 AC Zwolle

Tel +31 38 7777 700

Fax +31 38 7777 710

www.arcadis.nl

Handelsregister 09036504

©ARCADIS. Alle rechten voorbehouden. Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld, mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbenden niets uit dit document worden veeelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, digitale reproductie of anderszins.