

**Vervolgonderzoek drie
buitendijkse maatregelen voor
natuurherstel in de
Westerschelde**



Vervolgonderzoek drie buitendijkse maatregelen voor natuurherstel in de Westerschelde

drs. A.J. Nolte e.a.

1204087-000

Titel

Vervolgonderzoek drie buitendijkse maatregelen voor natuurherstel in de Westerschelde

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie	1204087-000	1204087-000-ZKS-0154	90

Trefwoorden

Westerschelde en Saeftinghe, Natura2000, natuurherstel, intergetijdengebied, hydrodynamische en morfologische modellering

Samenvatting

De natuurherstelopgave – zoals gehanteerd in dit onderzoek – bestaat uit het realiseren van laagdynamisch intergetijdengebied. Op basis van de ecotopenkaarten van 1977 tot 2010 is geconstateerd dat binnen de verzamelterm 'estuariene natuur' het ecotoop laagdynamisch intergetijdengebied het meest onder druk staat. Eerder onderzoek heeft drie locaties geïdentificeerd waar dit ecotoop gerealiseerd zou kunnen worden: De Platen van Ossensisse, de Slikken van Hulst en de Appelzak. De toenmalige kwalitatieve onderbouwing wordt in het voorliggende vervolgonderzoek uitgewerkt tot een zo goed mogelijke kwantitatieve onderbouwing.

Beschikbare metingen en nieuw opgezette hydro-morfologische modellen zijn ingezet voor iedere locatie om inzicht in het (lokale) systeemgedrag te vergroten en om het effect van maatregelen op het areaal laagdynamisch intergetijdengebieden te kwantificeren. Voor de Platen van Ossensisse kan naar verwachting <10 ha laagdynamisch intergetijdengebied gerealiseerd worden. Voor de Slikken van Hulst wordt geen significante bijdrage aan de natuurherstelopgave verwacht. Hoewel het onderzoek voor Appelzak tussentijds gestopt is en een uitspraak dus tentatiever is, kan hier mogelijk 15-20 ha bijdrage aan de natuurherstelopgave gerealiseerd worden.

Voor zowel de metingen als de modellen zijn de grenzen van het thans mogelijke opgezocht en bereikt. Geconstateerd is dat een betrouwbare kwantitatieve voorspelling voor het onderzochte type lokale maatregelen nog beperkt is. Door de grenzen op te zoeken is desalniettemin veel bruikbare kennis opgedaan die in het onderzoek ten behoeve van beheer en beleid van de Westerschelde en Saeftinghe inzetbaar is.

Referenties

–

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	nov. 2012	drs. A.J. Nolte		ir. M.D. Taal		ir. T. Schilperoort	
				dr. L.A. van Duren			

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding en vraagstelling	1
1.1 Aanleiding	<u>4</u>
1.2 Doelstelling	<u>2</u>
1.3 Introductie van locaties en maatregelen	<u>2</u>
1.4 Onderzoeksstrategie	<u>3</u>
1.5 Leeswijzer	<u>8</u>
1.6 Projectorganisatie en projectteam	<u>9</u>
	<u>—</u>
2 Beschrijving huidige situatie en recent historische ontwikkeling	11
2.1 Inleiding en aanpak	<u>11</u>
2.2 Waterstanden, stroomsnelheden en zoutgehalte	<u>11</u>
2.3 Morfologie / Bathymetrie	<u>13</u>
2.3.1 Platen van Ossensisse	<u>13</u>
2.3.2 Slikken van Hulst	<u>14</u>
2.3.3 Appelzak	<u>16</u>
2.4 Sedimentsamenstelling	<u>17</u>
2.5 Macrobenthos	<u>18</u>
2.5.1 Platen van Ossensisse	<u>19</u>
2.5.2 Slikken van Hulst	<u>19</u>
2.5.3 Appelzak	<u>20</u>
2.5.4 Conclusie	<u>21</u>
2.6 Ecotopenkaarten	<u>22</u>
2.6.1 Westerschelde	<u>22</u>
2.6.2 Platen van Ossensisse	<u>23</u>
2.6.3 Slikken van Hulst	<u>25</u>
2.6.4 Appelzak	<u>27</u>
2.7 Overig	<u>29</u>
2.7.1 Droogvalduur	<u>29</u>
2.7.2 Waterkwaliteit	<u>30</u>
2.7.3 Kokkels	<u>30</u>
2.7.4 Unieke macrobenthossoorten	<u>30</u>
2.7.5 Zeegras	<u>31</u>
2.7.6 Vogels	<u>31</u>
2.8 Samenvattende en concluderende beschrijving	<u>32</u>
2.8.1 Platen van Ossensisse	<u>32</u>
2.8.2 Slikken van Hulst	<u>33</u>
2.8.3 Appelzak buitendijks	<u>33</u>
	<u>—</u>
3 Hydro-morfologische modellering: modelopzet en -validatie	35
3.1 Inleiding en aanpak	<u>35</u>
3.2 Opzet en validatie hydro-morfologisch FINEL en Delft3D model	<u>35</u>
3.2.1 FINEL	<u>35</u>
3.2.2 Delft3D	<u>36</u>
3.2.3 Belangrijkste kenmerken FINEL en Delft3D modellen	<u>38</u>
3.3 Hydrodynamische validatie	<u>38</u>
3.4 Morfologische validatie	<u>39</u>
3.4.1 Platen van Ossensisse (FINEL)	<u>39</u>
	<u>—</u>

3.4.2	Platen van Ossenis (Delft3D)	<u>41</u>
3.4.3	Morfologische validatie Slikken van Hulst (FINEL)	<u>42</u>
3.4.4	Appelzak (FINEL)	<u>44</u>
3.5	Bepaling stroomsnelheidsgrens voor bepaling laagdynamisch intergetijdengebied	<u>44</u>
3.6	Vergelijking en conclusie toepasbaarheid	<u>48</u>
4	Modelonderzoek van maatregelen	<u>51</u>
4.1	Aanpak	<u>51</u>
4.2	Locatie Platen van Ossenis	<u>52</u>
4.2.1	Basisberekening met Finel2D	<u>52</u>
4.2.2	Verificatie met Delft3D	<u>55</u>
4.2.3	Vergelijkende en samenvattende conclusie	<u>57</u>
4.3	Locatie Slikken van Hulst	<u>58</u>
4.3.1	Basisberekening met Finel2D	<u>58</u>
4.3.2	Verificatie met Delft3D	<u>61</u>
4.3.3	Vergelijkende en samenvattende conclusie	<u>62</u>
4.4	Locatie Appelzak	<u>62</u>
4.4.1	Basisberekening met Finel2D	<u>62</u>
4.4.2	Verificatie met Delft3D	<u>64</u>
4.4.3	Vergelijkende en samenvattende conclusie	<u>64</u>
5	Discussie en conclusie met betrekking tot het voorontwerp van de buitendijkse maatregelen	<u>67</u>
5.1	Algemeen	<u>67</u>
5.2	Platen van Ossenis	<u>68</u>
5.3	Slikken van Hulst	<u>70</u>
5.4	Appelzak	<u>72</u>
5.5	Algemene conclusies en aanbevelingen voor natuurbeheer en natuurbeleid in de Westerschelde en Saeftinghe	<u>73</u>
5.5.1	Conclusies en aanbevelingen kennisontwikkeling en kennisleemtes	<u>74</u>
5.5.2	Overwegingen en aanbevelingen voor beheer en beleid	<u>76</u>
6	Referenties	<u>79</u>
Bijlage(n)		
A	Modelonderzoek Svašek Hydraulics	<u>A-1</u>
B	Modelonderzoek Arcadis	<u>B-1</u>
C	Rapport stroomsnelheid, ecotopen en dynamiek (Arcadis)	<u>C-1</u>
D	Data-overzicht Macrobenthos en Ecotopenkaarten	<u>D-1</u>
D.1	Macrobenthos	<u>D-1</u>
D.2	Vogels	<u>D-2</u>

1 Inleiding en vraagstelling

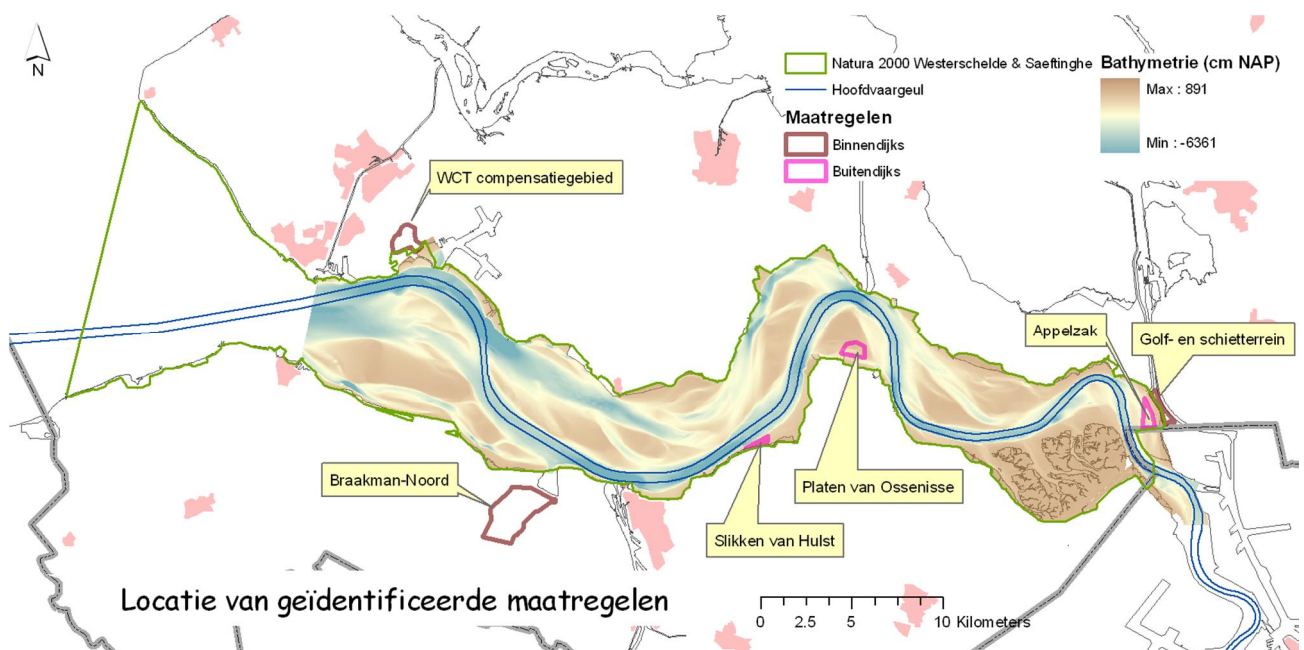
1.1 Aanleiding

Het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) heeft Deltares gevraagd een vervolgonderzoek uit te voeren naar de drie buitendijkse maatregelen die zijn geïdentificeerd in het rapport 'Natuurherstel in de Westerschelde: De mogelijkheden nader verkend' (Deltares, 2011).

De in Deltares (2011) uitgevoerde analyse van de ecotopenarealen sinds 1959 laat zien dat sinds 1977 vooral het areaal laagdynamisch intergetijdengebied in de Westerschelde is afgenomen. Het areaal schor en pionierbegroeiing is relatief onveranderd sinds 1977. Op basis hiervan is in Deltares (2011) geconcludeerd dat de natuurherstelopgave voor laagdynamisch intergetijdengebied urgenter is dan voor schor en pionierbegroeiing.

In het genoemde rapport identificeert Deltares vervolgens drie buitendijkse locaties die naar verwachting netto 40 tot 100 ha laagdynamisch intergetijdengebied kunnen bijdragen aan de natuurherstelopgave. De locaties zijn de Appelzak, de Platen van Ossensisse en de Slikken van Hulst (Figuur 1.1). De bruto realisatie is groter dan netto wordt meegerekend aan natuurherstel, omdat wordt verdisconteerd dat met buitendijkse bijdrage aan de natuurherstelopgave het ene estuariene habitat wordt vervangen door een ander estuarien habitat.

Het Deltares rapport (2011) gaf aan dat vervolgonderzoek nodig is om de praktische realisatie te ontwerpen, de ingeschatte bandbreedte van areaal te realiseren laagdynamisch intergetijdengebied met meer zekerheid vast te stellen en de benoemde risico's te kwantificeren. Het voorliggende rapport beschrijft de resultaten van dit vervolgonderzoek.



Figuur 1.1 Locaties van geïdentificeerde binnendijkse en buitendijkse maatregelen (uit Deltares, 2011)

1.2 Doelstelling

De volgende onderwerpen worden behandeld:

- 1 Ontwerp de maatregel en beschrijf de wijze van aanleg en beheer die resulteert in areaal laagdynamisch intergetijdengebied
- 2 Stel de marge voor de ecologische opbrengst binnen realistische grenzen van de wetenschappelijke kennis en kunde zo goed mogelijk vast; en
- 3 Kwantificeer en beoordeel de (resterende) risico's/negatieve effecten zo goed mogelijk en stel indien nodig mitigerende maatregelen voor

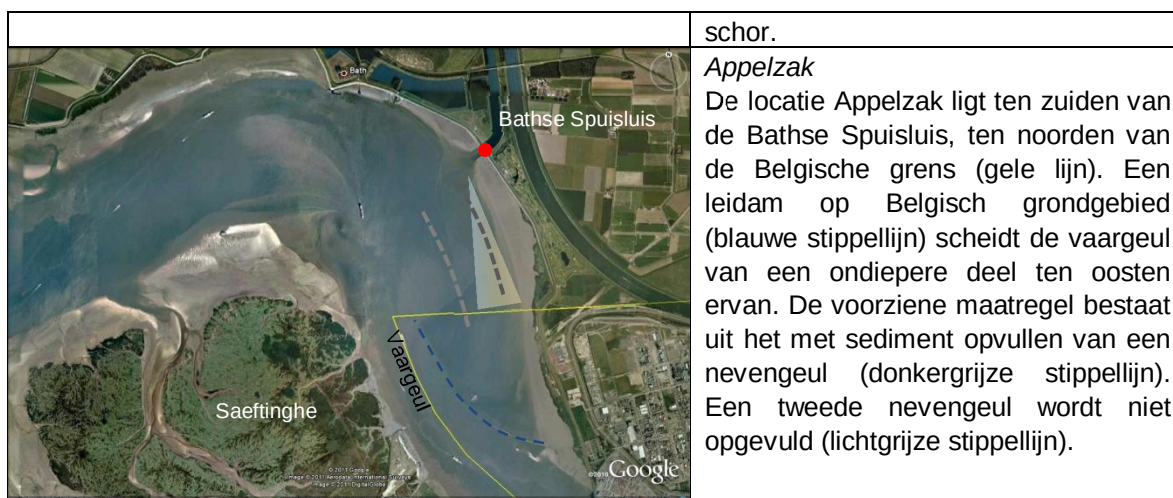
De onderwerpen worden voor de drie locaties afzonderlijk behandeld. Het resultaat is een voorontwerp van de uit te voeren werkzaamheden. Het voorontwerp is een schets, maar is nog geen bestektekening.

Het Ministerie van EL&I heeft tijdens het onderzoek besloten het voorontwerp voor de locatie Appelzak niet verder uit te werken. Voor de locatie Appelzak wordt daarom in dit rapport de stand van zaken tot het moment van stopzetting vastgelegd. Dit betekent dat de onderwerpen voor de locatie Appelzak niet volledig worden behandeld.

1.3 Introductie van locaties en maatregelen

De locaties en de beoogde maatregelen wordt hier geïntroduceerd om de leesbaarheid van het rapport te vergroten. De maatregelen worden pas in Hoofdstuk 4 uitgewerkt. Het is desalniettemin nuttig om de maatregelen al in gedachten te houden bij het lezen van de huidige toestand en de recent historische ontwikkeling en bij de modelopzet en -validatie.

	Platen van Ossensisse De Platen van Ossensisse is een plaat ten noordwesten van Perkpolder. De plaat wordt van Zeeuws-Vlaanderen gescheiden door de Schaar van Ossensisse geul. Vanaf de zuidoever steekt een lange strekdam uit in de Schaar (oranje). De beoogde maatregel betreft het inkorten van de dam, waardoor naar verwachting de ingesneden geul opvult en als intergetijdengebied aan de plaat wordt toegevoegd (rechthoek).
	Slikken van Hulst De Slikken van Hulst zijn een circa 5 km lang intergetijdengebied langs de hoofdvaargeul op de Zeeuwse-Vlaamse oever ten oosten van Terneuzen. De maatregel betreft het meest westelijke deel van circa 0,7 km dat op de ecotopenkaarten als (deels) hoogdynamisch wordt gekarakteriseerd. Voorzien wordt het aanbrengen van sediment om de stroomsnelheid te verlagen (driehoek). Ten oosten van de locatie ligt een klein



Figuur 1.2 Overzicht van locaties en beoogde maatregel. Boven: Platen van Ossensisse; Midden: Slikken van Hulst; Onder: Appelzak. Bron foto's: Google Earth.

1.4 Onderzoeksstrategie

Ten behoeve van dit vervolgonderzoek is het te realiseren doelecotoop gedefinieerd als *laagdynamisch intergetijdengebied*. De definitie van dit doelecotoop wordt ontleend aan het Zoute wateren Ecotopenstelsel (RIKZ, 2005). Dit stelsel is onderliggend aan de ecotopenkaarten en genereert een ruimtelijke classificatie op basis van zes abiotische indelingskenmerken. Niet alle kenmerken zijn van belang in dit onderzoek. Tabel 1.1 geeft het volledige stelsel weer. Figuur 1.3 geeft het vereenvoudigde, toegepaste deel van het stelsel weer.

Het voorontwerp van de maatregelen richt zich primair op twee abiotische kenmerken: 1) Diepte: dat wil zeggen is het intergetijdengebied?, en 2) Hydrodynamiek: dat wil zeggen is het laagdynamisch? Beide kenmerken van het intergetijdengebied zijn in principe met modellen te berekenen. Daarmee kan (het effect van) een maatregel kwantitatief onderbouwd worden. De mate van (on)zekerheid van de modelvoorspelling moet uiteraard meegewogen worden bij de (on)zekerheid van de kwantitatieve onderbouwing. De secundaire kenmerken 3) Overstromingsduur en 4) Sedimentsamenstelling worden in dit onderzoek niet met modellen voorspeld. Zij worden kwalitatief beoordeeld.

In aanvulling op de abiotische kenmerken wordt een doorvertaling naar ecologische kenmerken en ecologische waarde gedaan. Vooral op in en op de bodem levende dieren – benthos – wordt ingegaan. Dit bodemleven is afhankelijk van de lokale omstandigheden. Vissen en vogels kunnen andere locaties opzoeken en zijn minder locatiegebonden. Deze worden wel kort beschreven.

Natura2000

De Westerschelde & Saeftinghe zijn aangewezen als Natura2000 gebied en wel als Habitattypen H1130 Estuaria. Het profiëldocument van H1130 geeft onvoldoende concrete handvatten om de bijdrage aan natuurherstel van de maatregelen te kunnen beoordelen en te kwantificeren. Het Natura2000 kader wordt in dit vervolgonderzoek dan ook slechts zijdelings gebruikt.

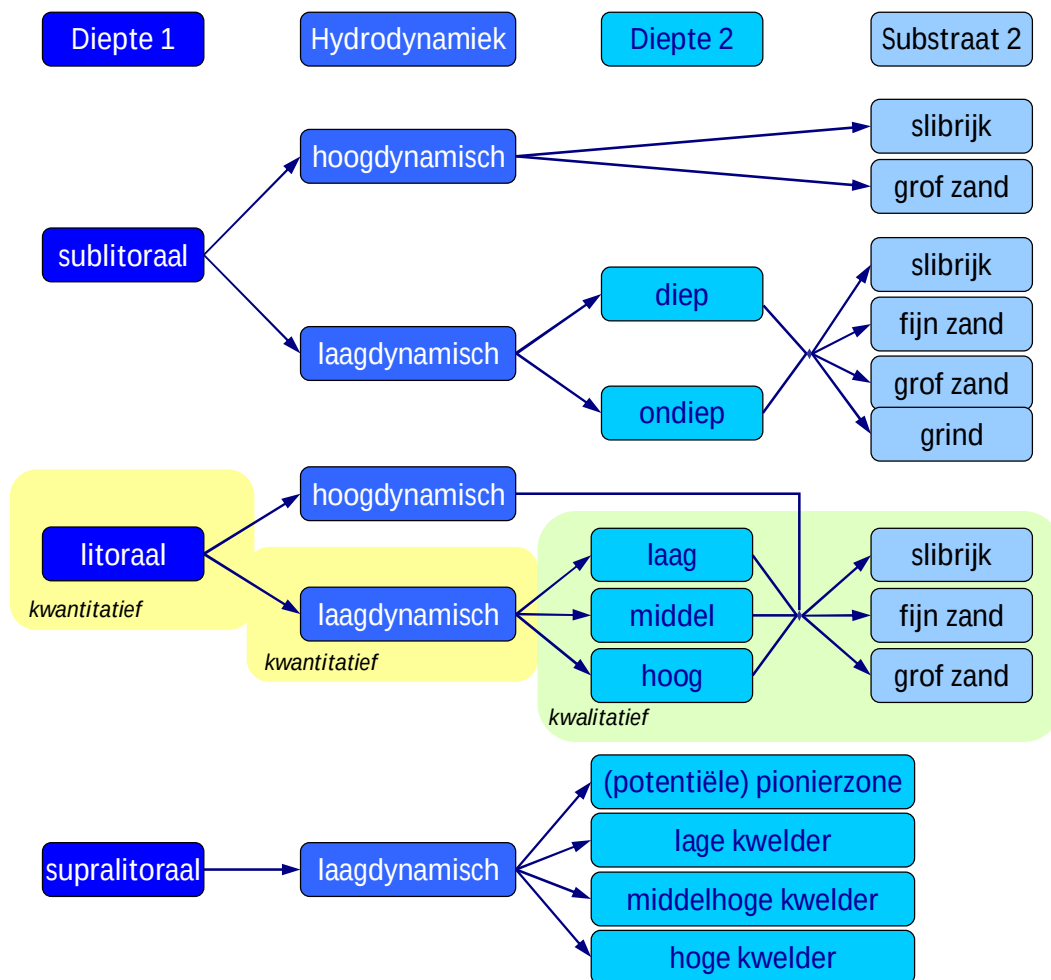
Tabel 1.1 Zoute wateren Ecoptopenstelsel (RIKZ, 2005). Onderdelen die voor de Westerschelde en Saeftinghe geen relevantie hebben zijn weggelaten.

Variabelen	Klassen	Klassegrenzen	Toepassing in dit onderzoek
1 Gemiddeld zoutgehalte en zoutvariatie	Weinig variabel brak Weinig variabel zout Variabel brak/zout	5,4-18 en variatie ≤100% >18 en variatie ≤100% >5 en variatie >100%	Deze variabele is niet van belang: De maatregelen hebben geen significant effect op het zoutgehalte en de zoutvariatie.
2 Substraat 1	Hard substraat Zacht substraat	Steen, hout, veen etc. Sediment	Deze variabele is niet van belang: De maatregelen hebben alle betrekking op zacht substraat. Het verwijderen van hard substraat bij de Platen van Ossensisse wordt kwalitatief besproken
3 Diepte 1	sublitoraal litoraal supralitoraal	< GLWS [#] (permanent onder water) GLWS – GHWD [#] (elk tij overspoeld) > GHWD (niet elk tij overspoeld)	Deze variabele is van belang. Historische afleiding op basis van metingen. Het effect van maatregelen kan worden afgeleid met modellen.
4 Hydrodynamiek Lineaire stroomsnelheid ^{##} (sublitoraal en litoraal)	hoogdynamisch (stroming) laagdynamisch (stroming) stagnant (geen stroming)	Klassegrenzen zijn afhankelijk van gebruikt model 0 m/s	Deze variabele is van belang. De stroomsnelheden worden met modellen voorspeld.
Orbitaalsnelheid ^{##} (litoraal + supralitoraal)	hoogdynamisch (golven) laagdynamisch (golven)	Klassegrenzen zijn afhankelijk van gebruikt model.	Deze variabele is mogelijk van belang. In dit onderzoek wordt deze variabele kwalitatief besproken.
geomorfologie ^{**} (litoraal)	hoogdynamisch laagdynamisch	megaribbels, hoogdynamisch vlak, veen/kleibank, ruggen laagdynamisch vlak, kwelder/schor	Deze variabele wordt bepaald op basis van luchtfoto's en is daarom niet bruikbaar om het effect van maatregelen te voorspellen. Hij wordt niet in het onderzoek gebruikt.
5 Diepte 2 (diepte, overspoeling) sublitoraal (diepe)	diep, ongestratificeerd ondiep	> 5 m - GLWS 5 m- GLWS - tot GLWS	Deze variabele is van belang . wordt samengenomen met Diepte 1.
litoraal (overspoelingsduur)	laag litoraal (lang) middelhoog litoraal (midden) hoog litoraal (kort)	GLWS - 75 % 75 - 25 % 25 % - GHWD	Deze variabele is van belang. De variabele zal kwalitatief besproken worden.
supralitoraal (overspoelingsfrequentie of vegetatiezones)	(potentiële) pionierzone lage kwelder/schor middelhoge kwelder/schor hoge kwelder/schor	GHWD tot > 300 keer per jaar 300 - 150 keer per jaar 150 - 50 keer per jaar 50 - 5 keer per jaar	Deze variabele is niet van belang. Het doelhabitat is litoraal.
6 Substraat 2 (sedimentsamenstelling) mediane korrelgrootte	Slibrijk fijn zand grof zand grind	Mediaan (µm) - ≤250 250 - 2000 >2000	%slib (< 63 µm) ≥25%* < 25% < 25% < 25% * Noordzee 10%

[#] GLWS = gemiddeld laag water springtij; GHWD = gemiddeld hoog water doortij.

^{##} Lineaire stroomsnelheid = de maximale lineaire stroomsnelheid tijdens springtij ongeacht eb of vloed bij gemiddelde stormomstandigheden (frequentie 1 x per jaar); Orbitaalsnelheid = de maximale orbitaalsnelheid bij gemiddeld springtij en stormomstandigheden (frequentie 1 x per jaar)

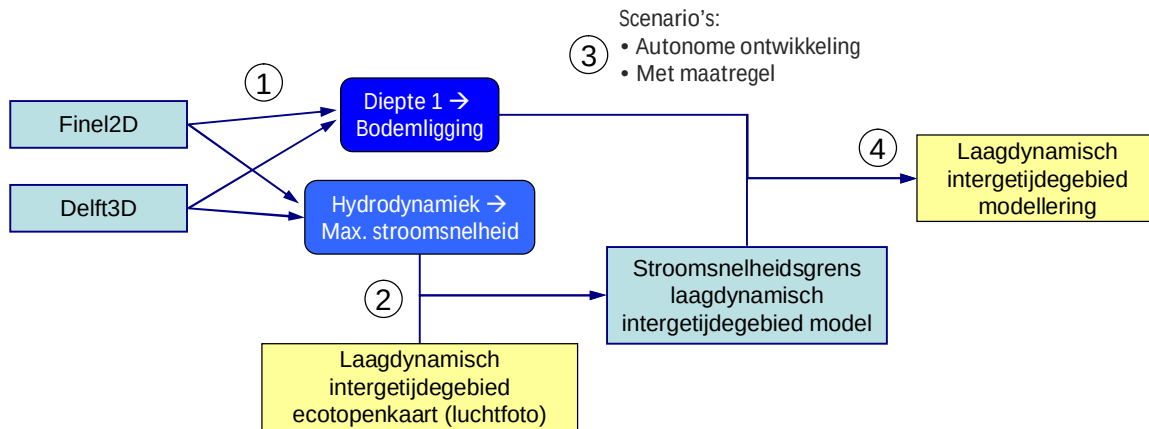
^{**} Geomorfologie: deze variabele kan worden gebruikt als alternatief voor lineaire stroomsnelheid en orbitaalsnelheid in de droogvallende delen.



Figuur 1.3 Vereenvoudigd Ecotopenstelsel toegepast binnen dit onderzoek. Met geel is het doelhabitat 'laagdynamisch intergetijdengebied' aangegeven. Deze kenmerken worden kwantitatief voorspeld voor de drie locaties. In groen is een verdere uitsplitsing van het doelhabitat aangegeven. Deze kenmerken worden kwalitatief beschreven.

Om de effectiviteit van maatregelen te kunnen beoordelen, moet voorspeld worden hoe de maatregel zich na aanleg zal ontwikkelen. Voorspellingen met een model zijn dus nodig. Om vertrouwen te krijgen in de modelvoorspelling wordt een modelvalidatie door middel van een zogenaamde hindcast gedaan. Dat houdt in dat het heden voorspeld wordt door vanaf een moment in het verleden de modelberekening uit te voeren. Het jaar 2010 is gekozen als 'heden' omdat dat het meest recente jaar is waarvoor een voldoende consistente set gegevens beschikbaar is.

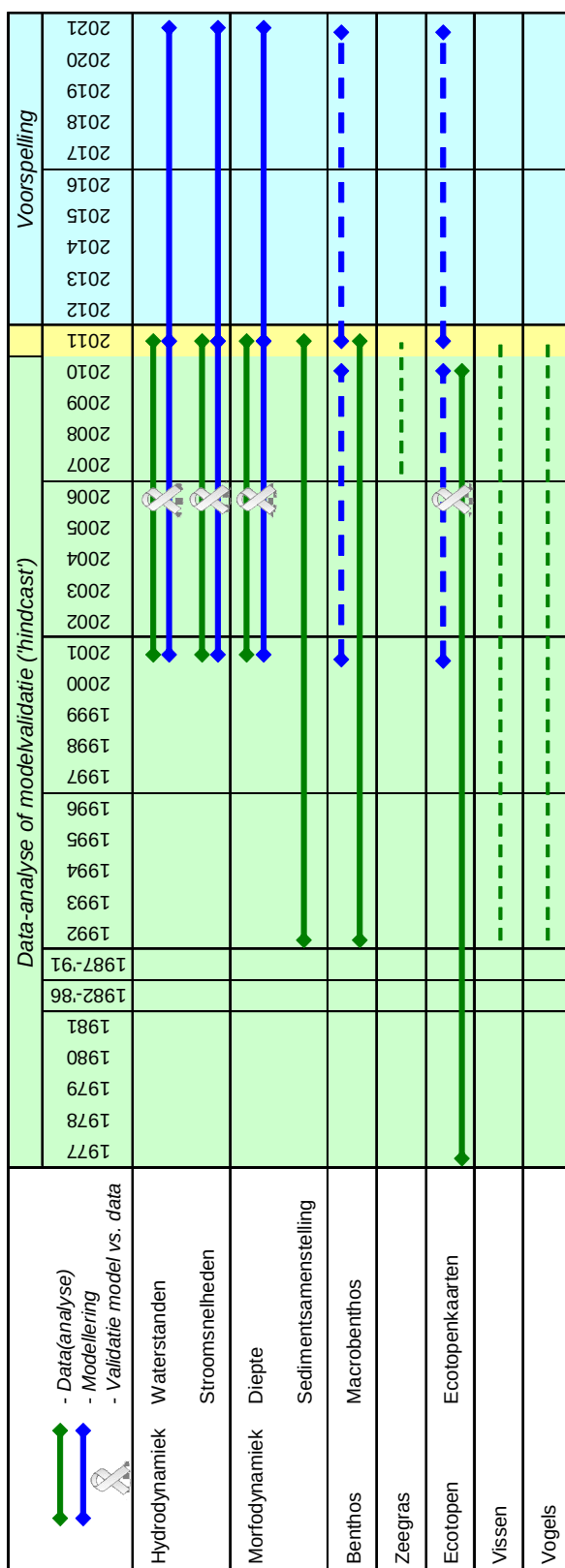
Een goede overeenkomst tussen modeluitkomst en metingen geeft vertrouwen dat het model gebruikt kan worden voor voorspellingen. Bij een minder goede overeenkomst wordt in de validatie geconcludeerd in hoeverre de modeluitkomst wel gebruikt kan worden en vanaf waar een expert judgement nodig zal zijn. Interpretatie van modeluitkomsten vraagt overigens altijd in meer of mindere mate expert judgement.



Figuur 1.4 Schematisch overzicht van stappen 1-4 die leiden tot bepaling van het verwachte toekomstige areaal laagdynamisch intergetijdengebied

Figuur 1.5 illustreert de verschillende stappen in het onderzoek, waarin de combinatie van meetgegevens en modellen resulteren in een voorontwerp. Achtereenvolgens zijn de volgende stappen gezet:

- 1 Verzamelen en analyseren van hydrologische, morfologische en ecologische gegevens gericht op het beschrijven en begrijpen van de lokale omstandigheden en ontwikkelingen op de drie locaties.
- 2 Opzetten en valideren van hydro-morfologisch model.
- 3 Valideren van ecotopenkaarten (diepte en hydrodynamiek uit het ZES.1 Ecotopenstelsel)
- 4 Berekenen van hydro-morfologische ontwikkeling van de maatregel.
- 5 Analyseren en kwantificeren van de realisatie van het doelhabitat laagdynamisch intergetijdengebied en van potentiële risico's.
- 6 Bediscussiëren en aangeven van (on)zekerheden voor de voorgestelde maatregel, inclusief kostenindicatie.

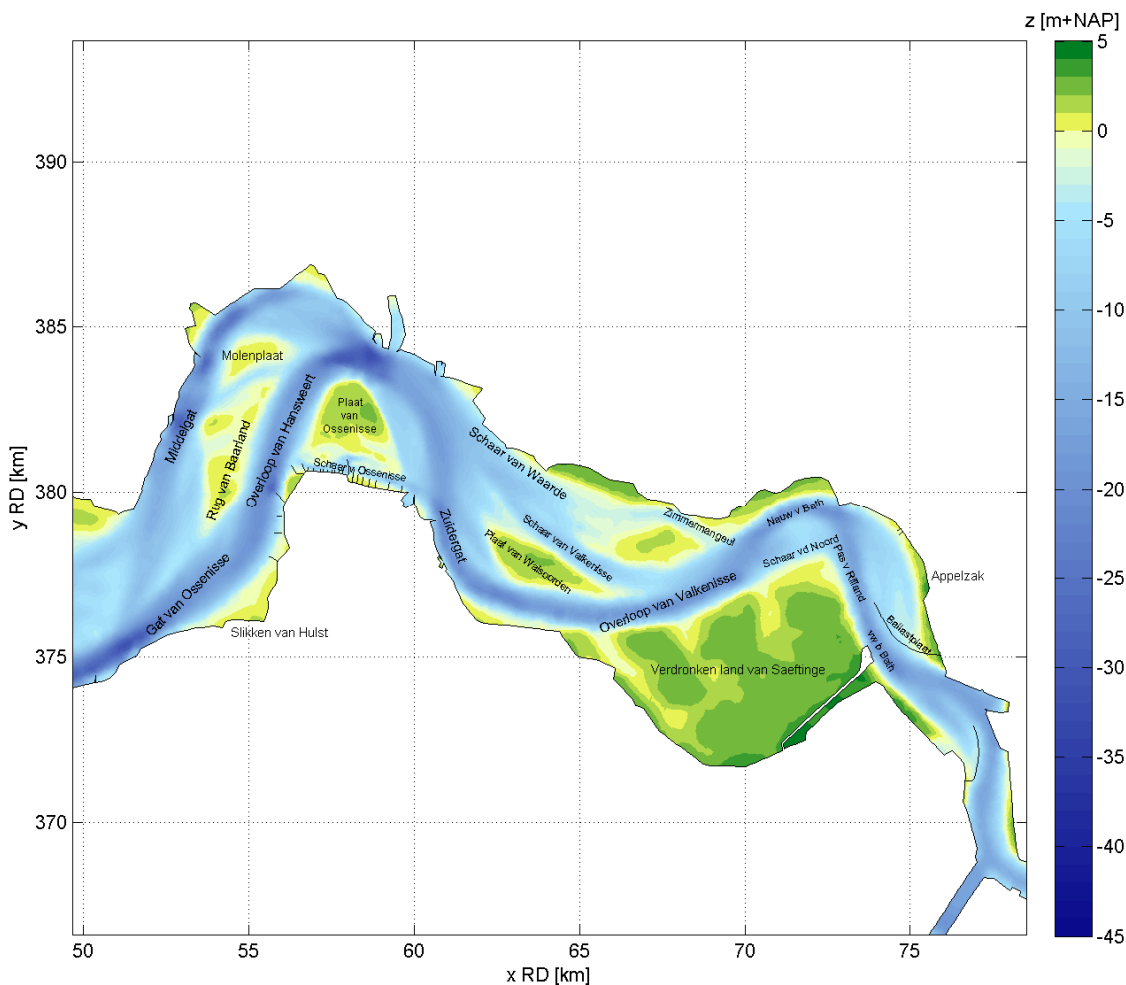


Figuur 1.5 Schematisch overzicht van data-analyse en modellering. Groene lijnen geven de periode aan waarvoor data-analyse is uitgevoerd; Blauwe lijnen idem voor modellering. Met de gestippelde blauwe lijnen wordt aangegeven dat sprake is van een conceptuele, empirische modelvergelijking in plaats van een numeriek computermodel.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport volgt de stappen zoals hierboven beschreven. Na dit inleidende hoofdstuk beschrijft hoofdstuk 2 de verzamelde gegevens en vat hoofdstuk 3 de opzet en validatie van de hydro-morfologische modellen samen. Tevens wordt gevalideerd hoe de modelresultaten vertaald kunnen worden naar ecologische opbrengst. Hoofdstuk 4 beschrijft de voorgestelde maatregelen en de bijdrage aan de natuurherstelopgave. Hoofdstuk 5 sluit af met een concluderende samenvatting en aanbevelingen. Een extra paragraaf is toegevoegd om de opgedane kennis en geïdentificeerde kennisvragen vast te leggen en beschikbaar te maken voor (lopend) wetenschappelijk en toegepast onderzoek en voor beheer en beleid van het Natura2000 gebied Westerschelde en Saeftinghe.

Dit is een semi-technisch rapport. Het rapport is geschreven voor niet-inhoudelijke deskundigen, maar achtergrondkennis van hydro-morfologische en ecologische processen en kennis van het gebied is onontbeerlijk. Het concluderende en samenvattende hoofdstuk 5 heeft een bredere doelgroep van lezers op het oog. Technische en vakinhoudelijke terminologie is daarin zoveel mogelijk vermeden.



Figuur 1.6 Naamgeving van relevante locaties in de Westerschelde (uit Klein en Kroon, 2012)

1.6 Projectorganisatie en projectteam

Dit vervolgonderzoek is door Deltares uitgevoerd in samenwerking met de ingenieursbureaus Arcadis en Svašek Hydraulics. Met (o.a.) Arcadis en Svašek wordt momenteel het door het Ministerie van I&M gefinancierde LangeTermijnVisie (LTV) Westerschelde onderzoeksprogramma uitgevoerd. Deze samenwerking werd in dit vervolgonderzoek ingezet en voortgezet, opdat de resultaten van dat lopende LTV onderzoek maximaal en optimaal worden ingezet. Door deze partijen te betrekken wordt optimaal gebruik gemaakt van de beschikbare kennis en het beschikbare (model)instrumentarium. De resultaten van het vervolgonderzoek dragen op hun beurt weer bij aan de kennisontwikkeling van het LTV kader.

Aan dit vervolgonderzoek hebben meegewerkt, in aflopende alfabetische volgorde:

- Deltares: Jebbe van der Werf, Zheng Bing Wang, Marcel Taal, José Reinders, Arno Nolte, Myra van der Meulen, Gerrit Hendriksen en Luca van Duren.
- Arcadis: Roelant Snoek, Ivo Pasmans, Jelmer Kleveringa, Belinda Kater, Remment ter Hofstede en Bart Grasmeijer.
- Svašek Hydraulics: Anna Kroon, Mark Klein en Bram Blik.

2 Beschrijving huidige situatie en recent historische ontwikkeling

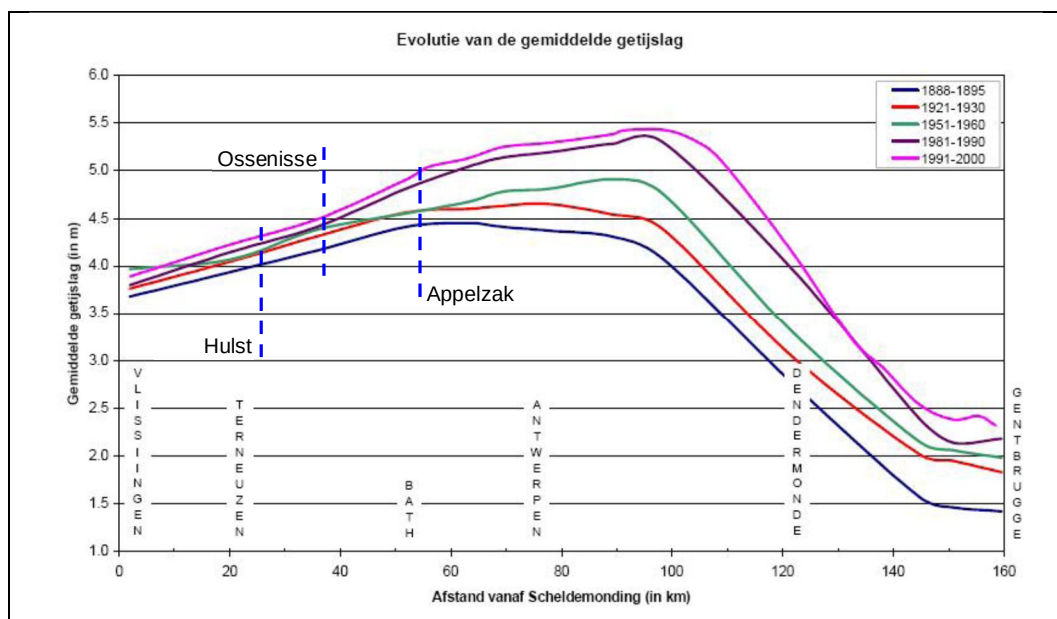
2.1 Inleiding en aanpak

In dit hoofdstuk worden de natuurlijke omstandigheden van de drie locaties beschreven. Door de ontwikkeling van de afgelopen 10 tot 20 jaar te beschouwen wordt inzicht verkregen in de processen die de lokale ontwikkeling sturen. Door een maatregel aan te sluiten bij de natuurlijke ontwikkeling is de kans op succes immers groter.

Omdat een dergelijke beschouwing op lokale schaal relatief zeldzaam is – beschouwingen worden vaker gedaan op deelniveau van de Westerschelde zoals de indeling monding-centraal-brak in de langetermijnvisie of op macrocelniveau voor morfologisch onderzoek – heeft dit hoofdstuk ook tot doel om aan te geven welke informatie lokaal beschikbaar is en in hoeverre de informatie bruikbaar is voor lokale maatregelen.

2.2 Waterstanden, stroomsnelheden en zoutgehalte

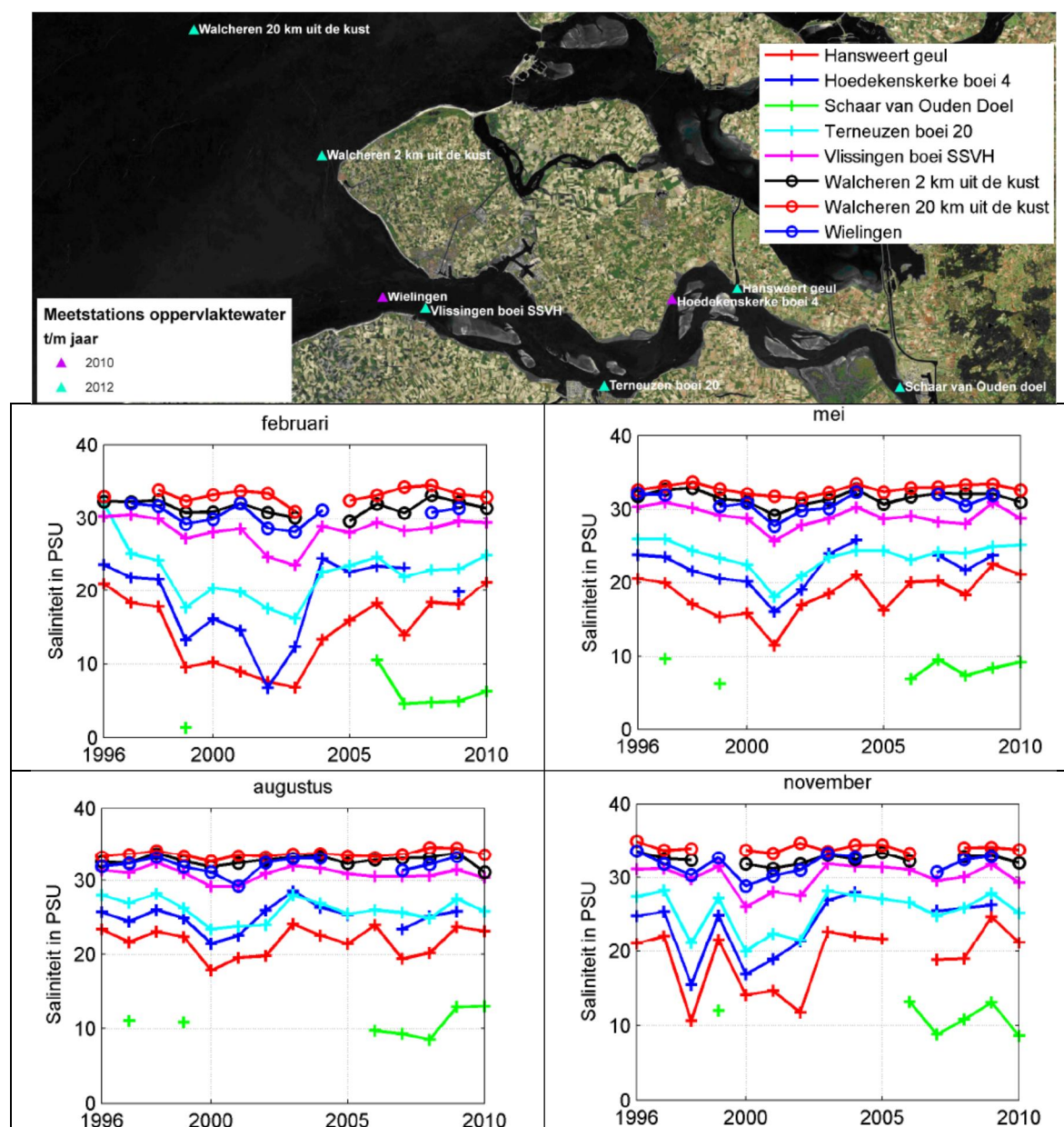
Het verschil tussen hoogwater en laagwater in de Westerschelde neemt toe vanaf de eerste bekende meting in 1862 (Figuur 2.1). Bij locatie Appelzak is deze getijslag sindsdien ongeveer 50 cm toegenomen en bedraagt nu circa 5,0 m. De locaties Platen van Ossenis en Slikken van Hulst liggen dicht bij de monding en hebben een kleinere getijslag van respectievelijk circa 4,5 m en 4,3 m. De toename van Vlissingen tot aan ruwweg Ossenis wordt vooral toegeschreven aan veranderend getij op de Noordzee dat doorwerkt in de Westerschelde, omdat over het hele traject een relatief uniforme toename van circa 30 cm zichtbaar is (LTV, 2011). Ten oosten van Ossenis tot aan ruwweg km 100 wordt een steeds groter wordende toename geconstateerd. Deze extra toename wordt toegeschreven aan veranderingen in het Schelde-estuarium, te weten verdiepingen, rechtekkingen (afsnijden van bochten) en inpolderingen (LTV, 2011; INBO, ...).



Figuur 2.1 Ontwikkeling getijslag over 120 jaar tot 2000 (Jeuken et al., 2007, op basis van data van Claessens en Meyvis, 1994, en gegevens van E. Taverniers voor de periode 1991-2000).

Waterstanden en stroomsnelheden worden per locatie beschreven als onderdeel van de validatie van het hydrodynamisch model in Bijlagen A en B.

Voor de bepaling van de fysisch-chemische parameters in het oppervlaktewater vinden in het kader van MWTL (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands) een of twee keer per maand vaartochten plaats. De vaartochten worden op eenzelfde tijdstip ten opzichte van hoogwater uitgevoerd. Figuur 2.2 toont de maandgemiddelde saliniteit (= zoutgehalte). De locatie 'Schaar van Ouden Doel' ligt op de Belgisch-Nederlandse grens en komt ongeveer overeen met de locatie Appelzak. Als meest stroomopwaarts gelegen MWTL locatie is het zoutgehalte het laagst, variërend van 5 tot 13 psu. De locatie 'Hansweert geul', die het meest representatief is voor de locatie Platen van Ossensisse, laat een variatie van 8 tot 25 psu zien. Bij de Slikken van Hulst is geen meetpunt dicht in de buurt, maar uit de figuur valt te interpoleren dat het zoutgehalte varieert tussen circa 10 en 27 psu.



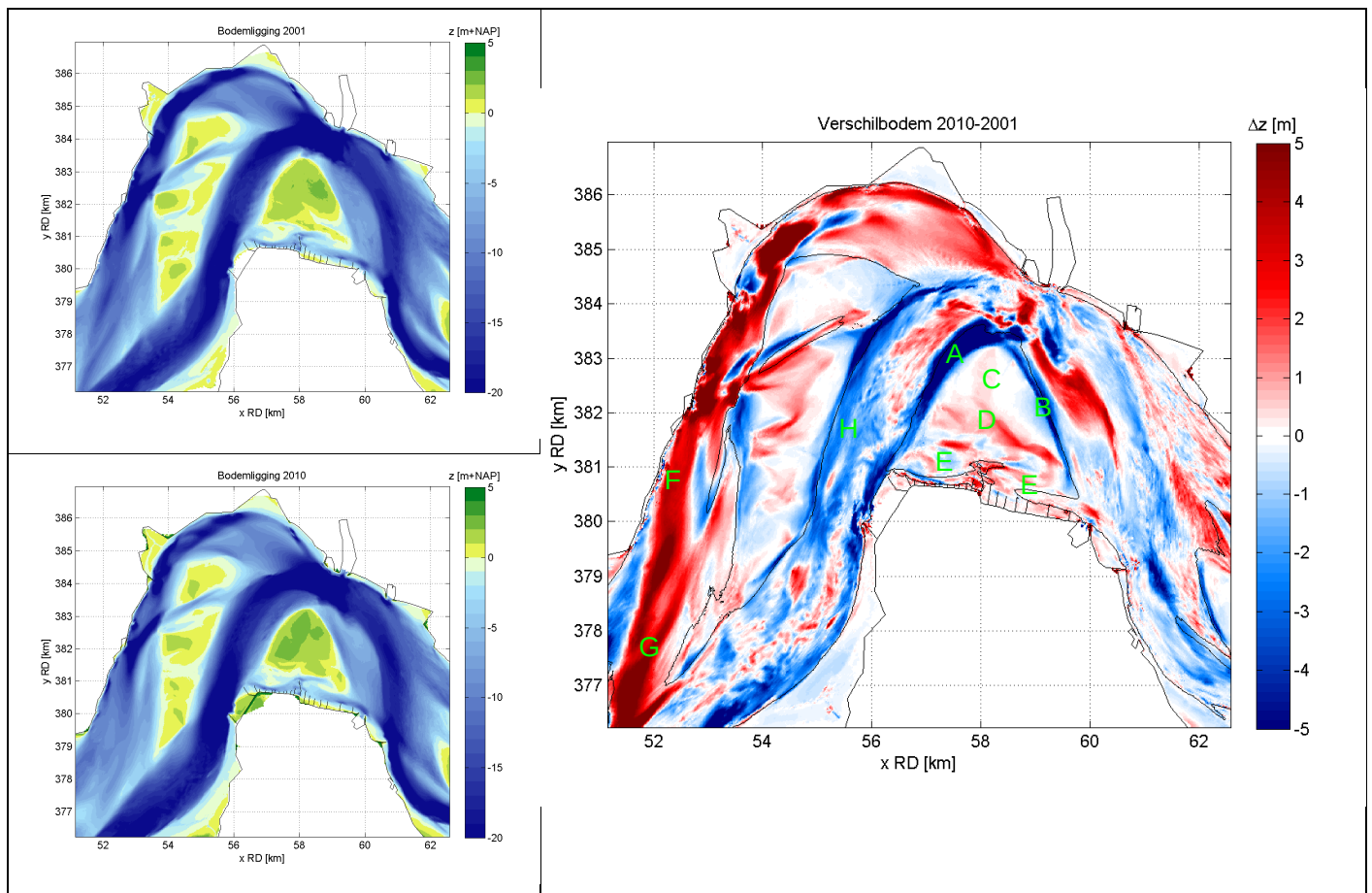
Figuur 2.2 Maandgemiddelde saliniteit (in psu) van 1996 tot 2010 op MWTL meetstations (uit Deltares, 2010)

2.3 Morfologie / Bathymetrie

2.3.1 Platen van Ossenisse¹

In Figuur 2.3 is de gemeten bodemligging in de jaren 2001 en 2010 weergegeven. Tevens is de bodemontwikkeling weergegeven door middel van verschilkaarten tussen deze jaren. Een positief verschil en een rode kleur betekenen dat de bodem in 2010 hoger ligt dan in 2001: er is sprake van natuurlijke aanzanding en/of van baggerstort. Bij een negatief verschil en een blauwe kleur is sprake van natuurlijke erosie en/of van zandwinning.

De morfologische ontwikkeling van de Platen van Ossenisse kenmerkt zich door substantiële erosie en zandwinning van de noordwestelijke rand van de plaat (A) en een wat mindere mate van erosie van de oostelijke rand van de plaat (B). Het centrale deel van de plaat is onveranderd of is beperkt verhoogd (C). Het zuidelijk deel van de plaat is tussen 2001 en 2010 minimaal 1 meter hoger geworden (D). De Schaar van Ossenisse – de geul ten zuiden van de plaat – en het deel van de plaat dat direct grenst aan de geul laten een wisselend patroon van aanzanding en erosie zien (E). Aanzanding overheerst. De verschillen in de geul beperken zich over het algemeen tot minder dan 1 m tussen 2001 en 2010.



Figuur 2.3 Gemeten bodemligging Platen van Ossenisse in de jaren 2001 en 2010 en verschil in gemeten bodemligging tussen de jaren 2010-2001

1. Zie ook paragraaf 4.3.1 in Klein en Kroon (2012), Bijlage A

De meest dominante grootschalige ontwikkeling rond de Platen van Ossensisse is de structurele aanzanding van het Middelgat (F) en de Pas van Baarland (G) en de structurele verdieping van de Overloop van Hansweert (H). Ten opzichte van 2001 gaat in 2010 een groter deel van het getijdebiet door de Overloop van Hansweert: Het debiet 'zoekt ruimte' en vindt dit door de geul te verdiepen en ook te verbreden ten koste van (o.a.) de Platen van Ossensisse. Zandwinning in het gebied heeft echter eveneens bijgedragen. De grotere getijenergie in de Overloop van Hansweert zorgt ervoor dat zand hoger op de Platen van Ossensisse wordt afgezet: De helling van het intergetijdengebied wordt steiler.

Het effect van deze grootschalige ontwikkeling op de Schaar van Ossensisse is niet eenduidig uit de morfologische ontwikkeling af te leiden. Het lijkt waarschijnlijk dat de gedeeltelijke verplaatsing van het debiet van het Middelgat naar de Overloop ook resulteert in een groter debiet door de Schaar van Ossensisse. Een overwegend eroderende trend zou dan zichtbaar moeten zijn, maar dit is niet het geval. Vermoedelijk worden de morfologische ontwikkelingen in de Schaar van Ossensisse voor een groot deel bepaald door de lange strekdam die halverwege in de geul uitsteekt, want rondom de strekdam zijn de grootste veranderingen zichtbaar. Een voorzichtige conclusie is dat de strekdam een dominante, fixerende functie heeft op de hydro-morfologie van de Schaar van Ossensisse.

2.3.2 Slikken van Hulst²

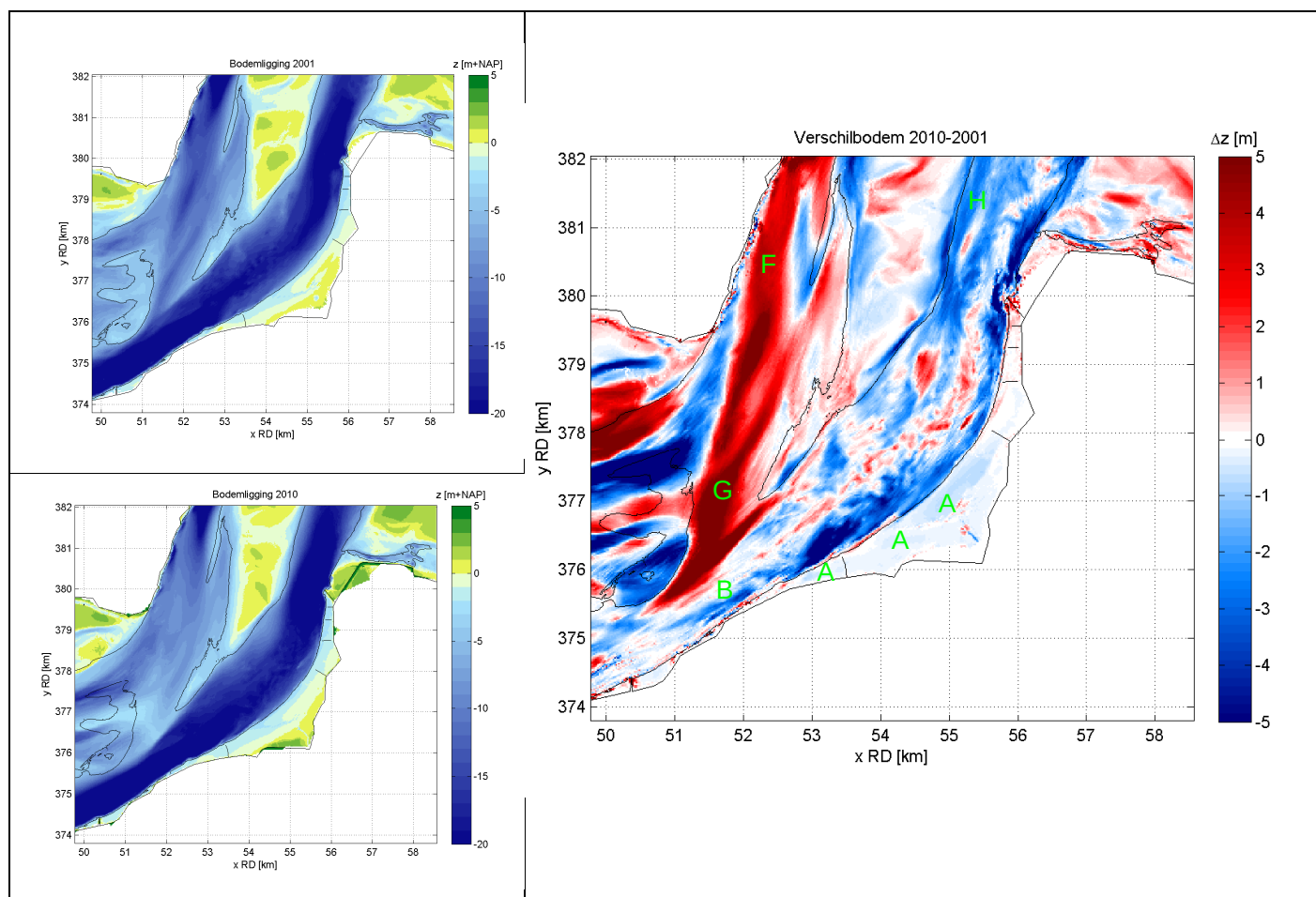
In Figuur 2.4 is de gemeten bodemligging in de jaren 2001 en 2010 weergegeven. Ook is de verschilkaart gegeven tussen deze jaren. Een positief verschil en een rode kleur betekenen dat de bodem in 2010 hoger ligt dan in 2001: er is sprake van natuurlijke aanzanding en/of van baggerstort. Bij een negatief verschil en een blauwe kleur is sprake van natuurlijke erosie en/of van zandwinning.

De morfologische ontwikkelingen rond de Slikken van Hulst worden (net als in de Platen van Ossensisse) gedomineerd door de grootschalige ontwikkelingen. Er vindt structurele aanzanding van het Middelgat (F) en de Pas van Baarland (G) plaats en in de Overloop van Hansweert (H) vindt juist structurele verdieping plaats. Er is een stortvak aanwezig langs de vooroever van het Slik van Hulst, waar regelmatig baggerspecie wordt gestort.

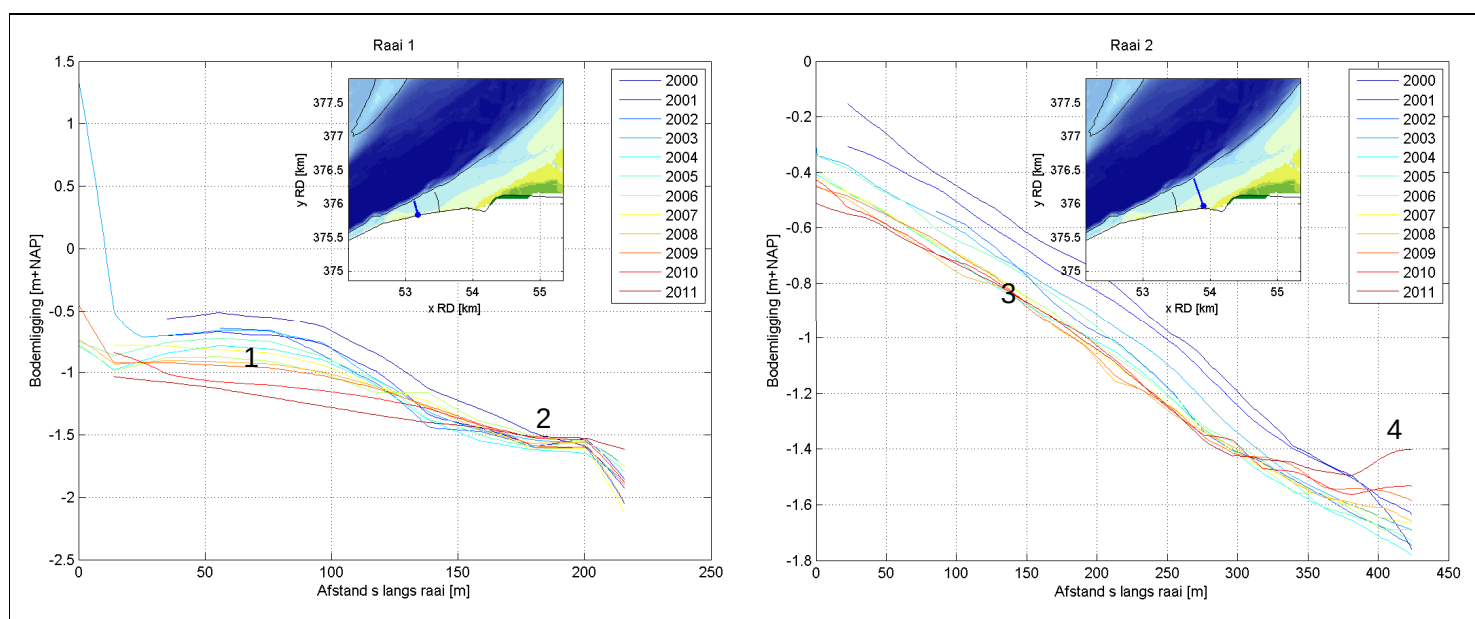
De bodemontwikkelingen op de Slikken van Hulst zijn relatief beperkt. De verschilkaart in Figuur 2.4 laat een lichte erosie zien van circa 0,2 tot 0,6 m in 10 jaar over vrijwel het hele slikkengebied (A). Op basis van de bodemontwikkeling in twee dwarsraaien (Figuur 2.5) kan geconcludeerd worden dat er in de westelijke raai, die op de locatie van de voorziene maatregel voor natuurherstel ligt, een continue erosie van enkele cm's per jaar optreedt in het intergetijdengebied dat grenst aan de dijk (1). In de oostelijke raai is in dat deel na 2006 geen verdere erosie opgetreden (3). In het gedeelte dat aan de geul grenst, is het bodemprofiel stabiel. De westelijke raai laat nauwelijks verandering zien tussen 2000 en 2011 (2). De oostelijke raai laat zelfs tot 20 cm aanzanding zien in de recente jaren (4). Een geulwandbestorting beschermt de Slikken van Hulst tegen het verder uitschuren van de geul. De geulwandbestorting lijkt het bodemprofiel op zijn plaats te houden op het punt waar het slik overgaat in de vaargeul (2).

Een verklaring voor de eroderende trend is niet zonder nader onderzoek te geven. De verondieping van de Pas van Baarland resulteert mogelijk in een toename van de getijenergie in het Gat van Ossensisse (B), onder invloed waarvan de Slikken van Hulst mogelijk aan lichte erosie onderhevig zijn.

2. Zie ook paragraaf 4.4.1 in Klein en Kroon (2012), Bijlage A



Figuur 2.4 Gemeten bodemligging Slikken van Hulst in de jaren 2001 en 2010 en verschil in gemeten bodemligging tussen de jaren 2010-2001

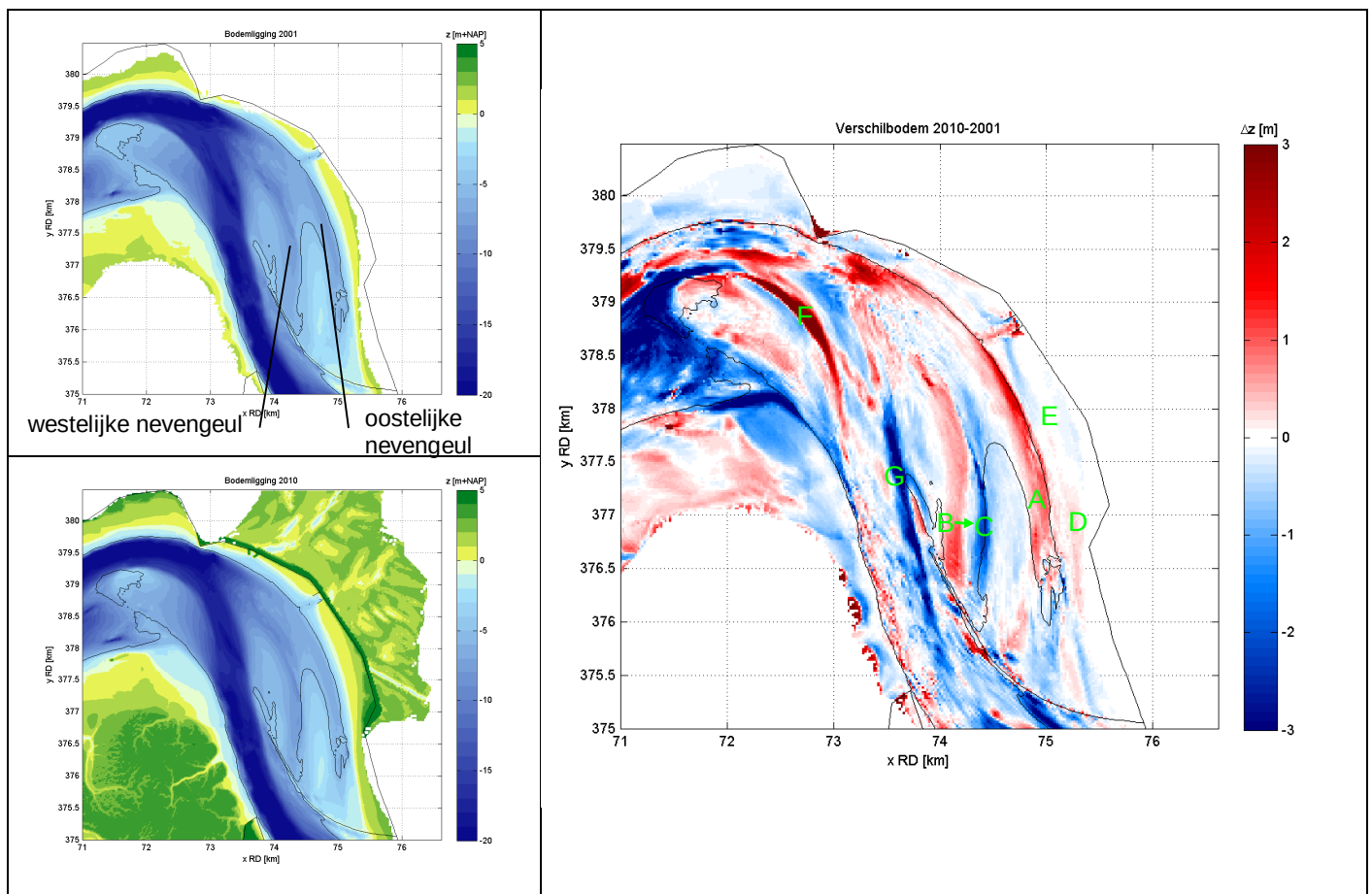


Figuur 2.5 Bodemontwikkeling Slikken van Hulst in twee dwarsraaien. Startpunt van de raai (s=0) is aangegeven met de blauwe punt in de inzet. NB: Schaal x-as en y-as zijn niet gelijk voor de twee raaien.

2.3.3 Appelzak³

In Figuur 2.6 is de gemeten bodemligging in de jaren 2001 en 2010 weergegeven. In Figuur 2.6 is ook de verschilkaart tussen deze jaren gegeven. Een positief verschil en een rode kleur betekenen dat de bodem in 2010 hoger ligt dan in 2001: er is sprake van natuurlijke aanzanding en/of menselijke baggerstort. Bij een negatief verschil en een blauwe kleur is sprake van natuurlijke erosie en/of menselijke zandwinning.

De morfologische ontwikkeling van Appelzak wordt gekenmerkt door de geulmigratie van de westelijke nevengeul in oostelijke richting (B→C) en een lichte verondieping van de oostelijke nevengeul (A). Het slik is relatief stabiel met lichte verhoging in het zuidelijk deel (D) en lichte erosie in het noordelijk deel (E). Voor de vaargeul valt een aanzanding van de noordoostpunt van het Verdrongen Land van Saefinghe op (F) en een erosie aan de oostkant van de vaargeul (G). Dit duidt op een lichte oostwaartse migratie van de vaargeul, consistent met de migratierichting van de nevengeulen. De leidam zorgt echter voor een vastlegging van de vaargeul en dus voor een beperking van de morfologische dynamiek.



Figuur 2.6 Gemeten bodemligging Appelzak in de jaren 2001 en 2010 en verschil in gemeten bodemligging tussen de jaren 2010-2001

3. Zie ook paragraaf 4.5.1 in Klein en Kroon (2012), Bijlage A

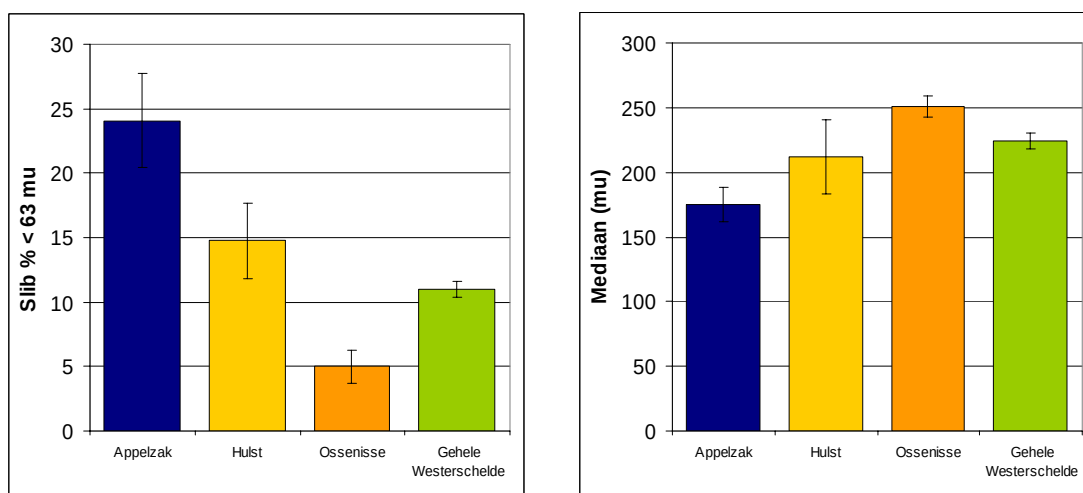
2.4 Sedimentsamenstelling

De BIOMON monitoring, die ieder voorjaar en ieder najaar door het NIOZ (voorheen NIOO-CEME) in de Westerschelde wordt uitgevoerd, verzamelt gegevens over macrobenthos (zie paragraaf 2.5) en sedimentsamenstelling.

Figuur 2.7 toont de slibfractie (<63 µm) en de mediane korrelgrootte voor de hele Westerschelde en voor de drie locaties. Alle metingen over de periode 1992-2010 zijn samengevoegd, omdat per locatie soms slechts enkele metingen per jaar beschikbaar zijn. Ook verschilt de locatie per jaar tussen diep, ondiep, intergetijdengebied en zelfs schor. Zonder nadere statistische uitwerking geeft een totaal overzicht naar verwachting toch een betrouwbare indicatie. Een verificatie (niet getoond in dit rapport) geeft een relatief beperkte variatie door de jaren heen aan.

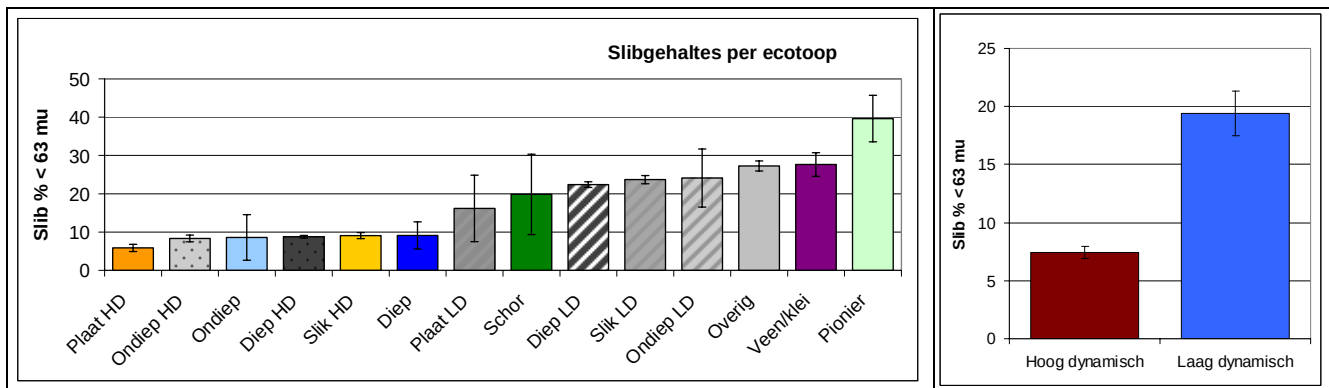
Appelzak heeft een relatief hoog slibpercentage in de bodem ten opzichte van de andere locaties en ten opzichte van de gehele Westerschelde. Appelzak ligt dicht bij het turbiditeitsmaximum waar veel slibdeeltjes in de waterkolom zitten. Bij een stroomsnelheid die laag genoeg is, resulteert dat in een hogere slibfractie in de bodem.

De locatie Platen van Ossenissee heeft een lagere slibfractie en hogere mediane korrelgrootte in de bodem dan de Westerschelde gemiddeld. De bodem bij de Platen van Ossenissee is relatief zandiger. In tegenstelling tot Appelzak en de Slikken van Hulst is de locatie Ossenissee een plaatgebied. Op platen hebben stroming en golven over het algemeen meer invloed, waardoor fijne slibdeeltjes minder snel sedimenteren.



Figuur 2.7 Slibfractie en mediane korrelgrootte in de BIOMON dataset

Voor elk monsterpunt is bepaald in welk ecotoop het lag op het moment van bemonsteren. Echter, niet van elk jaar dat bemonsterd is, is een ecotopenkaart voor handen. Om deze reden is gekozen om de monsters te plotten op de kaart die qua tijd het dichtst bij het tijdstip van bemonsteren lag. In Figuur 2.8 is een duidelijk verschil te zien in slibgehalte in de bodem tussen hoog- en laagdynamische gebieden.

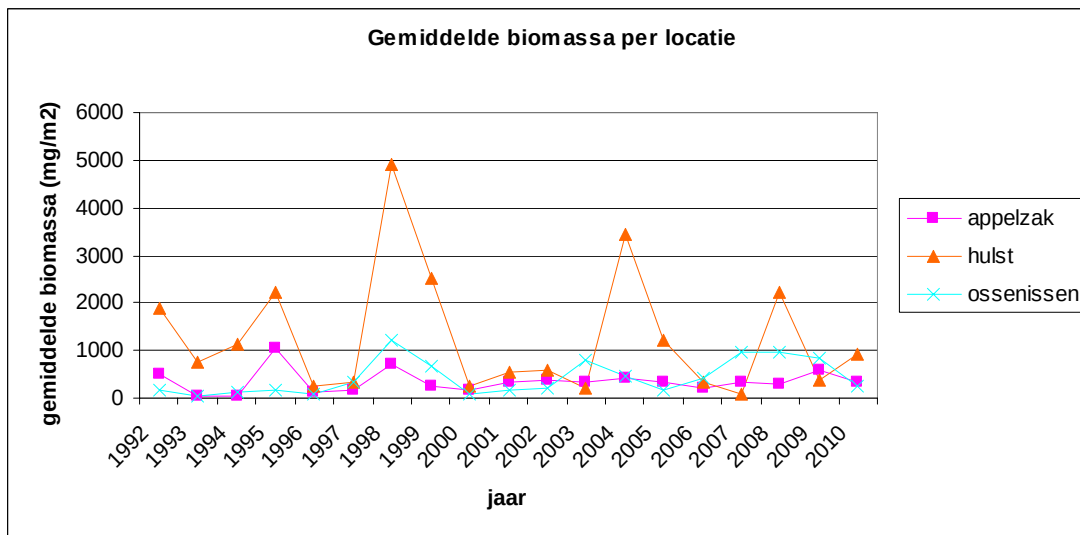


Figuur 2.8 Slibgehalten per ecotoop (links) en per hoog- en laagdynamisch (rechts) voor de hele Westerschelde

2.5 Macrobenothos

Soortenrijkdom en biomassa

Voor de drie locaties zijn benthosdata met behulp van GIS geëxtraheerd uit de BIOMON database voor 1992-2010. In totaal zijn 78 soorten benthos gevonden op de geselecteerde locaties Appenzak, Platen van Ossensisse en Slikken van Hulst. Op de Slikken van Hulst wordt over het algemeen de grootste diversiteit aan soorten waargenomen; hier komen op elk monsterpunt gemiddeld 6 soorten voor. Bij de Platen van Ossensisse en Appenzak worden respectievelijk 5 en 2,5 soort per monsterpunt gevonden. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat brakke omgevingen (zoals Appenzak) over het algemeen minder rijk zijn aan soorten dan locaties met een hoger zoutgehalte (zoals Slikken van Hulst).



Figuur 2.9 Gemiddelde biomassa (in mg AFDW/m²) per locatie

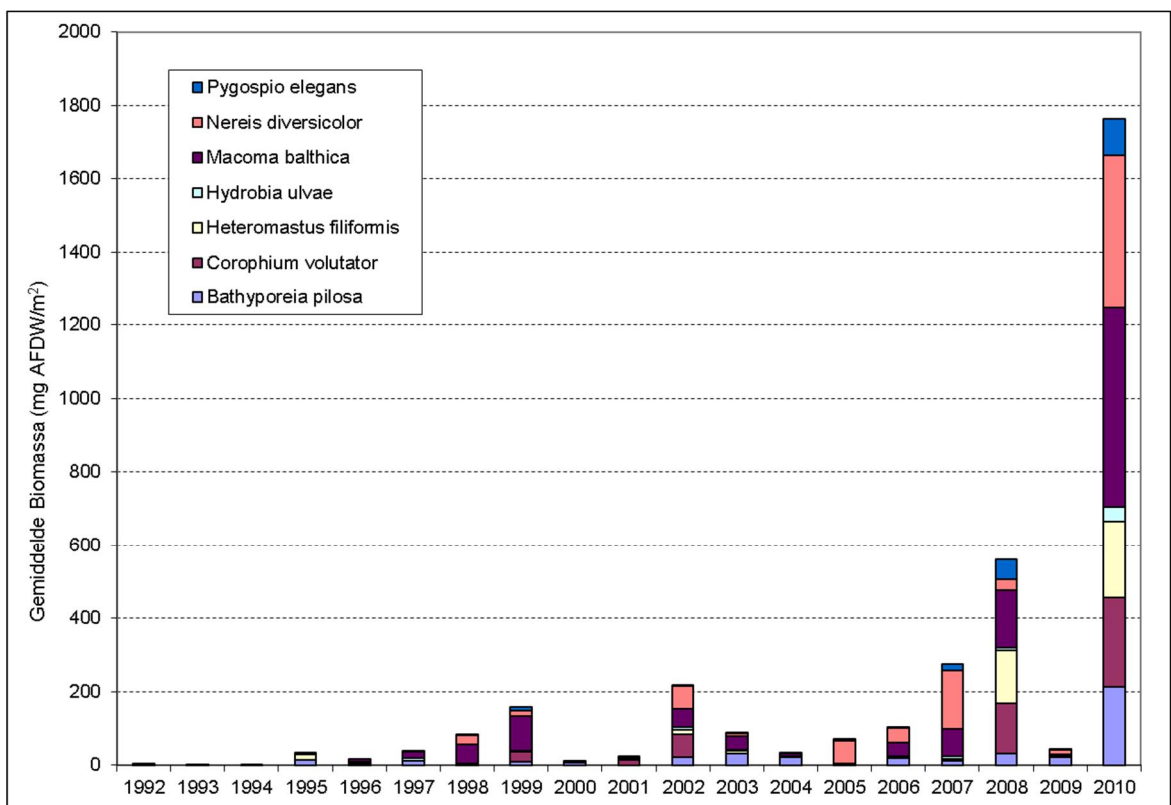
Uit Figuur 2.9 blijkt dat de gemiddelde biomassa door de jaren heen – zonder onderscheid te maken tussen voor- en najaarsbemonstering – variabel is en met name op de Slikken van Hulst hoge pieken vertoont. De patronen vertonen geen herkenbare op- of neerwaartse trend. De biomassa wordt uitgedrukt in asvrij drooggewicht (AFDW) per m².

De meest voorkomende soort is *Heteromastus filiformis* (draadworm), die in 65% van de 285 monsters gevonden wordt en lokaal in zeer hoge biomassa's voorkomt. Daarnaast worden *Pygospio elegans* (zandkokerworm) het vaakst gevonden, in ongeveer 30% van de monsters,

gevolgd door *Macoma balthica* (nonnetje) met 30%, *Bathyporeia pilosa* met 25%. In Bijlage D wordt wat dieper ingegaan op de ecologie van deze en een aantal andere kenmerkende soorten, gebaseerd op Ysebaert en Herman (2002).

2.5.1 Platen van Ossenisse

Op de Platen van Ossenisse zijn van 1992-2010 in totaal 67 punten bemonsterd. In deze monsters zijn 42 verschillende soorten gevonden. In [Figuur 2.10](#) wordt de biomassa (in mg/m²) weergegeven voor geselecteerde kenmerkende soorten. Er is te zien dat de biomassa met name wordt bepaald door *M. balthica* (nonnetje), *N. diversicolor* en in sommige jaren (2002, 2008 en 2010) ook door *C. volutator*. Daarnaast is *B. pilosa* een van de weinige kenmerkende soorten die vanaf 1994 bijna elk jaar gevonden wordt. Er lijkt sprake van een toename in biomassa door de jaren heen, waarbij in de jaren '90 de biomassa over het algemeen lager is dan in het decennium daarna. Voor de relatief grote piek in 2010 is geen verklaring voorhanden. Om iets te kunnen zeggen over de oorzaak van deze verschuiving is het nodig om de benthos te bekijken in relatie tot eventuele verschuivingen in de ecotopenkaarten.

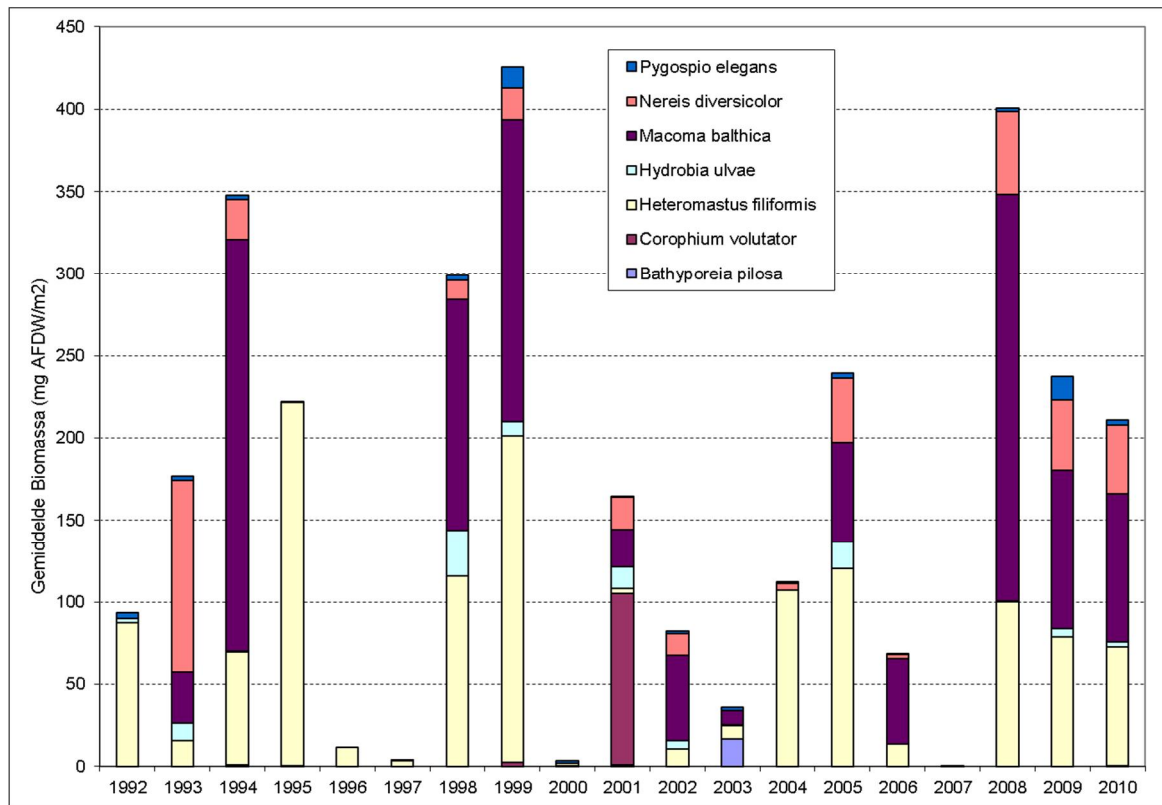


Figuur 2.10 Gemiddelde Biomassa kenmerkende macrobenthossoorten (mg AFDW/m²) op de Platen van Ossenisse

2.5.2 Slikken van Hulst

Op de Slikken van Hulst zijn van 1992-2010 in totaal 82 punten bemonsterd. In deze monsters zijn 65 verschillende soorten gevonden. In [Figuur 2.11](#) wordt de biomassa (in mg AFDW/m²) weergegeven voor geselecteerde kenmerkende soorten. Er is te zien dat de biomassa met name wordt bepaald door *H. filiformis* en *M. balthica* en in mindere mate door *N. diversicolor*. Op deze locatie is een grote variatie in biomassa van de kenmerkende soorten te zien, waarbij er soms ook jaren zijn (1996, 1997, 2000 en 2007) dat er voor deze soorten bijna geen biomassa wordt gevonden. Daarnaast zijn er ook jaren (zoals 1995)

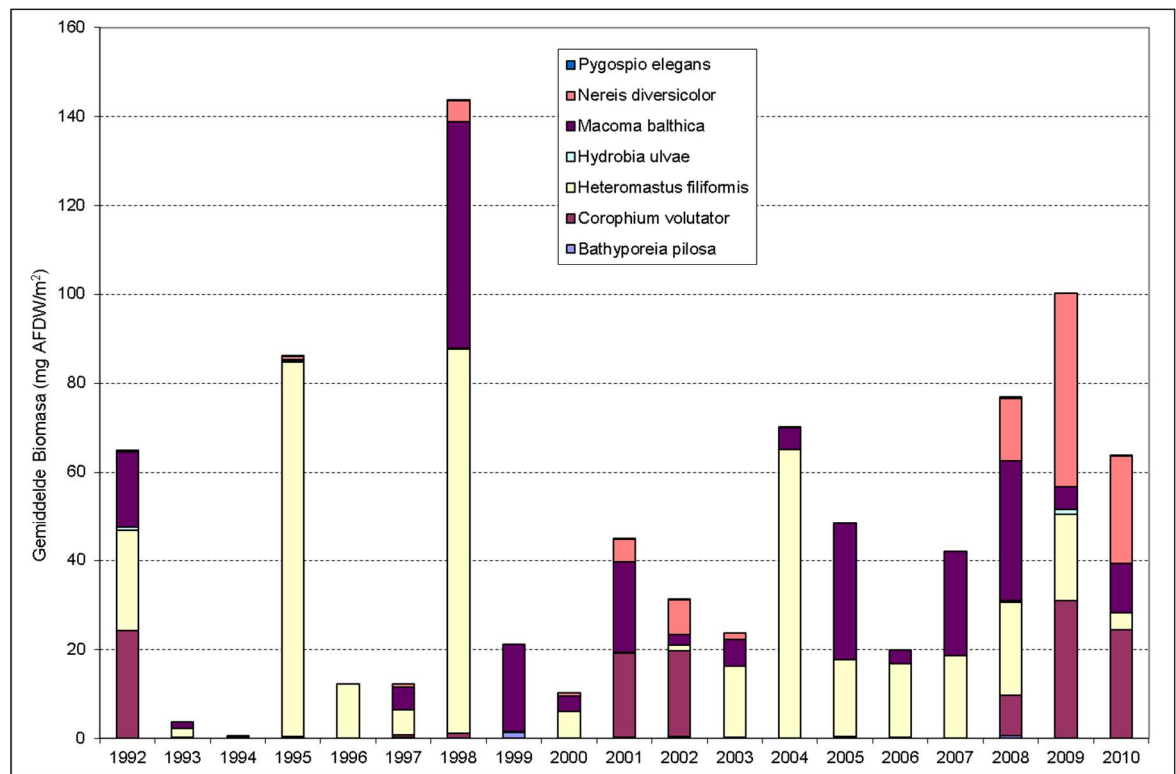
waarbij de biomassa van de kenmerkende soorten volledig wordt gedomineerd door één soort (in dit geval *H. filiformis*).



Figuur 2.11 Gemiddelde Biomassa kenmerkende macrobenthossoorten (mg AFDW/m²) op de Slikken van Hulst

2.5.3 Appelzak

Op Appelzak zijn van 1992-2010 in totaal 135 punten bemonsterd. In deze monsters zijn 39 verschillende soorten gevonden. In Figuur 2.12 wordt de biomassa (in mg/m²) weergegeven voor geselecteerde kenmerkende soorten. Er is te zien dat *Macoma balthica*, *Heteromastus filiformis* en in latere jaren ook *Nereis diversicolor*, de hoogste biomassa hebben. *M. balthica* is een schelpdier met veel biomassa. *H. filiformis* kan lokaal in zeer grote dichtheden voorkomen (zoals bijvoorbeeld in 1995, waar de biomassa van *H. filiformis* op één monsterpunt 11363 mg/m² bedroeg). *N. diversicolor* kan tot wel 20 cm groot worden. De brakheid van het water is in de samenstelling van de benthos niet echt terug te vinden, behalve in het feit dat er relatief weinig soorten per monster worden gevonden (ongeveer 2,5). Er is in de biomassa door de jaren heen geen trend waar te nemen, en ook vinden er geen duidelijke verschuivingen plaats in de biomassa van de verschillende soorten.



Figuur 2.12 Gemiddelde Biomassa kenmerkende macrobenthossoorten (mg AFDW/m²) op Appenzak buitendijks

2.5.4 Conclusie

Op alle locaties is sprake van grote variatie door de jaren heen in de biomassa van de kenmerkende soorten, waarbij in sommige jaren hoge en in andere jaren lage biomassa's worden gevonden. Dit resultaat hangt waarschijnlijk samen met de manier waarop benthos in de Westerschelde bemonsterd wordt; elk jaar wordt er op een andere locatie gesampled, soms in de geul, maar soms ook hoog in het intergetijdengebied. Deze heterogeniteit in monsterlocaties leidt waarschijnlijk tot een variatie in biomassa door de jaren heen.

Alleen op de Platen van Ossensisse lijkt er sprake van een algemene toename in biomassa, echter waar deze toename door veroorzaakt wordt is uit deze data niet op te maken. Dit zou nader onderzocht moeten worden middels een meer gedetailleerde analyse.

De meest bepalende soorten voor de biomassa op alle locaties zijn *M. balthica*, *H. filiformis* en *N. diversicolor*. Voor *H. filiformis* wordt dit met name bepaald door de lokaal hoge dichtheden die deze soort kan bereiken, die zorgen voor een zeer hoge waarde voor biomassa.

De locatie die meeste soorten herbergt en over het algemeen de grootste biomassa aan kenmerkende soorten benthos heeft is de Slikken van Hulst. Dit was ook verwacht, aangezien gebieden met een relatief hoog slibgehalte over het algemeen rijker zijn aan soorten dan bijvoorbeeld zandige gebieden.

2.6 Ecotopenkaarten

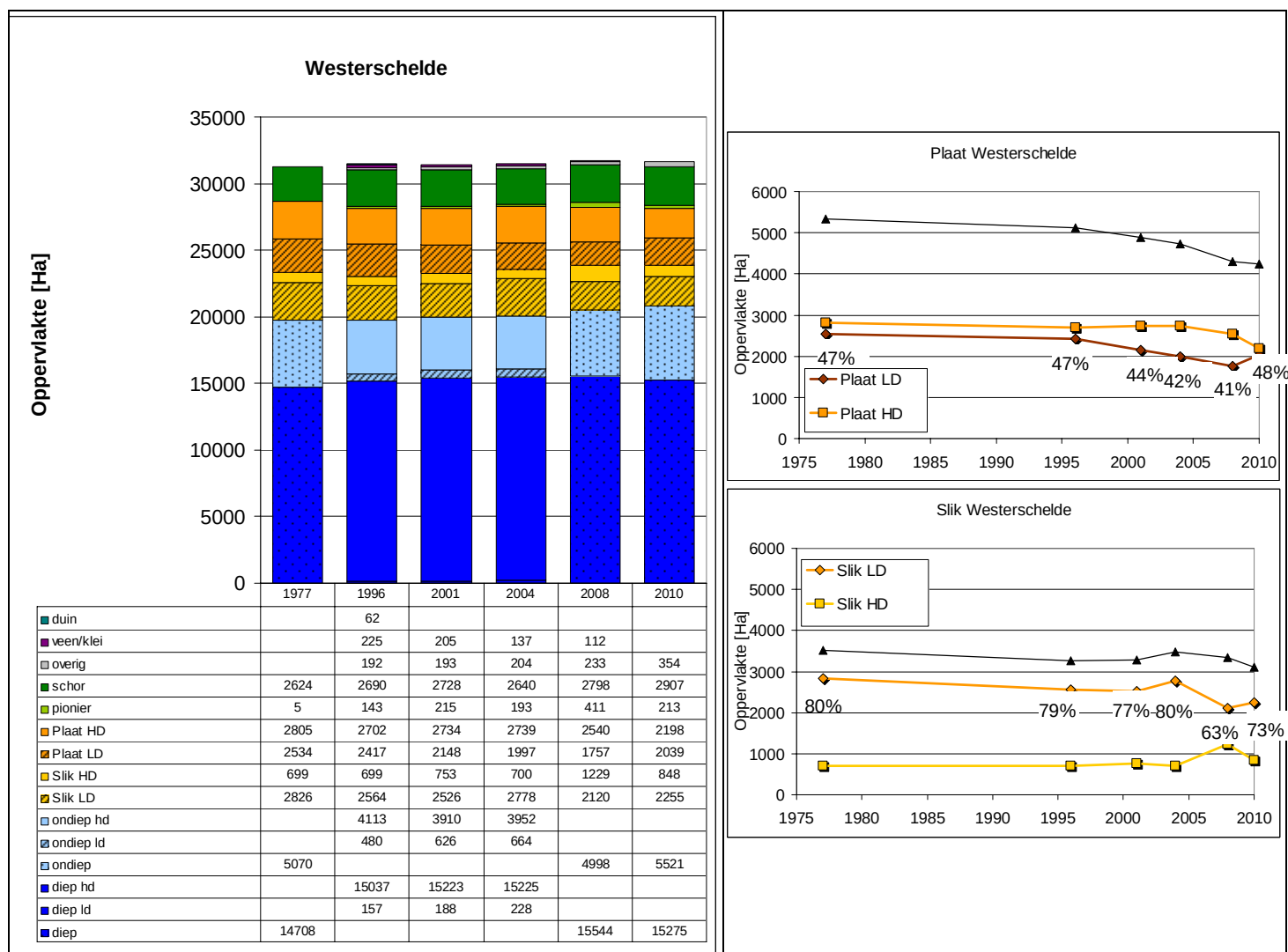
Hieronder volgt de beschrijving van de ontwikkeling van ecotopen in de periode 1977 tot en met 2010 in de gehele Westerschelde en specifiek op de drie potentiële locaties voor buitendijks natuurherstel in de Westerschelde.

2.6.1 Westerschelde

De hele Westerschelde wordt opnieuw besproken, omdat sinds de vorige rapportage (Deltares, 2011) de ecotopenkaart van 2010 beschikbaar is gekomen. Er wordt echter niet uitgebreid ingegaan om de resultaten.

Het totaal areaal platen neemt consistent af van 1977 tot 2010. Tot 2004 bleef het areaal hoogdynamische platen ongeveer gelijk, zodat de afname volledig voor rekening kwam van het areaal laagdynamische platen. Na 2004 neemt ook het areaal hoogdynamische platen af. Het areaal laagdynamische platen vertoont een neergaande trend van 1977 tot en met 2008, waardoor het percentage afnam tot 41% in 2008. In 2010 is een trendbreuk zichtbaar, als het areaal laagdynamische platen 282 ha is toegenomen en het percentage weer is toegenomen tot 48%. Een verklaring voor een dergelijke trendbreuk is niet bekend.

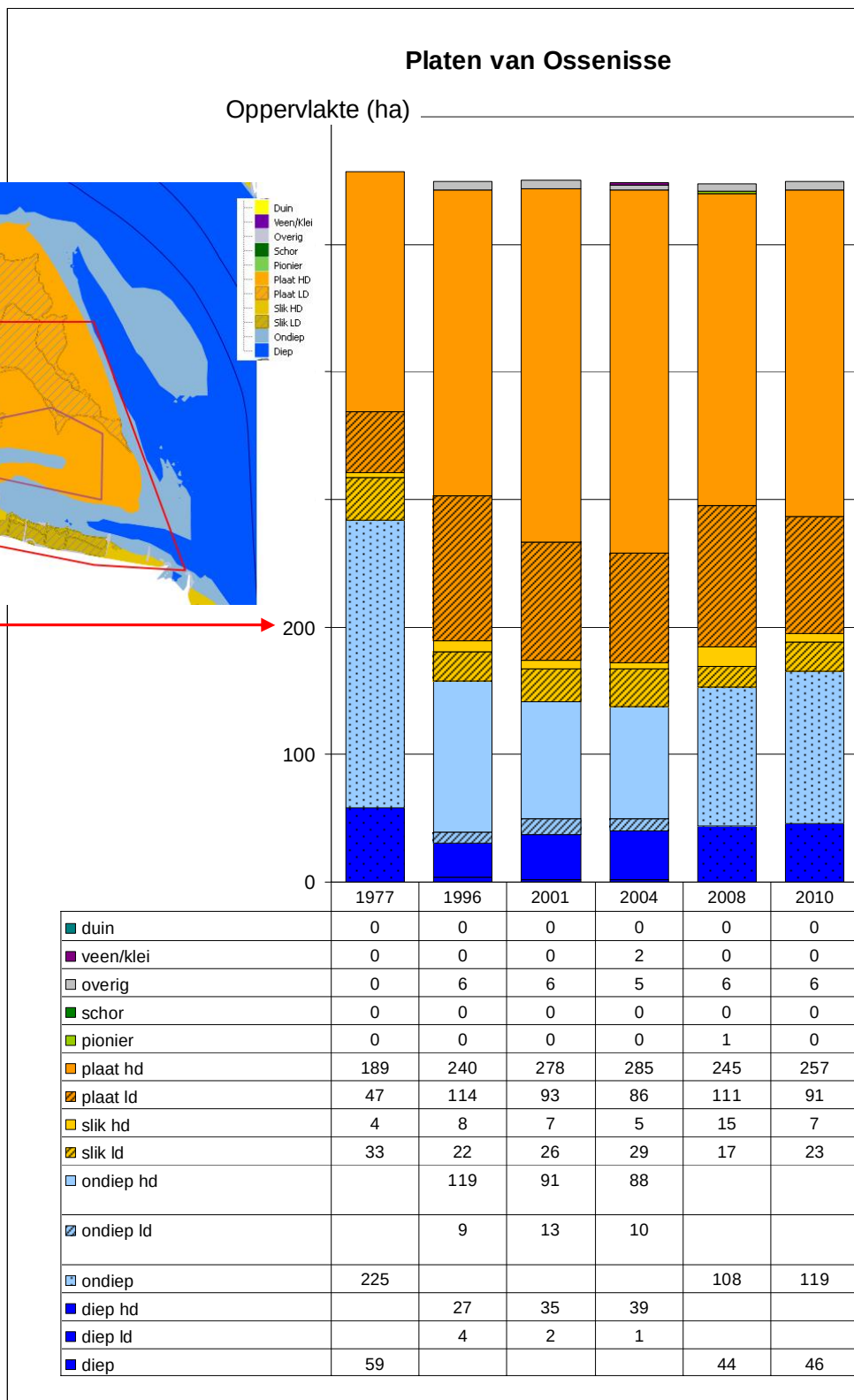
Het areaal slikken nam van 1977 tot 2001 af, maar was in 2004 weer bijna terug op het niveau van 1977. Na 2004 is het areaal weer gedaald. De verhouding tussen hoog- en laagdynamisch areaal was van 1977 tot en met 2004 ongeveer gelijk met percentages laagdynamisch areaal tussen 77% en 80%. In 2008 is slechts een percentage van 63% geconstateerd, ofwel een afname van 17% in vier jaar tijd. In 2010 zou daarvan – in twee jaar tijd – alweer 10% hersteld zijn. Voor dermate grote veranderingen zijn geen verklaringen voorhanden, waardoor het vermoeden bestaat dat de data niet betrouwbaar zijn. Aanbevolen wordt dan ook om tot het niveau van de ruwe data te onderzoeken of deze verandering daadwerkelijk opgetreden is.



Figuur 2.13 Areaalontwikkeling Ecotopen Westerschelde

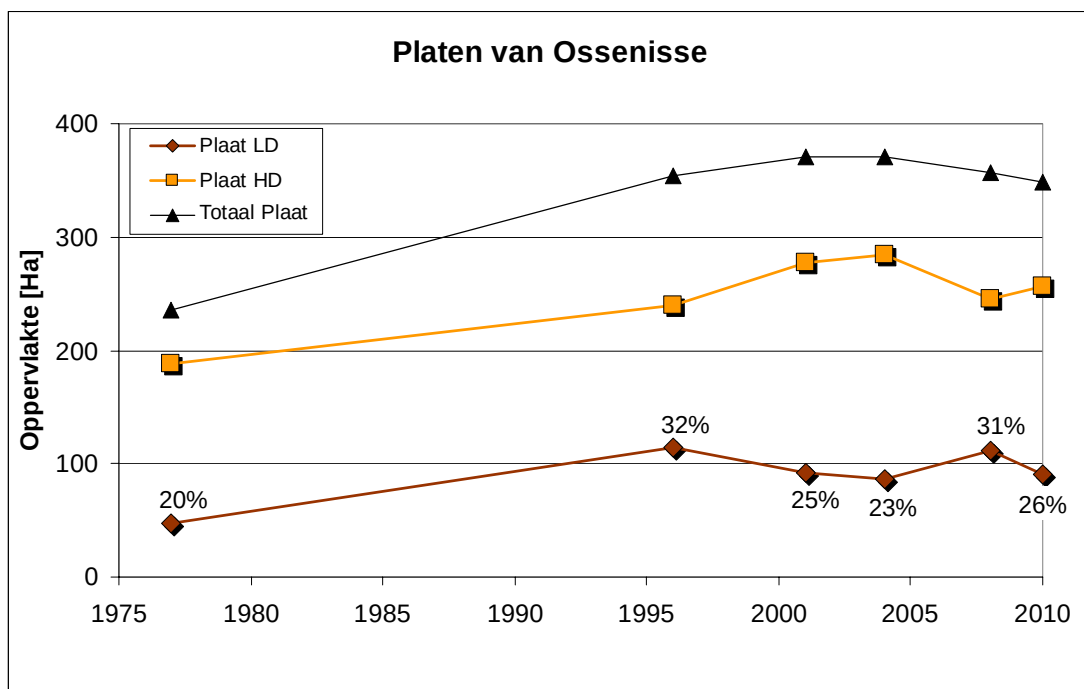
2.6.2 Platen van Ossenissee

Als de strekdam wordt verwijderd, is de verwachting dat het gebied rondom deze strekdam hierdoor beïnvloed wordt, met name het gebied rondom de geul aan de onderkant van de Platen van Ossenissee. Dit is de reden dat voor het gebied aangegeven met de rode lijn, de ontwikkeling van de ecotopen bekeken is. Het gebied aangegeven met de paarse lijn, is het gebied waar het effect van de ingreep wordt verwacht.



Figuur 2.14 Areaalontwikkeling Ecotopen Platen van Ossensisse

Tussen 1977 en 1996 neemt de oppervlakte plaat sterk toe (van 236 ha naar 354 ha) vooral ten koste van het oppervlakte ondiep water. Tot 2001 neemt het plaatareaal nog iets verder toe tot maximaal 370 ha. In de jaren na 2004 is een lichte afname tot 348 ha in 2010 zichtbaar. Let op dat de erosie van de noordoostelijke rand van de Platen van Ossensisse niet in het beschouwde gebied is meegenomen (zie [Figuur 2.3](#)). De verhouding tussen laag- en hoogdynamisch areaal is niet gelijk voor alle jaren, maar laat toch relatief weinig variatie en in ieder geval geen trend zien. Het laagste percentage van 20% kwam voor in 1977, het hoogste van 32% in 1996.



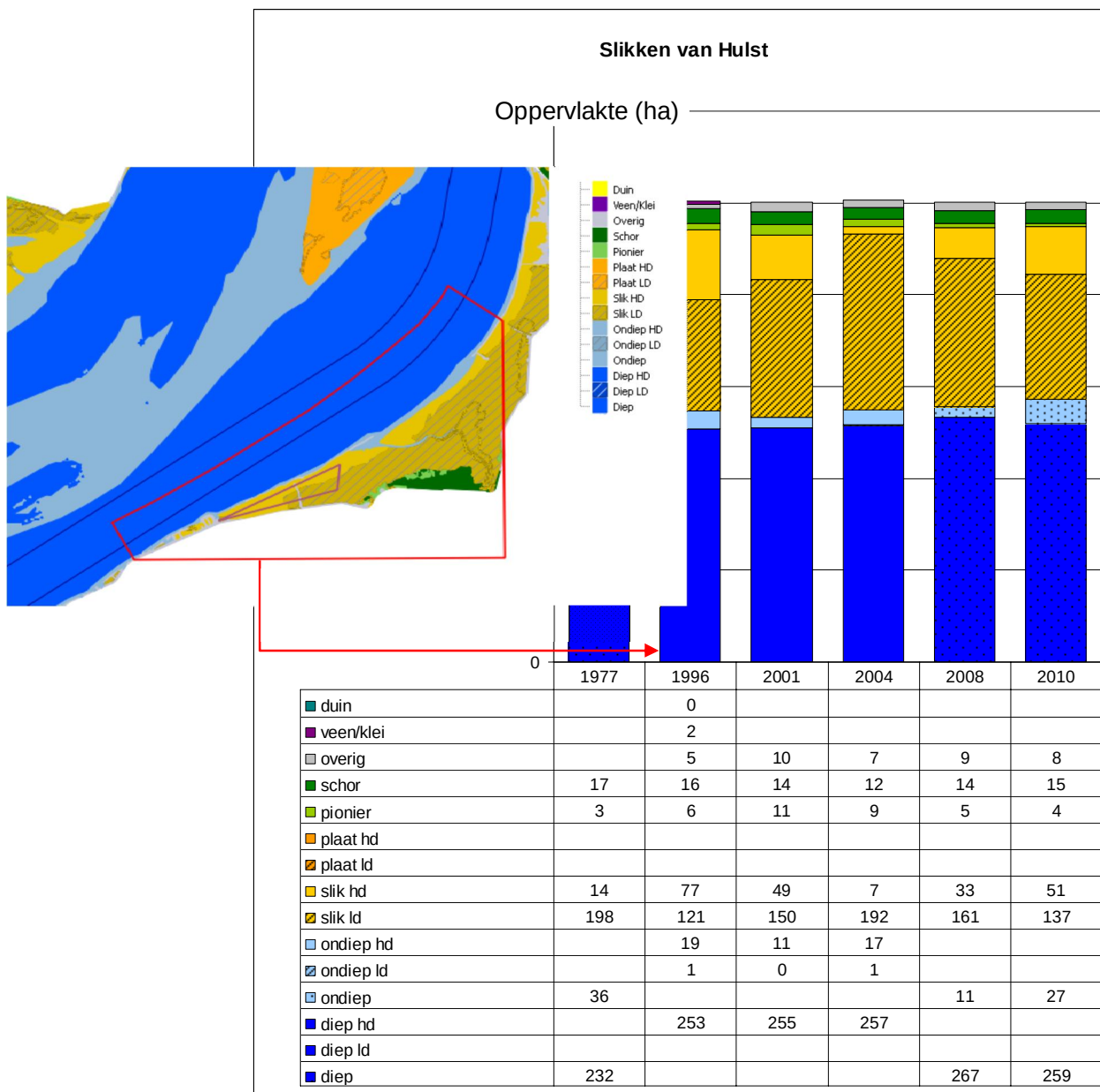
Figuur 2.15 Areaalontwikkeling van de platen (boven) en slikken (onder) tussen 1977 en 2010 op de locatie Platen van Ossensisse. Percentages geven het aandeel laagdynamisch plaatareaal ten opzichte van het totaal.

2.6.3 Slikken van Hulst

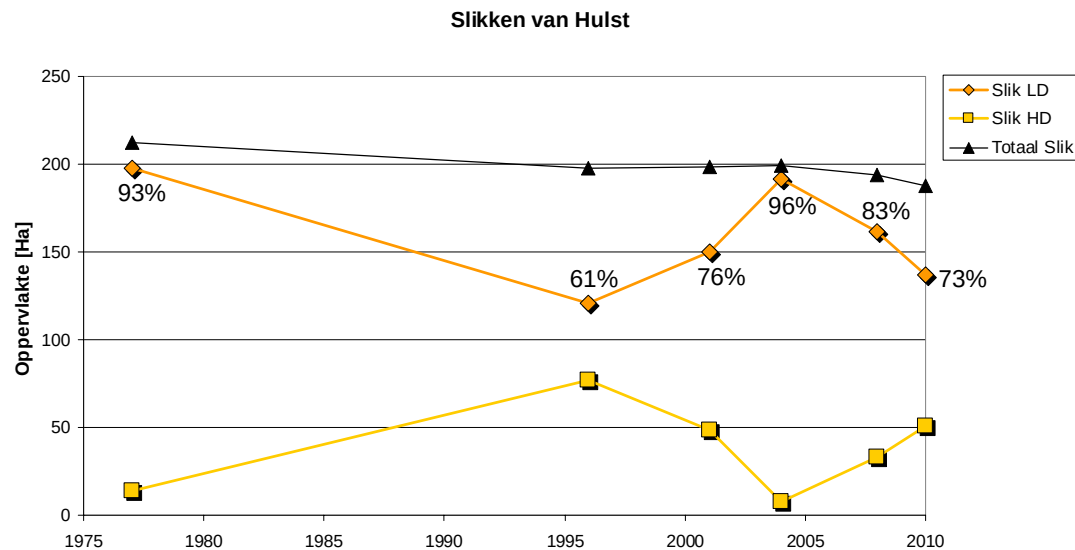
De ecotopenkaarten vanaf 1977 tot en met 2010 zijn beoordeeld voor het roodomrande gebied in [Figuur 2.16](#) (in het paarsomrande gebied wordt de ingreep voorzien). Op het eerste gezicht lijkt de verdeling tussen diep water, ondiep water en intergetijdengebied geen grote veranderingen zien. Bij elkaar opgeteld beslaan het diepe water en het ondiepe water 268 tot 286 ha. De latere jaren hebben de hogere waarden, maar het is niet duidelijk of dit als trend gezien mag worden gezien de kleine verschillen.

Tussen 1977 en 1996 neemt het totaal oppervlakte slik iets af (van 212 ha naar 198 ha), waarna het oppervlak tot 2004 constant blijft ([Figuur 2.17](#)). In de recente jaren 2008 en 2010 lijkt zich een negatieve trend te manifesteren.

Hoewel wel altijd het merendeel van het slik laagdynamisch is, varieert het percentage tussen 96% en 61% aanzienlijk van jaar tot jaar. Er is geen verklaring voor deze variatie. Mogelijk is de wijze van bepaling op basis van luchtfoto's van invloed, waarbij ook het tijdstip van de luchtfoto (bijvoorbeeld vlak na een periode van ruw weer) van belang kan zijn geweest.



Figuur 2.16 Areaalontwikkeling Ecotopen Slikken van Hulst

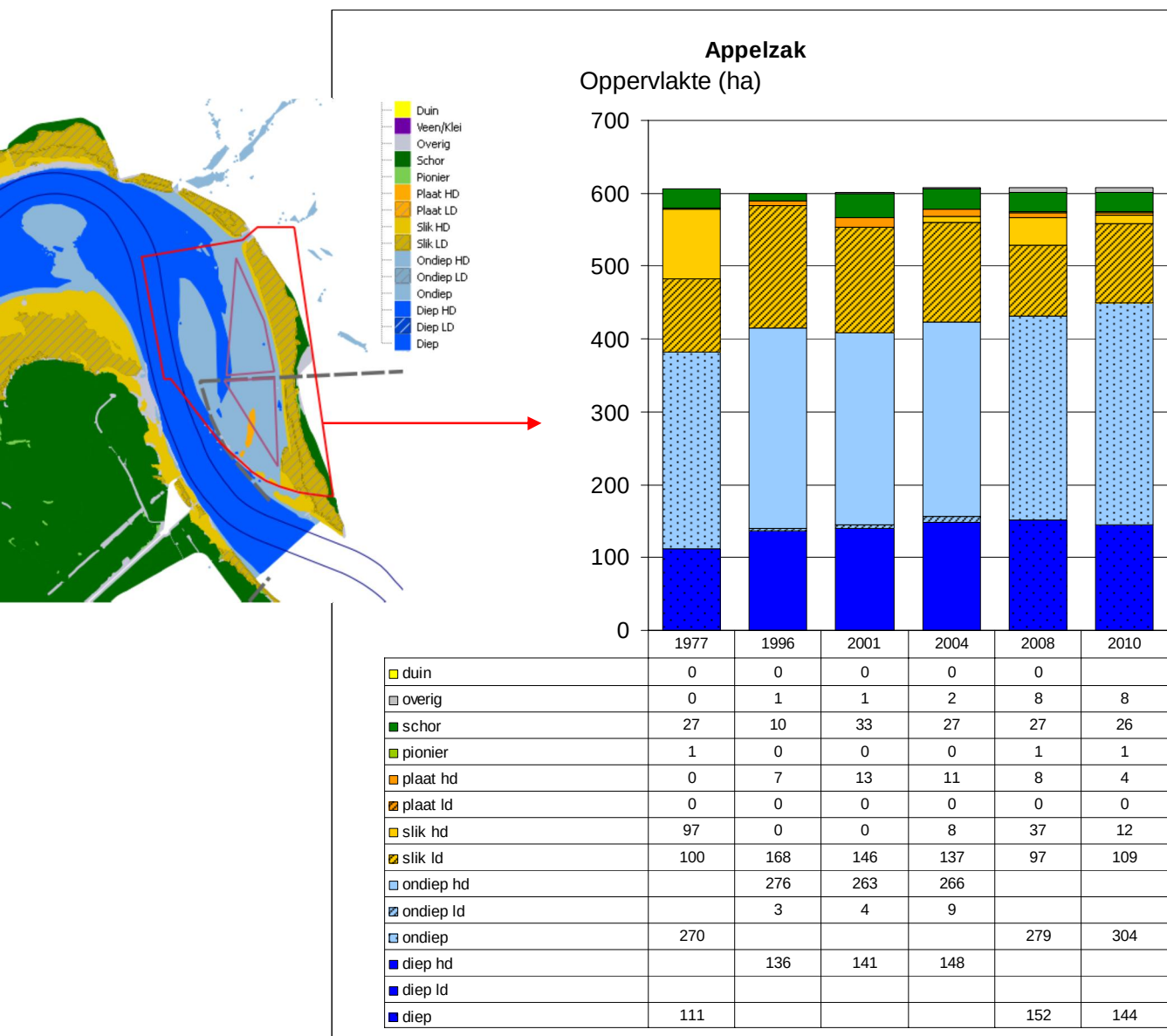


Figuur 2.17 Areaalontwikkeling van de slikken tussen 1977 en 2010 op de locatie Slikken van Hulst. Percentages geven het aandeel laagdynamisch slikareaal ten opzichte van het totaal.

2.6.4 Appelzak

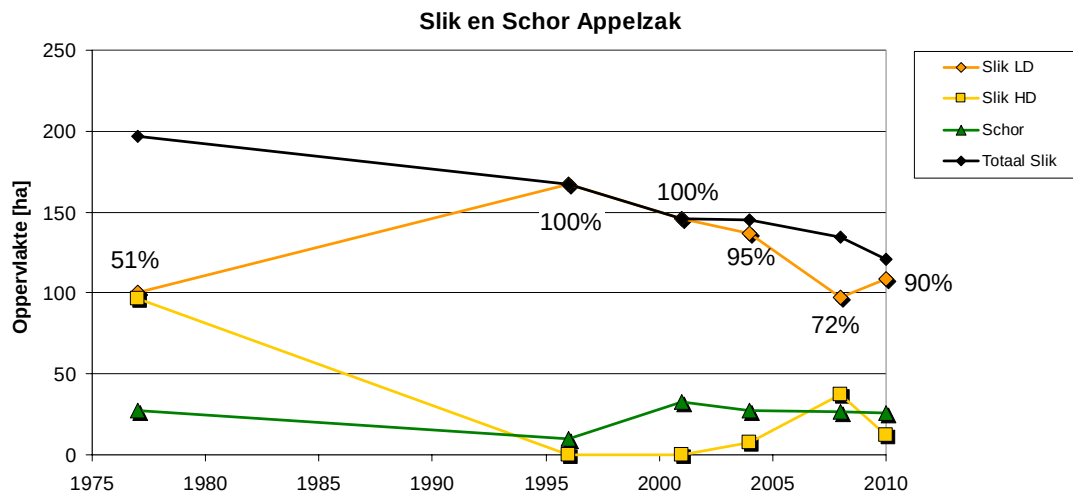
Om een beeld te krijgen van de ontwikkeling van de verschillende ecotopen op de locatie Appelzak is een groter gebied in beschouwing genomen (rode lijn) dan enkel het gebied waarvoor herstelwerkzaamheden zijn voorgesteld (paarse driehoeken, [Figuur 2.18](#)). De paarse lijn geeft het gebied weer waarbinnen de voorgestelde natuurherstelmaatregelen kunnen plaatsvinden. Echter als er binnen deze gebieden het vooroeverprofiel wordt aangepast, dan heeft dit vermoedelijk ook effect op het omliggende gebied. Daarnaast is het ook te verwachten dat als het vooroeverprofiel in het Nederlandse deel van Appelzak wordt aangepast, dit invloed heeft op het Belgische gedeelte.

Het totale oppervlak aan slik op Appelzak is in de periode 1977-2010 met ongeveer 75 ha afgenomen van 197 ha naar 121 ha. Het slikareaal laat over de hele periode een neerwaartse trend zien ([Figuur 2.19](#)). Het is niet eenduidig naar welk ecotoop het slikareaal wordt omgezet. Tussen 1977 en 1996 treedt een verschuiving van slik (-29 ha) en schor (-17 ha) naar diep water (+25 ha) en ondiep water (+9 ha) op. Tussen 1996 en 2001 komt de afname van slik (-22 ha) echter nagenoeg overeen met de toename van schorareaal (+23 ha). In de jaren na 2001 komt de afname van slikareaal ongeveer overeen met de toename van diep water en ondiep water. Aangezien over de jaren het oppervlak schor wel fluctueert, maar uiteindelijk vrijwel gelijk gebleven is, is de afname dus niet veroorzaakt doordat intergetijdengebied met schorvegetatie begroeid is geraakt. Geconstateerd kan worden dat op Appelzak een langzame trendmatige omzetting van slik naar diep water en ondiep water gaande is.



Figuur 2.18 Areaalontwikkeling Ecotopen Appelzak buitendijks

Het oppervlakte laagdynamisch slik (slik ld) neemt toe tussen 1977 en 1996. Was in 1977 nog slechts 51% laagdynamisch, in 1996 werd alleen laagdynamisch slik gezien. In de jaren daarna blijft vrijwel al het slik laagdynamisch, met uitzondering van 2008 toen 72% als laagdynamisch werd geclassificeerd. Een verklaring voor deze grote verschillen kon in het kader van dit onderzoek niet gegeven worden.



Figuur 2.19 Areaalontwikkeling van slikken en schor tussen 1977 en 2010 op de locatie Appelzak. Percentages geven het aandeel laagdynamisch slikareaal ten opzichte van het totaal.

2.7 Overig

2.7.1 Droogvalduur

Uit eerder onderzoek aan de database van de Westerschelde is gebleken dat hoogdynamisch gebied in het algemeen armer aan bodemdieren is dan laagdynamisch intergetijdengebied. Toch zien we tussen intergetijdengebieden in het zelfde deelgebied van de Westerschelde dat bijvoorbeeld het laagdynamisch gebied van de Platen van Ossensisse anders van bodemdiersamenstelling is en vaak lagere biomassa's heeft dan de slikken van Hulst ondanks dat beide in het deelgebied Westerschelde centraal liggen.

Uit onderzoek in het kader van de zandhonger in de Oosterschelde (Troost en Ysebaert, 2011) is naar voren gekomen dat in de Oosterschelde droogvalduur (of de tegenhanger overspoelingsduur) een belangrijke bepalende factor is voor de rijkdom van een deelgebied. Kokkels en wormen kunnen enige tijd op een droogvallende plaat overleven, maar als de plaat slechts korte tijd rond hoogwaterspringtij overspoelt dan hebben ze niet genoeg tijd om te voedsel te verzamelen. Mogelijk is dit iets wat op de platen van Ossensisse speelt. Een deel van het laagdynamisch gebied ligt erg hoog en een deel is zelfs begroeid en behoort in feite tot het supralitoraal.

De voorstellen tot natuurherstel focussen momenteel op het omzetten van hoogdynamisch intergetijdengebied naar laagdynamisch intergetijdengebied. Bij het ontwikkelen van laagdynamisch intergetijdengebied moet zodoende rekening gehouden worden met de droogvalduur; intergetijdengebied dat meer dan 80% van de tijd droog ligt, zal immers weinig winst op gaan leveren voor natuurontwikkeling.

Het heeft de aanbeveling om de ontwikkeling in droogvalduur van de Westerschelde door de jaren heen te analyseren, om meer grip te krijgen op deze belangrijke randvoorwaarde.

2.7.2 Waterkwaliteit

Voor en overzicht van waterkwaliteit in de Westerschelde wordt verwezen naar de Eerstelijnsrapportage Westerschelde (Deltares, 2012), waarin de gegevens over de periode 1996-2010 zijn samengevat en eenvoudig zijn geanalyseerd en geïnterpreteerd.

De voor te stellen maatregelen hebben naar verwachting geen significant effect op de waterkwaliteit, waardoor in dit onderzoek verder geen aandacht hieraan wordt besteed.

2.7.3 Kokkels

Door IMARES wordt jaarlijks de verspreiding van kokkels bemonsterd. Er zijn data beschikbaar voor de periode 2003-2010. Vanwege de verwachte beperkte meerwaarde ten opzichte van de BIOMON macrobenthosdatabase waarin ook kokkels zijn opgenomen, is besloten af te zien van deze analyse.

2.7.4 Unieke macrobenthossoorten

Om te kijken of op de voorgestelde herstellocaties Slikken van Hulst en Platen van Ossenissee bijzonder zijn voor het deelgebied 'Westerschelde centraal' is gekeken naar de soorten die in de algemene analyse in paragraaf 2.5 onder de categorie 'overig' vallen. Gekeken is of de dichtheden van de voorkomende soorten afwijken van de dichtheden in het deelgebied. Bij een vijf keer hogere dichtheid op de herstellocatie ten opzichte van het deelgebied Westerschelde centraal, hebben we een soort als 'bijzonder veel voorkomend' aangemerkt.

Op de locatie Hulst zijn zes soorten gevonden die een vijf keer hogere dichtheid vertoonden dan in het centrale deel van de Westerschelde en voor de locatie Ossenissee kwam dit voor drie soorten voor. Over het algemeen ging het om soorten die verder in de Westerschelde of in Nederland algemeen voorkomen of om epibenthos. Epibenthos is door zijn mobiliteit moeilijk te bemonsteren, dus een verschil in dichtheid geeft onvoldoende betrouwbare informatie. Verder kan epibenthos vanwege zijn mobiele aard, zich makkelijk ergens anders vestigen. De enige twee soorten die vervolgens bekeken zijn, zijn *Manayunkia aestuarina* en *Gattyana cirrosa*.

Manayunkia aestuarina is een waaiervorm die in het centrale deel van de Westerschelde enkel op twee locaties op Ossenissee is gevonden, maar in de gehele Westerschelde daarnaast nog op elf andere locaties is gevonden.

Gattyana cirrosa is een schaalworm die in de gehele Noordzee gevonden wordt. In het centrale deel van de Westerschelde is deze worm in drie monsters gevonden waarvan twee op Hulst lagen. Echter als naar de hele Westerschelde gekeken wordt, is de soort door de jaren heen daarnaast op nog twaalf locaties gevonden.

Op basis van deze korte analyse zijn geen aanwijzingen gevonden om een van beide herstellocaties aan te wijzen als uniek voor het gebied waarin ze zich bevinden. Opgemerkt moet worden dat de schaal van de dataset die wij tot beschikking hebben niet optimaal is voor een analyse gericht op kleine herstelgebieden en dus niet met zekerheid uitgesloten kan worden dat er unieke soorten voorkomen.

De locatie Appelzak is niet onderzocht op bijzondere soorten.

2.7.5 Zeegrass

Zeegrass komt in de Westerschelde alleen nog voor in de monding van de Sloehaven (Website Scheldemonitor, geconsulteerd januari 2012), en is niet aanwezig op de locaties Appelzak, Platen van Ossensisse en Slikken van Hulst.

Uit de kansenkaart (Figure 2.20) gebaseerd op zoutgehalte, stroomsnelheid, golven en droogvalduur, blijkt dat de kansen voor het voorkomen van zeegrass in de Westerschelde beperkt zijn. Zeegrass wordt, door het beperkte voorkomen in de Westerschelde, en de minimale kansen voor het vergroten van het areaal in de gebieden binnen deze studie, niet verder meegenomen in de analyse van de ecologie binnen dit rapport.

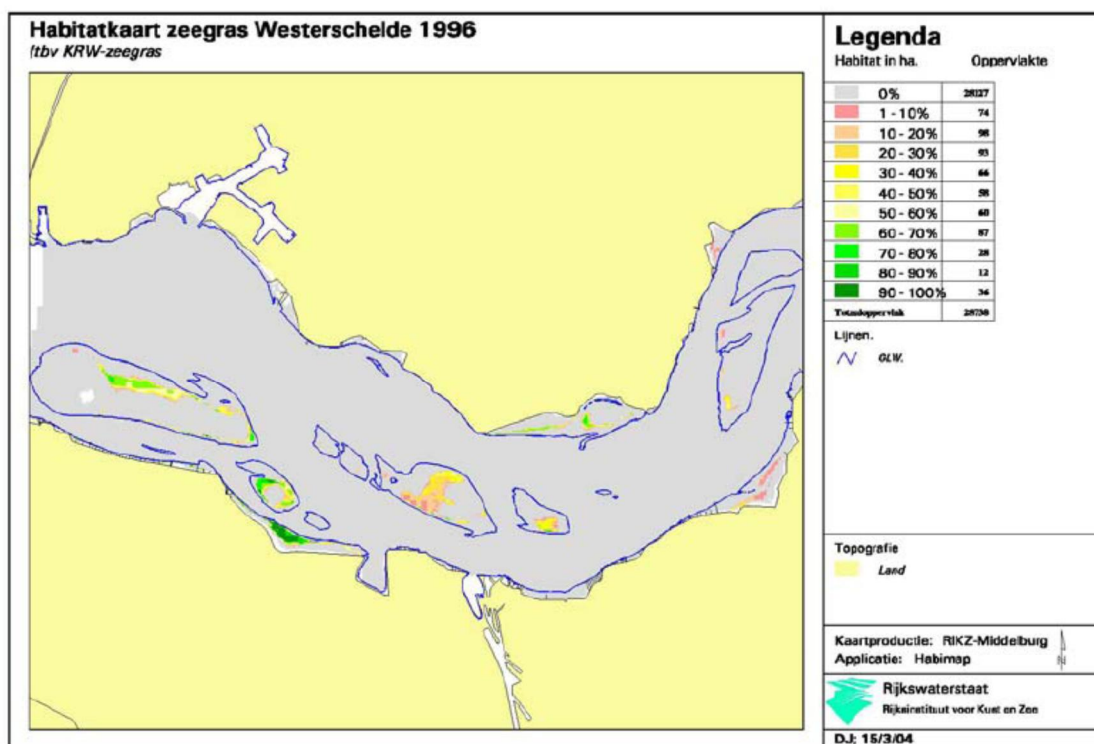


Figure 2.20 Kansenkaart voor zeegrass in de Westerschelde, RIKZ (2007)

2.7.6 Vogels

De Westerschelde is, samen met het Verdrongen land van Saeftinghe, een N2000-gebied. Het gebied heeft deze status onder andere door het belang van het gebied voor (trek)vogels als broed- of foerageergebied. In dit onderzoek is gekozen voor een beperkt literatuuronderzoek en niet op een data-analyse van vogeltellingen, omdat vogels niet gebonden zijn aan de locaties voor natuurherstel.

De conclusie van het beperkte literatuuronderzoek worden hier weergegeven. De volledige tekst is opgenomen in Bijlage D.

De Westerschelde is een belangrijk gebied voor vogels om te foerageren en broeden. Voor visetende vogels zoals meeuwen en sterns is de Westerschelde, met name het westelijk deel, een belangrijk broedgebied. Steltlopers zijn vooral afhankelijk van het intergetijdengebied in de Westerschelde voor hun voedselvoorziening.

Voor het verkrijgen van inzichten in lange-termijntrends in de Westerschelde wordt gebruik gemaakt van broedvogel- en hoogwatertellingen. Voor broedvogels zijn de populaties in de Westerschelde redelijk stabiel. Voor Bontbekplevier, en Strandplevier, die een afname vertonen in aantal broedparen, en Vissdief, die een toename laat zien, hebben broedplaatsen in de buurt van genomineerde locaties, en is het mogelijk dat eventuele effecten van maatregelen in broedgebieden van deze soorten optreden. De hoogwatertellingen in de Westerschelde laten stabiliteit zien voor de Scholekster en Tureluur, terwijl voor een aantal soorten (Kluut, Kanoet, Bergeend, Groenpootruiter, Drieteenstrandloper, Bonte Strandloper en Wulp) aantallen afnemen. De Zilverplevier vertoont grote fluctuaties vertoont door de jaren heen. Een aantal soorten (Zwarte Ruiter, Bontbekplevier, Steenloper) neemt af. Veranderingen in lange termijn trends moeten echter wel in relatie tot internationale of landelijke trends worden gezien.

De meeste vogels in de Westerschelde prefereren slikkig of gemengd sediment en foerageren voornamelijk op zeeduizendpoot, polychaeten, krabben en schelpdieren. De meeste soorten hebben echter een divers dieet, en zijn niet afhankelijk van één soort als voedselbron. Daarnaast kan het dieet van een vogelsoort verschillen per locatie.

Het voorkomen van vogels in een bepaald gebied hangt af van de habitatgeschiktheid en de hoeveelheid beschikbaar voedsel, maar het in kaart brengen, en zeker het kwantificeren van deze relaties is erg moeilijk. Hierdoor zijn de onzekerheden over het optreden van eventuele effecten van maatregelen op de genomineerde locaties groot.

2.8 Samenvattende en concluderende beschrijving

2.8.1 Platen van Ossensisse

De beoogde locatie voor natuurherstel ligt aan de zuidkant van de Platen van Ossensisse. Het gemiddelde verschil tussen hoog- en laagwater is er ongeveer 4,5 meter en het zoutgehalte varieert van 8 psu in natte winters tot 25 psu in droge zomers. De locatie Platen van Ossensisse ligt daarmee in de brakke zone van het estuarium.

Morfologisch kenmerkt de Platen van Ossensisse zich door substantiële erosie aan de west- en noordkant en in mindere mate aan de oostkant: De plaat wordt kleiner. Deze drie kanten grenzen aan de hoofdgeul. Waarschijnlijk is de erosie het gevolg van toegenomen getijenergie in de hoofdgeul, onder andere door het minder diep worden van de Middelgat nevengeul. In tegenstelling tot de andere randen is de zuidelijke plaatrand qua positie relatief onveranderd. De zuidelijke plaatrand grenst niet aan de hoofdgeul, maar aan de Schaar van Ossensisse nevengeul. In deze nevengeul wordt een wisselend patroon van erosie en aanzanding geconstateerd, met minder dan 1 m verschil tussen 2001 en 2010.

Tegelijkertijd wordt de plaat hoger. Aan de zuidkant van de plaat is verhoging van 1 tot 2 meter tussen 2001 en 2010 het meest prominent. Het sediment op de plaat is zandig (mediane korrelgrootte 250 µm) en heeft een lage slibfractie (5%). Het percentage van de plaat dat als laagdynamisch wordt geclassificeerd, is met variaties tussen 23% tot 32% sinds 1996 redelijk constant. Er is geen trendmatige toe- of afname te constateren. Het voorkomen van macrobenthos laat geen bijzonderheden zien. Evenmin blijkt uit de macrobenthosgegevens dat de Platen van Ossensisse uitzonderlijk is ten opzichte van zijn omgeving.

De beoogde maatregel bestaat uit het inkorten van een strekdam die uitsteekt in de Schaar van Ossenis. Op basis van de dieptekaarten wordt voorzichtig geconcludeerd dat de strekdam een belangrijke, mogelijk fixerende functie heeft op de hydro-morfologie van de Schaar van Ossenis. Het is te verwachten dat de maatregel een substantieel effect heeft op de lokale omstandigheden en ontwikkelingen.

2.8.2 Slikken van Hulst

De beoogde locatie voor natuurherstel ligt aan de zuidwestelijke kant van de Slikken van Hulst. Het gemiddelde verschil tussen hoog- en laagwater is er ongeveer 4,3 meter en het zoutgehalte varieert van 10 psu in natte winters tot 27 psu in droge zomers. De locatie Slikken van Hulst ligt daarmee in de zoute tot brakke zone van het estuarium.

Morfologisch kenmerken de Slikken van Hulst zich door lichte erosie van enkele decimeters over de periode 2001-2010. Op sommige delen van het slik is de eroderende trend na 2006 tot stilstand gekomen. De geulwandbestorting die de Slikken van Hulst beschermt tegen het uitschuren van de geul, lijkt het bodemprofiel op zijn plaats te houden op het punt waar het slik overgaat in de vaargeul. De Slikken van Hulst grenzen aan de hoofdgeul. Het verondiepen van de Pas van Baarland resulteert waarschijnlijk een toename van de getijenergie in de hoofdgeul en het is waarschijnlijk dat de Slikken van Hulst onder invloed van de toegenomen getijenergie aan lichte erosie onderhevig zijn.

Het sediment op de Slikken van Hulst is vrij zandig (mediane korrelgrootte 210 μm) en heeft een slibfractie van 15%. Het percentage van de slikken dat als laagdynamisch wordt geclassificeerd, ligt tussen 96% en 61% en varieert aanzienlijk van jaar tot jaar. Er is geen verklaring voor deze variatie. Van de drie locaties zijn de Slikken van Hulst het rijkst aan macrobenthos. Uit de gegevens blijkt niet dat de Slikken van Hulst uitzonderlijk zijn ten opzichte van de omgeving.

De beoogde maatregel bestaat uit het omzetten van hoogdynamisch intergetijdengebied naar laagdynamisch intergetijdengebied. De ecotopenkaarten laten door de jaren heen een grote variatie in percentage hoog- en laagdynamisch zien, die niet verklaard kan worden. Dit zet vraagtekens bij de voorspelbaarheid van het effect van de maatregel. De optredende eroderende trend geeft aan dat een maatregel waarin sediment wordt aangebracht, tegen de natuurlijke processen inwerkt en dat aanvullende, fixerende maatregelen wellicht nodig zijn. De geulwandbestorting lijkt als harde constructie te bevestigen dat het behoud en de ontwikkeling van het slik sterk door fixerende maatregelen wordt bepaald.

2.8.3 Appelzak buitendijks

De beoogde locatie voor natuurherstel ligt ten zuidoosten van Bath en wordt van de hoofdgeul gescheiden door een leidam, die bij hoogwater overstroomd. Binnen het gebied liggen twee nevengeulen. Het gemiddelde verschil tussen hoog- en laagwater is er ongeveer 5,0 meter en het zoutgehalte varieert van 5 psu in natte winters tot 13 psu in droge zomers. De locatie Appelzak ligt daarmee in de brakke zone van het estuarium.

Morfologisch kenmerkt de locatie Appelzak zich door het migreren van de westelijke nevengeul naar het oosten en het licht aanzanden van de oostelijke nevengeul.

Het sediment op de locatie Appelzak is minder zandig (mediane korrelgrootte 175 μm) en vrij slibrijk (24%). Tussen 2001 en 2010 neemt het areaal slik af ten voordele van diep water en

ondiep water. Het slik is overwegend laagdynamisch, al treedt er variatie op waarvoor geen verklaring voorhanden is. Van de drie locaties is Appelsak het armst aan macrobenthos vanwege het lage zoutgehalte. Appelsak is niet onderzocht op unieke soorten, vanwege het stopzetten van het onderzoek voor deze locatie.

De beoogde maatregel bestaat uit het omzetten van ondiep water naar laagdynamisch intergetijdengebied door de oostelijke nevengeul te verondiepen. Gezien de aanzandende trend in de oostelijke nevengeul, zou de maatregel hier op relatief natuurlijke wijze op kunnen aansluiten. Het laagdynamische karakter van de aanwezige slikken is een aanwijzing dat het nieuwe intergetijdengebied ook laagdynamisch zal zijn. De negatieve trend van het aanwezige slikareaal geeft aan dat beheer mogelijk nodig is om het areaal in stand te houden.

3 Hydro-morfologische modellering: modelopzet en -validatie

3.1 Inleiding en aanpak

Het voorspellen van de bodemligging (diepte) en de stroomsnelheid is nodig om het effect van de maatregelen te kunnen kwantificeren. Daarvoor gebruiken we twee beschikbare hydro-morfologische modellen van de Westerschelde, FINEL en Delft3D, die in het kader van het LTV Westerschelde programma zijn ontwikkeld en toegepast. Het FINEL model is het basismodel in deze studie; hiermee worden zowel de huidige situatie als de aanlegvarianten doorgerekend. Het Delft3D model wordt ingezet als vergelijkend en kwaliteitsborgend model. Dit houdt in dat we een aantal situaties met de twee verschillende modelsystemen doorrekenen om de onzekerheidsmarge beter te onderbouwen. Het modelonderzoek met FINEL2D is door Svašek Hydraulics uitgevoerd. Het modelonderzoek met Delft3D is door Arcadis uitgevoerd.

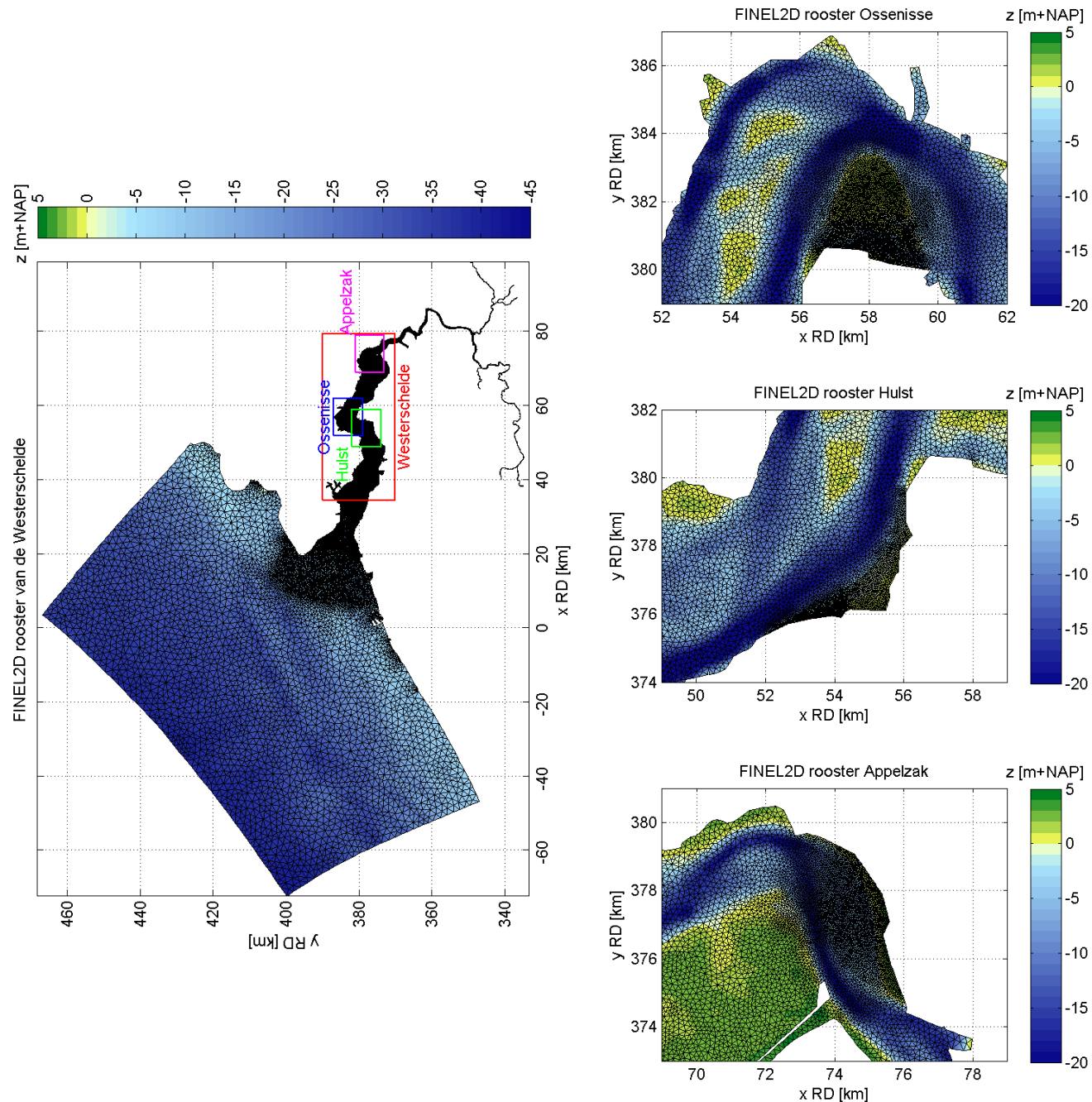
De FINEL en Delft3D modellen zijn ontwikkeld om de grootschalige morfologische ontwikkeling in het Schelde estuarium weer te geven. In deze studie richten we ons op de meer lokale, kleinschalige bodemontwikkeling ter plekke van de Slikken van Hulst, Plaat van Ossenis en Appelzak. Daarom was het noodzakelijk de bestaande modellen aan te passen en opnieuw te valideren, voorafgaand aan het doen van voorspellingen. Door een bekende situatie na te rekenen kan bepaald worden of de modelvoorspelling betrouwbaar is of met welke afwijkingen in de interpretatie van de voorspelling rekening gehouden moet worden.

De volledige rapporten van Svašek en Arcadis zijn te vinden in Bijlagen A, B en C.

3.2 Opzet en validatie hydro-morfologisch FINEL en Delft3D model

3.2.1 FINEL

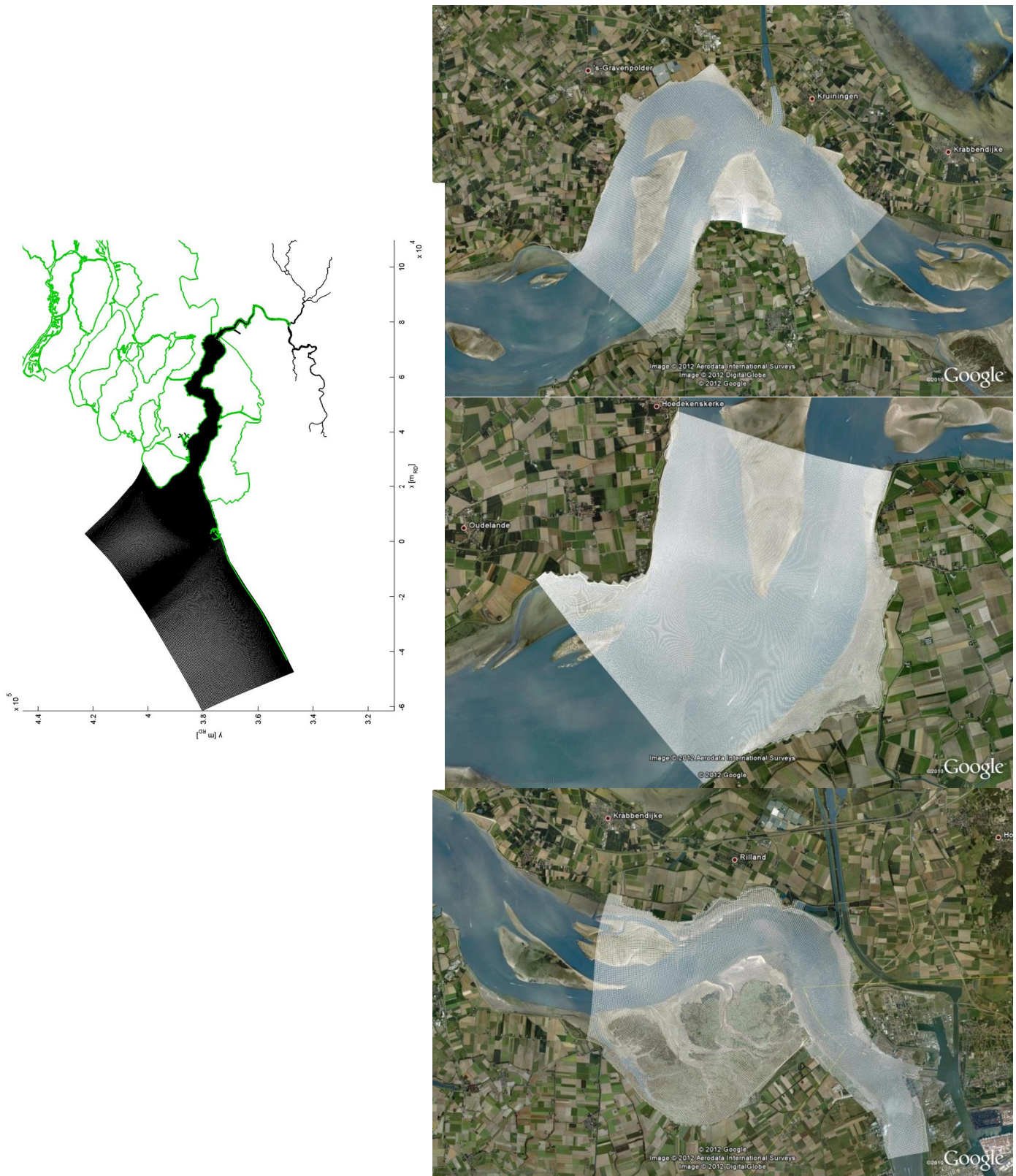
FINEL2D is een door Svašek Hydraulics ontwikkeld hydro- en morfodynamisch modelpakket waarmee de stromingen en de daaraan gekoppelde sedimentfluxen en bodemveranderingen in open wateren als zeeën, rivieren, estuaria en havens berekend kunnen worden. Per projectgebied is een apart FINEL2D model opgezet. Het gemodelleerde gebied beslaat het gehele Schelde-estuarium en een deel van de Voordelta (Figuur 3.1). Voor ieder van de drie projectlocaties is een locale verfijning van het rekenrooster gemaakt (Figuur 3.1). Voor een uitgebreide beschrijving van de modelopzet wordt verwezen naar Bijlage A.



Figuur 3.1 Rekenrooster van het FINEL2D model van de Westerschelde (links) en Rekenrooster van de drie projectgebieden (rechts) (Klein en Kroon, 2012)

3.2.2 Delft3D

Qua rekentijd is het met Delft3D niet mogelijk om de gehele Westerschelde met hoge resolutie door te rekenen. Om enerzijds tot een correcte representatie van de hydrodynamiek in de projectgebieden te komen en anderzijds de rekentijd beperkt te houden zijn de projectgebieden genest in een grover model van de Westerschelde. De rekenroosters van het Westerschelde model en van de drie geneste deelmodellen worden getoond in Figuur 3.2.



Figuur 3.2 Rekenrooster van het Delft3D model van de Westerschelde (links) en Rekenrooster van de drie projectgebieden (rechts) (Arcadis, 2012a)

3.2.3 Belangrijkste kenmerken FINEL en Delft3D modellen

In deze paragraaf beschrijven we kort de belangrijkste kenmerken van de FINEL en Delft3D modellen, zoals gebruikt in het doorrekenen van de aanlegvarianten. Dit geeft inzicht in de keuzes die gemaakt zijn en de overeenkomsten en verschillen tussen beide modellen, wat ons helpt in de interpretatie van de modelresultaten. Hierbij kunnen we onderscheid maken tussen modelinstellingen die gelden voor alle drie deelmodellen (Slikken van Hulst, Plat van Ossenis en Appelzak) en locatie specifieke instellingen. Aangezien het Delft3D model van het deelgebied Appelzak niet verder is ingezet, beperken we ons tot een beschrijving van het FINEL model voor deze locatie.

In alle gevallen betreft het dieptegemiddelde modellen. Dit betekent dat 3D stromingen (o.a. dichtheidsgedreven stroming, bochtstroming) niet dan wel niet volledig worden weergegeven. Echter, naar verwachting zijn deze 3D effecten van secundair belang. De modellen simuleren de invloed van het getij, de rivierafvoer en de wind op de stroming, het sedimenttransport en de morfologische ontwikkeling. De invloed van golven wordt alleen in het FINEL model van de Slikken van Hulst meegenomen. Het Delft3D model rekent met één zandfractie met een korrelgrootte van 0,2 mm voor Slikken van Hulst en 0,2 mm voor de Plaat van Ossenis. In het FINEL model wordt zowel zand als slib meegenomen voor de Slikken van Hulst en Appelzak, en voor de Plaat van Ossenis alleen zand. Als korrelgrootte voor de zandige fractie is 0,22, 0,22 en 0,15 mm aangehouden.

Beide modellen houden rekening met de aanwezigheid van harde, niet-erodeerbare lagen. De ruimtelijke resolutie van de rekenroosters ligt tussen de 10 en 30 m, waarbij het Delft3D rooster over het algemeen wat fijner is voor de Slikken van Hulst en het FINEL rooster wat fijner voor de Plaat van Ossenis. Verder nemen beide modellen zandwinning en onderhoudsbaggerwerkzaamheden mee. Aangezien bodemveranderingen langzamer gaan dan veranderingen in de waterbewegingen rekenen beide modellen met een morfologische versnellingfactor van ongeveer 25. Dit betekent dat er een springtij-doodtij cyclus van 14 dagen wordt gesimuleerd en dat de berekende bodemveranderingen met deze factor worden vermenigvuldigd, opdat deze corresponderen met een jaar morfologische ontwikkeling. Hiermee wordt de rekentijd aanzienlijk verkort.

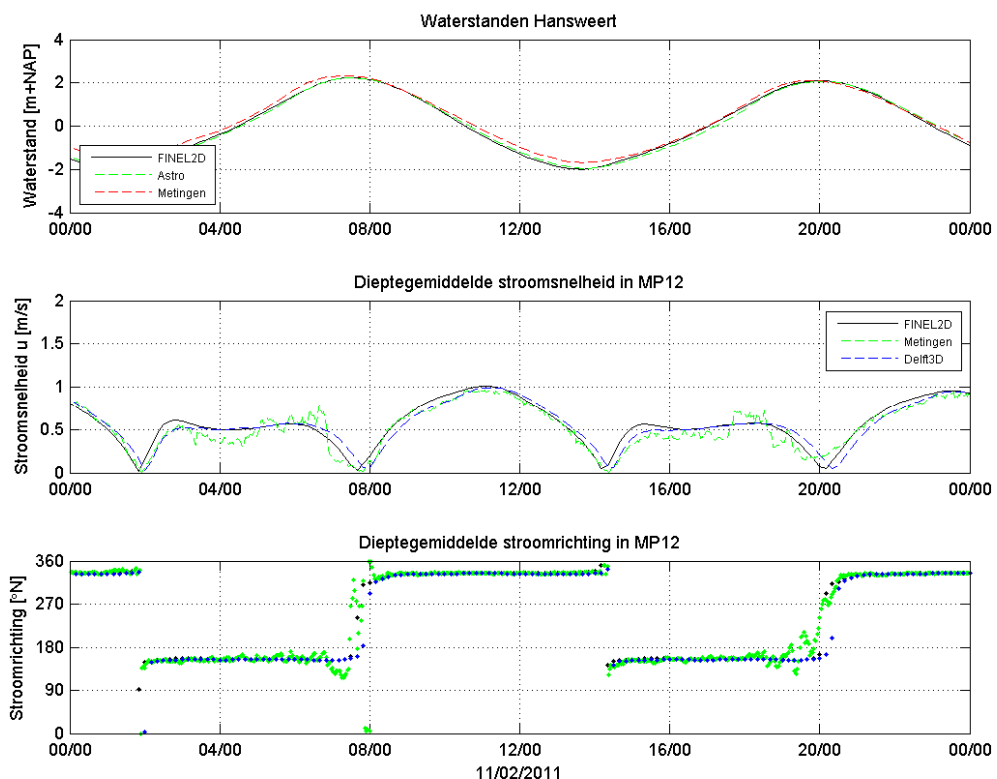
3.3 Hydrodynamische validatie

Klein en Kroon (2012, Bijlage A) beschrijven uitgebreid de hydrodynamische validatie van het FINEL model. Zij concluderen op basis van de vergelijking tussen metingen en modelresultaten dat FINEL2D goed tot zeer goed in staat is de diverse stroommetingen te reproduceren. Zelfs in het geval van complexe gebieden als de Platen van Ossenis en de Ballastplaat is het model in staat de belangrijkste aspecten van de stromingen te reproduceren. Het voornaamste verschil met de metingen is dat het FINEL2D model niet in staat is gebleken de giertijden van februari 2011 ten oosten van de Platen van Ossenis te reproduceren. Het effect van giertijden, die ongeveer 10 keer per jaar optreden, op de lange termijn morfologie van de Platen van Ossenis wordt echter vanwege de korte duur ervan van minder belang geacht voor het natuurherstel.

Ook de Delft3D modelresultaten in het Gat van Ossenis tonen goede overeenkomsten met de stromingsmetingen: de fout in de stroomsnelheden is voor het grootste deel van de tijdserie beperkt tot 0,2 m/s en er is geen faseverschil. Wel is er, net als in het detailmodel Platen van Ossenis, sprake van een onderschatting van de vloodsnelheden met 0,4 m/s. De overeenkomst tussen hydrodynamische modelresultaten en metingen in het Delft3D

detailmodel van Hulst van dezelfde kwaliteit zijn als die in het detailmodel van de Platen van Ossenissee. Wederom is de onderschatting van de maximale stroomsnelheden gedurende vloed de belangrijkste oorzaak van verschillen tussen metingen en model. Wel moet hierbij opgemerkt worden dat de meetlocaties, op locatie Middelgat 3 na, allemaal in een geul liggen. Hierdoor was het niet mogelijk om de kwaliteit van het model op een ondiep gebied als de Slikken van Hulst te valideren. De fout in de modelresultaten voor het projectgebied kan dus groter uitvallen.

Als voorbeeld worden in de onderstaande figuur gemeten en berekende snelheden op locatie MP12 vergeleken.



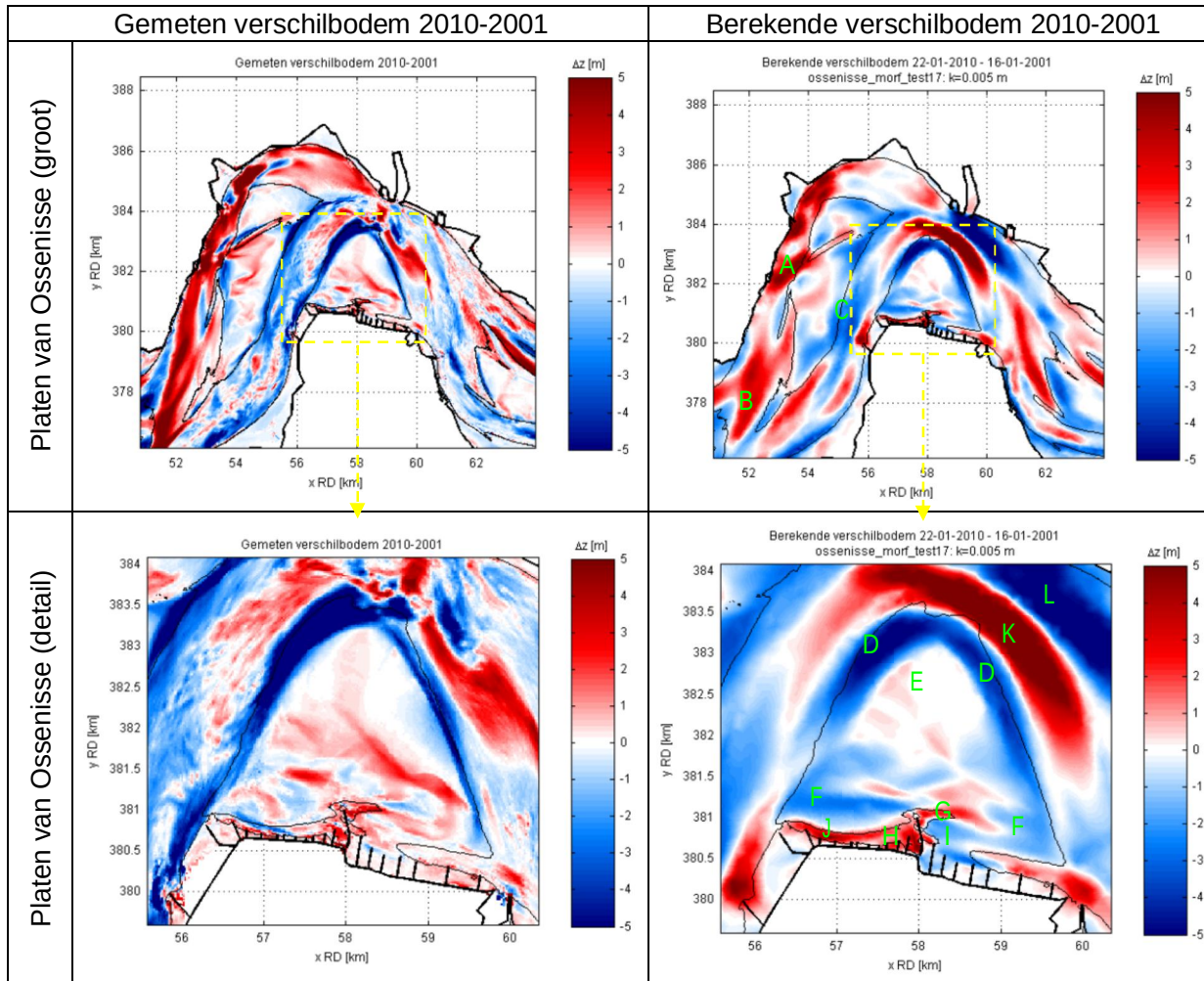
Figuur 3.3 Gemeten met Delt3D en gemodelleerde waterstand (boven) voor locatie Hansweert en stroomsnelheid (midden) en stroomrichting (onder) voor locatie MP12 in het model voor de Platen van Ossenissee.

3.4 Morfologische validatie

In onderstaande paragrafen beschrijven we de morfologische validatie van de FINEL en Delft3D modellen van drie deelgebieden. Een uitgebreidere beschrijving is terug te vinden in Bijlage A, B en C. Vanwege het stopzetten van het onderzoek naar de locatie Appenzak is door Arcadis geen morfologische validatie van het Delft3D model voor de locatie Appenzak uitgevoerd. Verder bleek het niet mogelijk om met het Delft3D model van de Slikken van Hulst morfologische berekeningen mee te doen (zie Bijlage B). De onderlinge vergelijking van beide modelsystemen zal zich dus richten op de locatie Platen van Ossenissee.

3.4.1 Platen van Ossenissee (FINEL)

De morfologische validatie bestaat uit het simuleren van de bodemontwikkeling in de periode 2000-2010. De ontwikkelingen in het jaar 2000 moeten gezien worden als het morfologisch inspelen van het model. De berekende en gemeten morfologische ontwikkelingen worden dan ook ten opzichte van bodem van begin 2001 beschouwd.



Figuur 3.4 Gemeten en berekende verschilbodems 2010-2001 Platen van Ossenisse

De sedimentatie-erosiepatronen in Figuur 3.4 illustreren dat de waargenomen trend van aanzanding van het Middelgat (A) en de Pas van Baarland (B), en de verdieping van de Overloop van Hansweert (C) goed door het model worden gesimuleerd. Ten noordoosten van de Platen van Ossenisse voorspelt het model aanzanding (K) en direct ten noordoosten daar weer van – langs de oever tussen Hansweert en Kruiningen – erosie (L). Dit patroon, dat niet in de gemeten bodemontwikkeling terug te zien is, treedt in een 2D model op rond elk gebied met een diepe turbulentietrog. In een 2D model leidt een verdieping tot stroomvertraging en als gevolg daarvan aanzanding. De hydrodynamica in dergelijk diepe putten kenmerkt zich in werkelijkheid echter door driedimensionale stromingen met verticale versnellingen en vertragingen die in staat zijn een dergelijk diepe put te creëren en in stand te houden. Dergelijke verticale versnellingen en vertragingen ontbreken in een tweedimensionaal model waardoor de diepe put niet in stand gehouden kan worden, maar opvult.

De gesimuleerde mate van erosie van de randen van de Platen van Ossenisse (D) komt het best overeen met de gemeten bodemontwikkeling als een morfologische ruwheid van 0,005

m wordt gebruikt. De waargenomen, licht aanzandende trend van met name het noordelijke gedeelte van de Platen van Ossensisse (E) wordt in de simulaties slechts in beperkte mate gereproduceerd. Zowel de zuidwestelijke punt als de zuidoostelijke punt van de Platen van Ossensisse vertonen in het model erosie, terwijl de metingen een gemengd patroon laten zien waarbij ook aanzanding optreedt (F).

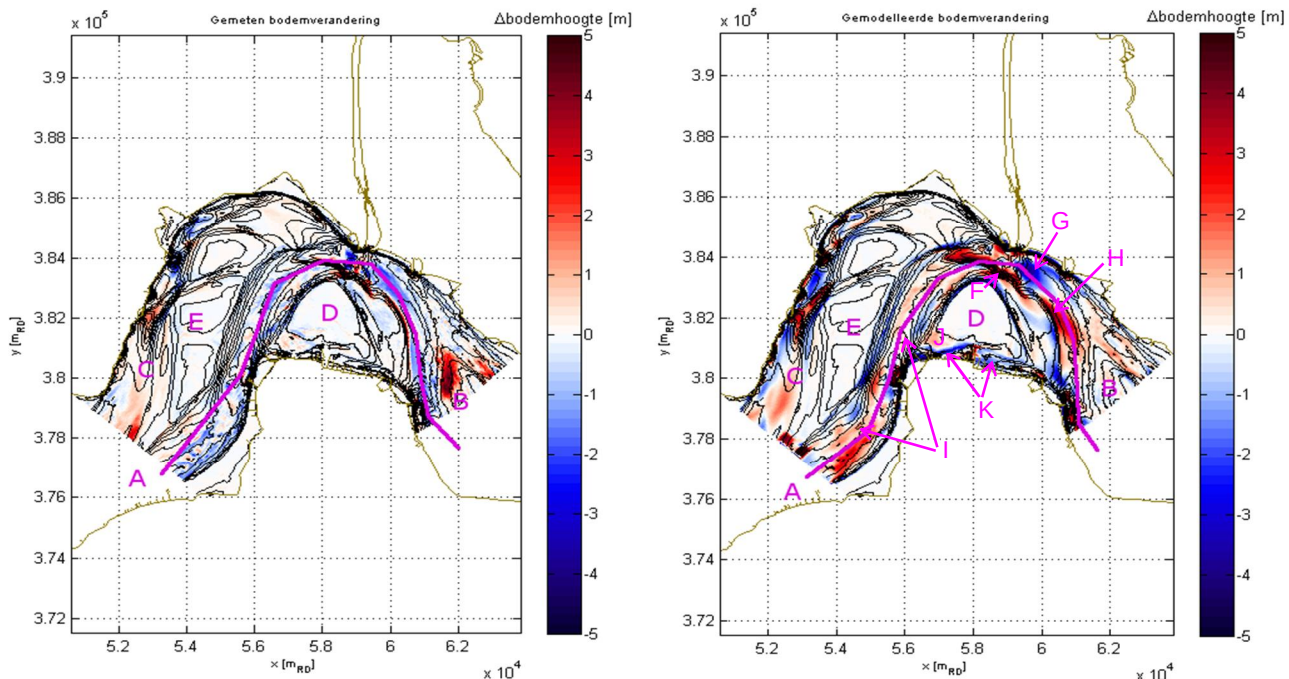
De gemeten bodemontwikkeling rondom de strekdam wordt door het model gereproduceerd. De opvulling van het geultje in de plaat (G) en de aanzanding ten westen van de strekdam (H) zijn zichtbaar in het modelresultaat. Ten oosten van de strekdam berekent het model erosie, terwijl de meting met name aanzanding toont (I). Ook afwijkend is de berekende sterke aanzanding in het westelijk deel van de Schaar van Ossensisse, terwijl de meting een verdieping laat zien (J).

Hoewel de gemeten grootschalige morfologische processen redelijk tot goed door het model gereproduceerd worden, is de modelvalidatie voor de meer lokale ontwikkelingen in de Schaar van Ossensisse minder goed. Mogelijk speelt ook hier mee dat driedimensionale effecten niet in het 2D worden meegenomen. Bij de voorspelling van het effect van de maatregel moet met name rekening gehouden worden met het overschatten van erosie van de plaat (F) en dus met een waarschijnlijke overschatting van het verlies van plaatareaal.

3.4.2 Platen van Ossensisse (Delft3D)

De verandering in de bodemligging zoals deze gemeten is in de periode 2010-2011 samen met de veranderingen zoals deze volgen uit het morfologisch model zijn weergegeven in Figuur 3.5. Ten noorden en oosten van de Platen van Ossensisse komen de berekende morfologische veranderingen over het algemeen goed overeen met de gemeten veranderingen. De sterke aanzanding ten noorden van de Plaat (F), de erosie ten oosten daarvan (G) en de aanzanding ten oosten van de hoofdgeul (H) worden door het model gereproduceerd. De gemeten aanzanding op de noordoostkant van de Plaat van Walsoorden (B) wordt niet gereproduceerd. De gemeten aanzanding is het directe gevolg van de plaatrandstoring die in het kader van de compensatie voor de 3^e verdieping wordt uitgevoerd. De storing is niet in het model opgenomen en is dus niet in het modelresultaat te zien.

Ten westen van de Platen van Ossensisse is de overeenstemming tussen gemeten en gemodelleerde morfologische verandering wisselend. De Rug van Baarland en de Molenplaat zijn op deze tijdschaal morfologisch stabiel (E). In het Middelgat (C) worden zowel locaties met erosie als locaties met aanzanding gemeten, hetgeen ook in het model gebeurt. De locaties en de grootte van de verandering komen niet exact overeen, maar het patroon is redelijk vergelijkbaar. De grootste afwijking treedt op in de hoofdgeul ten westen van de Platen van Ossensisse. De gemeten ontwikkeling is klein en over het algemeen licht eroderend. De gemodelleerde ontwikkeling is ook klein, maar tegengesteld: licht aanzandend. De Platen van Ossensisse is zowel gemeten als gemodelleerd morfologisch stabiel (D) binnen de beschouwde periode van 1 jaar. Het model berekent echter een aanzienlijk grotere morfologische activiteit in de Schaar van Ossensisse dan is gemeten. Daar waar alleen aan de zuidwestelijke rand van de Platen van Ossensisse enige aanzanding wordt gemeten, die ook door het model wordt aangegeven (J), laat het model daarnaast een aanzienlijke erosie van 1-2 meter zien (K) die niet overeenstemt met de meting.



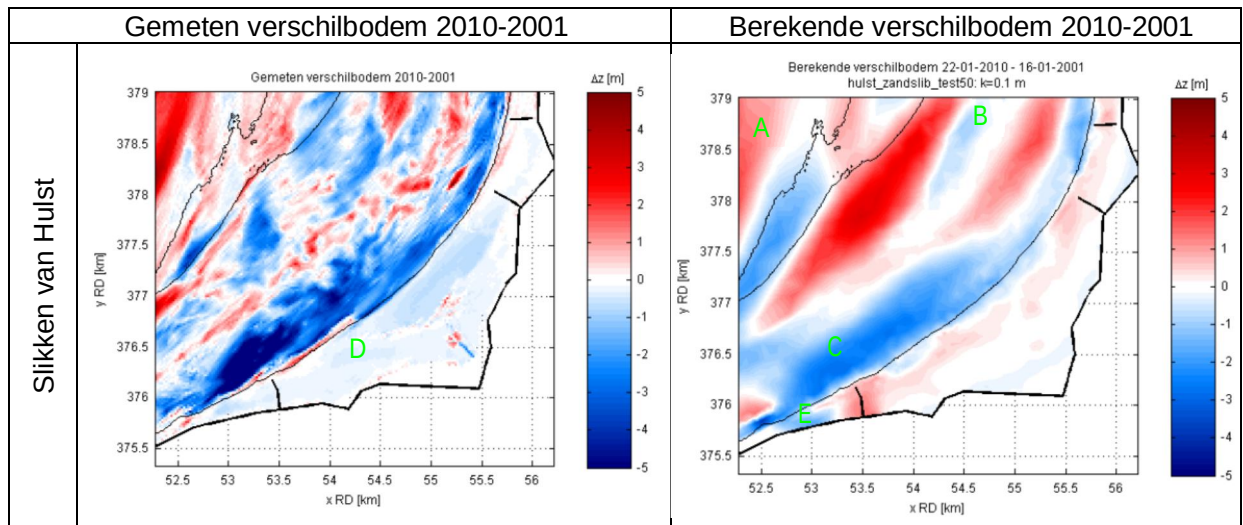
Figuur 3.5 Gemeten (links) en gemodelleerde (rechts) verandering in de bodemligging in tussen de jaren 2010-2011 voor de Platen van Ossensisse

De verschillen ten zuiden van de Platen van Ossensisse worden veroorzaakt door modelbeperkingen. In het model wordt namelijk alleen de blokkerende werking van dammen op de stroming meegenomen en niet de blokkerende werking van de dammen op de sedimenttransporten. Wel blijkt dat de effecten van de baggerwerkzaamheden op de morfologie niet verwaarloosbaar zijn, en dus meegenomen zullen moeten worden in het model. Ook blijkt de gebruikte parametrisatie van de dammen niet te voldoen voor morfologische berekeningen. Daarom zal in het vervolg voor de morfologische berekeningen zowel sedimenttransporten als stromingen over de dammen worden uitgeschakeld.

3.4.3 Morfologische validatie Slikken van Hulst (FINEL)

Het morfologisch model voor de Slikken van Hulst maakt naast de zandige morfologie gebruik van zand-slibinteractie en van het effect van golven. Bij een hoog slibpercentage wordt de bodem cohesief, hetgeen een slechtere erodeerbaarheid inhoudt. De Slikken van Hulst zijn daarnaast blootgesteld aan golven uit westelijke en noordelijke richtingen. Golven verhogen de bodemschuifspanning waardoor mogelijk de gemodelleerde aanzandende trend van de slikken omgekeerd kan worden in de waargenomen licht eroderende trend.

Een andere belangrijke aanpassing aan het model betreft de ruwheid van de geulwandverdediging die voor de Slikken van Hulst langs het Gat van Ossensisse ligt. Deze verdediging bestaat uit een steenbestorting met relatief grote blokken die de hoge stroomsnelheden in de geul kunnen weerstaan. De verdediging kan dan ook gezien worden als een ruw element, ruwer dan de uniform toegepaste hydraulische ruwheid van 0,01 m. Gevoeligheidsberekeningen hebben aangetoond dat de hydraulische ruwheid van de geulwandverdediging zeer bepalend is voor de ontwikkeling (van delen) van het slik. De morfologische kalibratie van het model voor de Slikken van Hulst bestaat dan ook uit een afregeling van deze parameter.



Figuur 3.6 Gemeten en berekende verschilbodems 2010-2001 Slikken van Hulst

Figuur 3.6 toont dat een aantal waargenomen grootschalige bodemveranderingen redelijk gereproduceerd wordt door het model, namelijk het aanzanden van het Middelgat (A), het uitdiepen van de Overloop van Hansweert (B) en het verdiepen van het Gat van Ossenissee (C) voor de Slikken van Hulst.

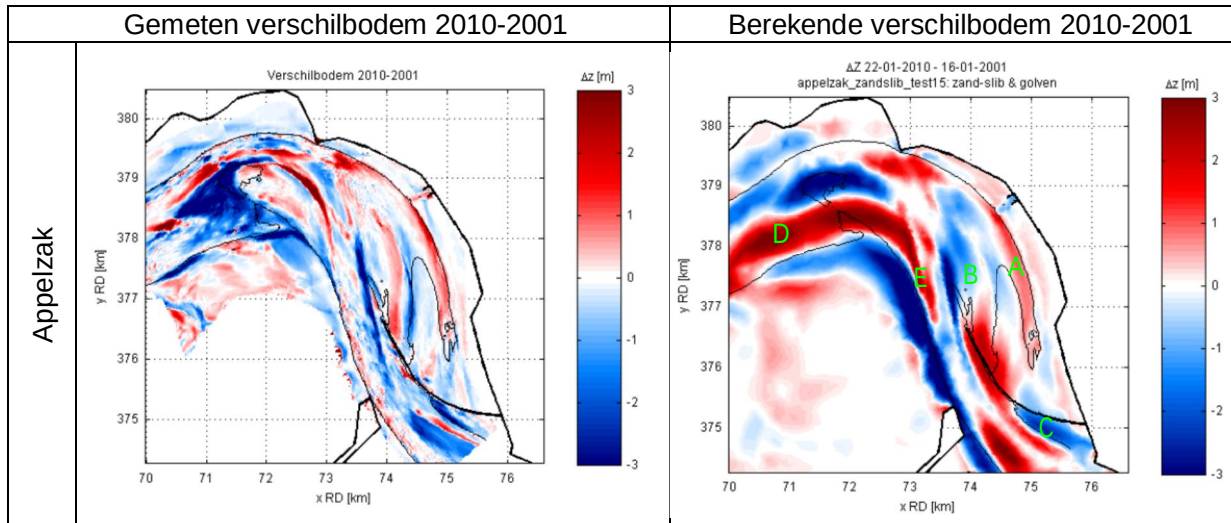
De waargenomen eroderende trend van de slikken (D) wordt door het model alleen in het meest zuidelijke gedeelte van de slikken voorspeld (E). Kalibratie door toevoeging van het golfklimaat en de ruwheid van de geulwandverdediging geeft het beste modelresultaat, hoewel de lichte erosie over de hele slikken niet door het model wordt gereproduceerd. Een nadere analyse toont aan dat het slik (licht) erodeert ten tijde van hogere golven en aanzandt tijdens kalmere condities. Dit kan er wellicht op duiden dat in het model te weinig rekening gehouden wordt met het optreden van hogere golven. Het ontbreekt echter aan lokale gemeten golfcondities om dit verder te onderzoeken.

De conclusie van de morfologische kalibratie voor de Slikken van Hulst is dat zonder aanvullende gegevens, met name stroommetingen en golfmetingen op de slikken, geen verbetering van de morfologische kalibratie kan worden bereikt. Hiervoor is een onderzoek naar de oorzaak van de verschillen in gemeten en berekende bodemontwikkelingen nodig, beginnend met een vergelijking tussen gemeten en berekende stroomsnelheden op de slikken. Eventuele verschillen tussen metingen en berekeningen geven aanwijzingen over de mogelijke tekortkomingen van het model. Pas dan kunnen gericht verbeteringen in het model worden aangebracht.

In de interpretatie van de resultaten dient rekening gehouden te worden met het feit dat het model in absolute zin niet goed in staat is de ontwikkelingen van de Slikken van Hulst te reproduceren. Eén van de manieren is om de berekende effecten van de maatregelen te beschouwen ten opzichte van de berekende autonome ontwikkeling. Op deze wijze worden de relatieve effecten van de maatregelen in beeld gebracht, dat wil zeggen het verschil tussen het al dan niet uitvoeren van de maatregelen.

3.4.4 Appelzak (FINEL)

Net als voor de Slikken van Hulst is de zandige berekening uitgebreid met zand-slibinteractie en golven.



Figuur 3.7 Gemeten en berekende verschilbodems 2010-2001 Appelzak

Figuur 3.7 toont dat bepaalde delen van het waargenomen patroon van verschuivende nevengeulen redelijk worden gereproduceerd, maar dat er ook vrij grote verschillen zitten tussen waarneming en voorspelling. De aanzanding van de oostelijke nevengeul (A) wordt in de berekening gereproduceerd. De westelijke nevengeul migreert zowel in de metingen als in het model iets naar het oosten (B).

Ook de waargenomen erosie ten zuiden van de leidam (C) wordt voor een deel door het model gereproduceerd. Ook op een grotere schaal zijn de berekende patronen (deels) herkenbaar vanuit de metingen. Op sommige punten wijkt het model echter af van de waarnemingen: de Schaar van de Noord (D) en de Pas van Rilland (E) zanden in het model aan terwijl de waarnemingen dit niet laten zien.

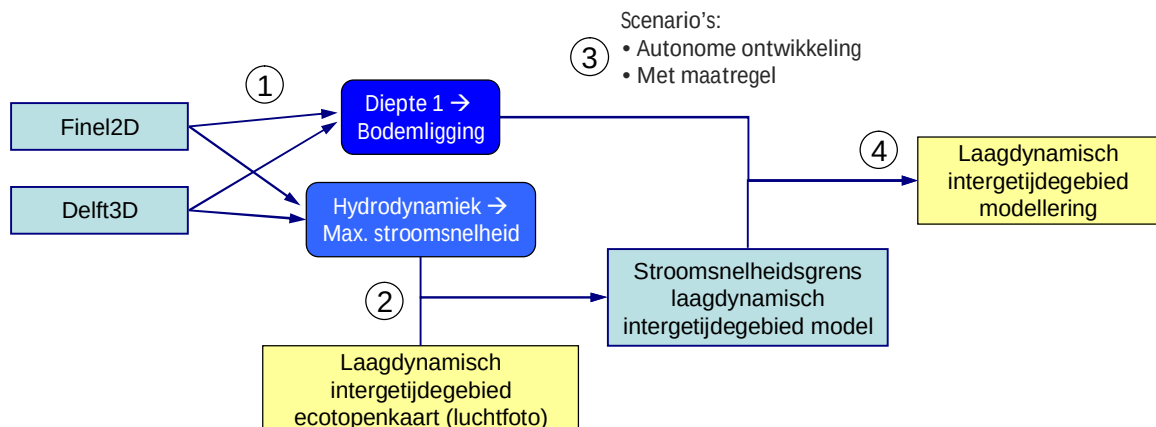
De voorgestelde maatregel in dit gebied bestaat uit het opvullen van de oostelijke nevengeul. Voor een juiste voorspelling van de ontwikkeling van deze opvulling is het van belang dat het model in staat is de morfologische ontwikkelingen in dit deel van het gebied goed te voorspellen. De validatieberekeningen hebben laten zien dat het model de aanslibbing van de geul goed weergeeft. Een ander belangrijk criterium voor het succes van de maatregel is de instandhouding van de westelijke nevengeul. Het model laat dit migratiegedrag niet geheel maar wel in zekere mate zien.

Vele veranderingen aan de modelinstellingen hebben de kalibratie niet verder verbeterd. Ook voor dit gebied geldt dat het aan meetgegevens ontbreekt om een verdere afregeling van het model uit te voeren. Het model en de instellingen zoals besproken in deze paragraaf worden voldoende goed geacht om ingezet te worden bij het doorrekenen van de maatregelen.

3.5 Bepaling stroomsnelheidsgrens voor bepaling laagdynamisch intergetijdengebied

In vier stappen wordt het areaal laagdynamisch intergetijdengebied op basis van modelinformatie bepaald (Figuur 3.8):

- 1 De gevalideerde modellen leveren (model)uitvoer voor maximale stroomsnelheid. Voor de bodemligging wordt voor deze bepaling gebruik gemaakt van de gemeten waarden.
- 2 Een stroomsnelheidsgrens wordt bepaald waarmee de meest optimale vertaling van maximale stroomsnelheid naar laagdynamisch intergetijdengebied volgens de ecotopenkaarten die gebaseerd is op luchtfoto's, wordt gerealiseerd.
- 3 Met de gevalideerde modellen worden scenario's berekend.
- 4 De berekende bodemligging en de maximale stroomsnelheid met inachtneming van de stroomsnelheidsgrens worden vertaald naar areaal laagdynamisch intergetijdengebied



Figuur 3.8 Schematisch overzicht van stappen die leiden tot bepaling van het verwachte toekomstige areaal laagdynamisch intergetijdengebied

Zoals in [Figuur 1.3](#) van het vereenvoudigde ecotopenstelsel is aangegeven, zijn diepte en hydrodynamiek (dat wil zeggen stroomsnelheid) de belangrijkste abiotische kenmerken die met de in de vorige paragrafen beschreven modellen berekend (kunnen) worden. De diepte is rechtstreeks te vertalen naar intergetijdengebied. De vertaling van stroomsnelheid naar laag- of hoogdynamisch verloopt niet rechtstreeks.

Voor de ecotopenkaarten (paragraaf 2.6) worden de ecotopen in het intergetijdengebied vastgesteld aan de hand van luchtfotografie door – aan de hand van megaribbels en andere structuren – af te lezen welke delen hoogdynamisch en welke delen laagdynamisch zijn. Voor een toekomstvoorspelling is het gebruik van luchtfotografie niet mogelijk. Het is daarom noodzakelijk om stroomsnelheidsinformatie uit modellen om te zetten naar hoog- en laagdynamisch. De vraag is wat de stroomsnelheidsgrens tussen beide ecotopen is. Dit is onderzocht via een optimalisatie.

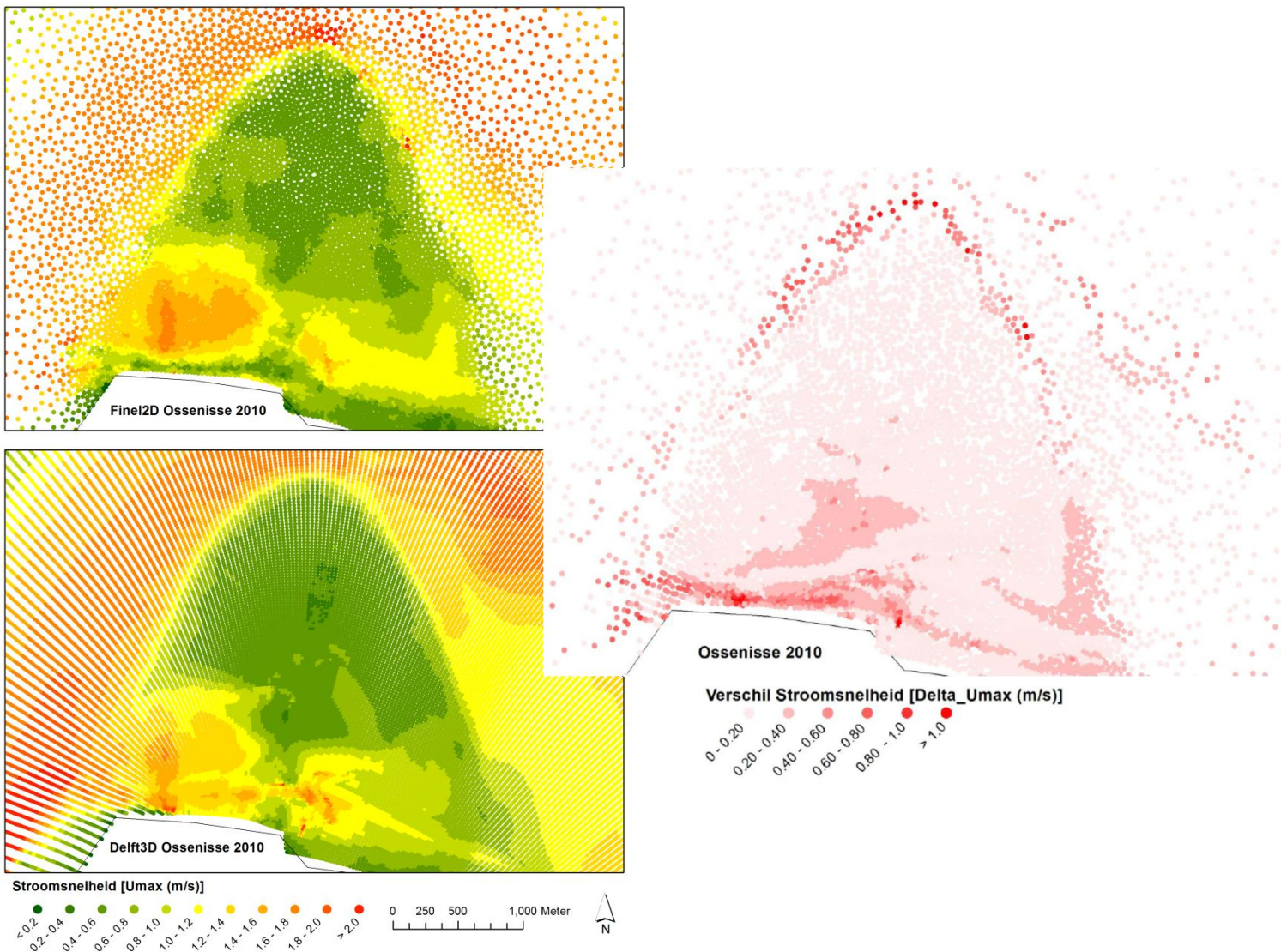
Als eerste worden daartoe de stroomsnelheden zoals berekend door beide modellen vergeleken. Door Svašek en ARCADIS zijn berekeningen van de hydrodynamica gemaakt voor de Platen van Ossensisse en de Slikken van Hulst. Svašek heeft haar berekeningen uitgevoerd met behulp van FINEL2D en ARCADIS heeft voor deze berekeningen Delft3D gebruikt. Beide modellen gebruiken de gemeten bodemhoogte Westerschelde 2010 en een gelijke rekenperiode (1-15 januari 2010). Op basis van de resultaten van de twee modellen is een verschilkaart van de maximale stroomsnelheid gemaakt (ΔU_{max}).

Platen van Ossensisse

In [Figuur 3.9](#) zijn de resultaten van de simulaties van de maximale stroomsnelheid bij de Platen van Ossensisse weergegeven. Op de plaat wordt door beide modellen een stroomsnelheid berekend van circa 0,4 m/s in het midden van de plaat tot ca. 0,8-1,0 m/s

aan de randen. In de geulen rondom de plaat worden door beide modellen stroomsnelheden tot meer dan 2.0 m/s gesimuleerd.

In de zuidwestelijke hoek en in de geul ten zuiden van de plaat worden door beide modellen verschillen in maximale stroomsnelheid gesimuleerd. Ook de verschilkaart van Ossenissee toont dat ΔU_{max} het grootst is in de onderlangse geul ten zuiden van de Platen van Ossenissee. Lokaal lopen de verschillen hier op tot meer dan 1,0 m/s. Verder blijkt uit Figuur 3.9 dat de verschillen in resultaten op de plaat oplopen tot maximaal 0,4 m/s. In de noordelijke punt van de plaat lopen de verschillen aan de rand op tot meer 1 m/s.



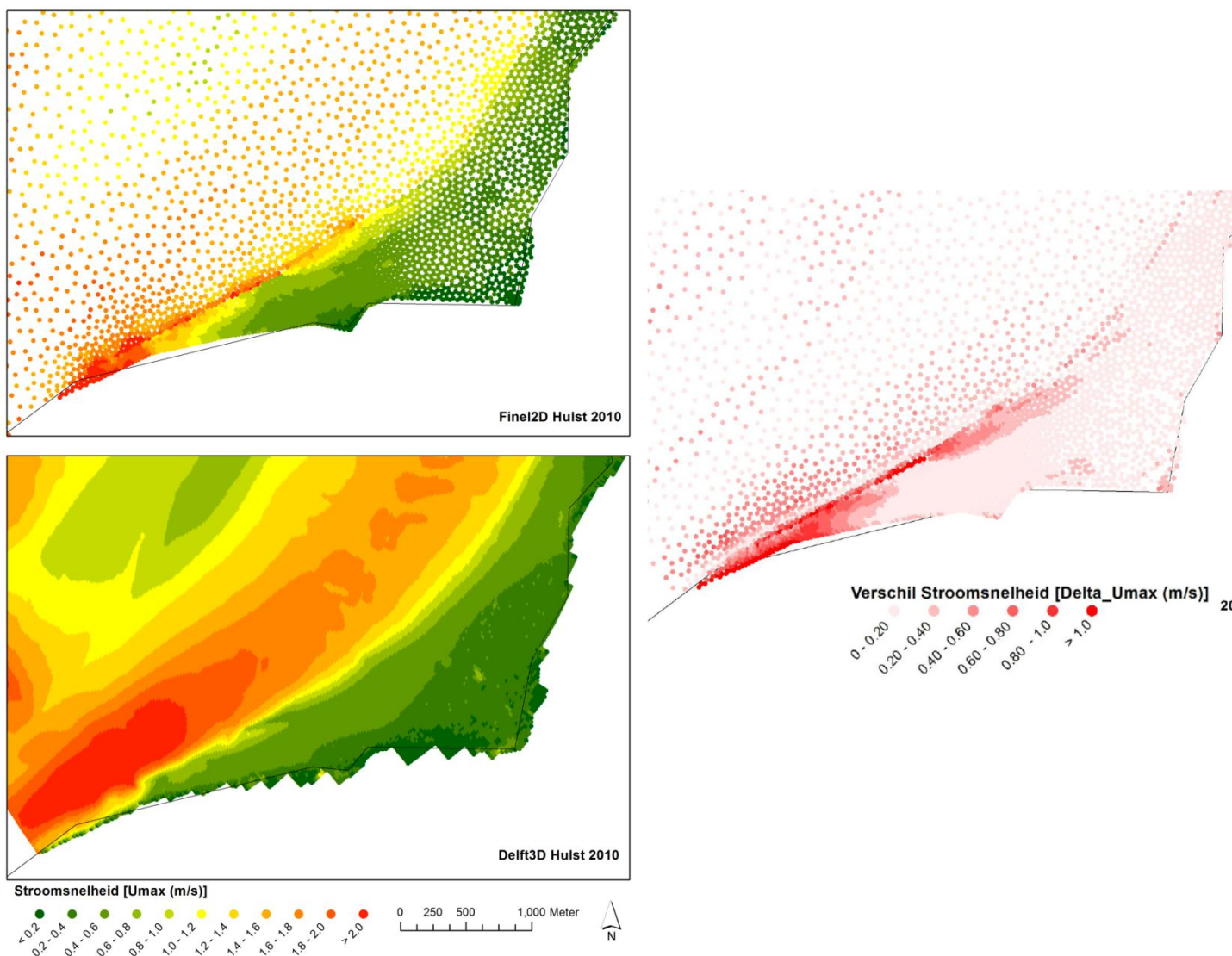
Figuur 3.9 Maximale stroomsnelheid (m/s) nabij de Platen van Ossenissee berekend met FINEL2D (boven) en DELFT3D (onder) en Verschil in Umax tussen FINEL2D en DELFT3D (rechts)

Slikken van Hulst

Figuur 3.10 toont de resultaten van de modelsimulaties nabij de Slikken van Hulst. Voor beide modellen geldt dat er lage maximale stroomsnelheden worden gevonden in de ondiepe delen rondom en op de platen en slikken (0-0,4 m/s). In de geulen worden door beide modellen een hoge stroomsnelheden gegenereerd tot meer dan 2 m/s.

Nabij de randen van de platen valt op dat de modellen minder in overeenstemming zijn. In het bijzonder in de punt in het uiterste zuidwesten van de Slikken van Hulst (linksonder in [Figuur 3.10](#)) worden door Finel2D hogere stroomsnelheden gegenereerd dan het Delft3D model. Daarnaast valt op dat het Finel2D-model een hogere stroomsnelheid toekent aan de rekencellen langs de plaat. Deze lijn loopt vanuit de zuidwestelijke punt tot circa halverwege de Slikken van Hulst.

Bij beschouwing van de absolute verschillen in stroomsnelheid van beide modellen ([Figuur 3.10 rechts](#)) worden de verschillen aan de randen en in de zuidwestelijke hoek plaat van de duidelijk zichtbaar. De verschillen lopen uiteen van circa 0,4 m/s tot meer dan 1,0 m/s.



Figuur 3.10 Maximale stroomsnelheid (m/s) nabij de Slikken van Hulst berekend met FINEL2D (boven) en DELFT3D (onder) en Verschil in Umax tussen FINEL2D en DELFT3D (rechts)

Vertaling van stroomsnelheid naar hoog- en laagdynamisch

In de optimalisatie is voor ieder punt is gekeken wat het ecotoop onder dat punt is op basis van luchtfotografie (ecotopenkaart 2010), en wat het ecotoop is wanneer een bepaalde stroomsnelheidsgrens als grenswaarde zou worden gehanteerd. Vervolgens is gekeken voor

hoeveel punten het ecotoop op basis van de ecotopenkaart niet overeenkomt met het ecotoop op basis van de stroomsnelheid. Op basis van het totaal aantal punten is het percentage fout (fout in de zin dat het bepalen van het ecotoop met de twee technieken niet overeenkomt) bepaald. Dit is uitgevoerd voor een reeks stroomsnelheden, waarna de stroomsnelheid met het laagste aantal fouten als optimale grens is geselecteerd.

In onderstaande tabel staan de resultaten van de optimalisatie voor de Platen van Ossensisse samengevat. De tabel laat zien dat de FINEL resultaten door de jaren heen en over het gebied heen geen grote verschillen vertonen. Het percentage fouten ligt tussen de 12% en 18%. Een stroomsnelheid van 0,67 m/s weerspiegelt de gemiddelde gevonden grens. Voor DELFT3D wordt de snelheid in de selectie aangehouden, omdat het detailmodel wel een heel groot gebied beslaat. De gehanteerde grens is dan 0,51 m/s.

Tabel 3.1 Overzicht geoptimaliseerde grenzen voor stroomsnelheid Platen van Ossensisse

	2001	2004	2008	2010
FINEL	0,66 m/s (16%)	0,69 m/s (12%)	0,69 m/s (17%)	0,63 m/s (15%)
DELFT3D	-	-	-	0,51 m/s (18%)

De resultaten van de vier FINEL runs en de DELFT3D run voor de Slikken van Hulst zijn samengevat in [Tabel 3.2](#). De stroomsnelheid welke het beste onderscheid geeft tussen de ecotopen verschilt van jaar tot jaar. Voor de analyse van het effect op ecotopenareaal is daarom voor het gebruiken van de grens van 2010 gekozen. Dit betekent dat de gehanteerde grens tussen hoogdynamisch en laagdynamisch 0,62 m/s bedraagt.

Tabel 3.2 Overzicht geoptimaliseerde grenzen voor stroomsnelheid Slikken van Hulst

	2001	2004	2008	2010
FINEL	0,56 m/s (27%)	1,62 m/s (6%)	1,84 m/s (11%)	0,62 m/s (7%)
DELFT3D	-	-	-	0,53 m/s (10%)

Voor Appelzak is de vergelijking niet uitgevoerd, omdat het onderzoek voor deze locatie tussentijds is gestopt.

3.6 Vergelijking en conclusie toepasbaarheid

Voor de Platen van Ossensisse en de Slikken van Hulst zijn met twee modelsystemen – FINEL2D en Delft3D – detail modellen opgezet om de waterbeweging en de morfologische ontwikkeling te kunnen voorspellen. Door met twee modelsystemen dezelfde situatie te berekenen, is de onzekerheidsmarge beter te onderbouwen. Voor Appelzak is alleen een FINEL2D model opgezet. Vanwege het tussentijds stopzetten van het onderzoek op locatie Appelzak is geen Delft3D model opgezet.

De hydrodynamische validatie van de modellen was succesvol. Vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde waterstanden is goed en ook de overeenkomst tussen gemeten en gemodelleerde stroomsnelheden is voldoende. Bij de stroomsnelheden moet wel bedacht worden dat voor dit onderzoek de stroomsnelheden in het intergetijdengebied van belang zijn (zie [1.4](#) en de vorige paragraaf [3.5](#)). Voor de Slikken van Hulst en de Appelzak zijn de meeste metingen in diep(er) water gedaan, waardoor validatie van de modellen in het intergetijdengebied niet mogelijk is. De validatie voor de Platen van Ossensisse heeft echter voor het eerst laten zien dat FINEL2D en Delft3D de stroomsnelheid in het intergetijdengebied goed reproduceren, met uitzondering van het giertij dat ten oosten van de

Plaat voorkomt. Ondanks de beperkte validatie in het intergetijdengebied, geeft de validatie vertrouwen in de bruikbaarheid van de modellen.

Vervolgens hebben we de modellen morfologische gevalideerd. Helaas bleek het Delft3D morfologisch model voor de Slikken van Hulst onbruikbaar vanwege zeer grote afwijkingen tussen gemeten en gemodelleerde veranderingen. De onderlinge modelvergelijking richt zich dus alleen op de Platen van Ossensisse.

De vergelijking tussen het FINEL2D model en het Delft3D model voor de Platen van Ossensisse geeft aan dat de gemeten grootschalige morfologische ontwikkeling in beide modellen redelijk wordt gereproduceerd. Echter, de morfologische ontwikkeling in de Schaar van Ossensisse en rondom de strekdam – dat wil zeggen de locatie van de beoogde maatregel – wordt door beide modellen verschillend voorspeld. FINEL2D berekent aanzanding van het grootste deel van de Schaar, terwijl Delft3D erosie berekent. FINEL2D berekent erosie van de zuidwestelijke punt van de Platen van Ossensisse, terwijl Delft3D aanzanding berekent.

Voor de Slikken van Hulst berekent het FINEL2D model een licht aanzandende trend, terwijl de metingen een licht eroderende trend laten zien. Voor de Appelzak reproduceert het FINEL2D model goed de gemeten migratie van de westelijke nevengeul en de aanzanding van de oostelijke nevengeul.

De overall conclusie voor de bruikbaarheid van de morfologische modellen voor de kwantitatieve voorspelling van het effect van de maatregelen is niet onverdeeld positief: de moderesultaten zijn maar in zeer beperkte mate kwantitatief betrouwbaar. Geconcludeerd moet worden dat de morfologische modellen nog niet goed in staat zijn om morfologische ontwikkelingen op een lokale schaal goed te reproduceren. Wel is de inschatting dat de modellen een bruikbaar hulpmiddel zijn om in relatieve (vergelijkende) en kwalitatieve zin uitspraken te doen over de morfologische ontwikkelingen.

Voor de bepaling van laagdynamisch en hoogdynamisch intergetijdengebied wordt gebruik gemaakt van de berekende maximale stroomsnelheid. Beide modellen laten daar toch ook vrij grote verschillen zien. De verschillen worden in de analyse deels verdisconteerd door een verschillende grens toe te passen op de modelresultaten. Voorzichtigheid bij de interpretatie is geboden, want een grote zekerheid kan niet gegeven worden aan de voorspelbaarheid.

De modellen leveren nuttige informatie aan, maar voor een harde kwantitatieve voorspelling zijn er te veel onzekerheden. In de uiteindelijke beoordeling van de verwachte effecten van de natuurherstelmaatregelen moet het deskundigenoordeel zwaarder wegen dan de door de modellen aangeleverde getallen.

4 Modelonderzoek van maatregelen

4.1 Aanpak

Met de modellen besproken in het vorige hoofdstuk worden in dit hoofdstuk de morfologische doorrekeningen van de natuurherstelmaatregelen gepresenteerd en bediscussieerd. De maatregelen zijn gedurende een periode van tien jaar doorgerekend (van 2011 tot 2021) met FINEL2D en gedurende een periode van twee jaar (van 2011 tot 2013) met Delft3D. Het eerste jaar van de morfologische berekeningen wordt gezien als een inspeeljaar. In de discussie van de morfologische ontwikkelingen worden dan ook de ontwikkelingen ten opzichte van 2012 beschouwd.

Ten opzichte van de modellen gepresenteerd in het vorige hoofdstuk zijn twee wijzigingen aangebracht. De beginsituatie is de gemeten bodem van 2011. Daarnaast is de bagger-, stort- en zandwinstrategie van 2011 gebruikt voor de gehele periode. Het is zeer onwaarschijnlijk dat in werkelijkheid het scenario tien jaar lang hetzelfde zal zijn, omdat het scenario door de beheerder elk kwartaal geëvalueerd en indien nodig of gewenst aangepast wordt. Desalniettemin ligt het het meest voor de hand om van de huidige strategie uit te gaan.

De ontwikkeling van de maatregel zelf en het effect van de ontwikkeling op de omliggende bodem is zowel in absolute zin als in relatieve zin beschouwd. Met absolute zin wordt bedoeld de daadwerkelijk uitgerekende bodemontwikkeling en met relatieve zin de ontwikkelingen ten opzichte van de autonome ontwikkeling, ofwel de ontwikkeling van de bodem zonder ingreep. De berekening van de autonome ontwikkeling is aangeduid als de T0-berekening. Naast de scenarioberekeningen is dus voor elk van de drie gebieden een T0-berekening uitgevoerd.

Het ontwerp van de maatregelen was een iteratieproces. Na het doorrekenen van het eerste ontwerp zijn de resultaten ervan in het projectteam besproken. Een aanpassing aan het eerste ontwerp is gemaakt indien deze niet of niet in voldoende mate het gewenste effect heeft. Dit tweede ontwerp is vervolgens doorgerekend etc.

In een nadere discussie worden de resultaten van de morfologische berekeningen gepresenteerd in de vorm van arealen intergetijdengebied, ondiep en diep gebied. Hiervoor zijn de volgende criteria voor de bodemligging gehanteerd:

- Intergetijden: $-2 \leq z < 3 \text{ m+NAP}$
- Ondiep: $-5 \leq z < -2 \text{ m+NAP}$
- Diep: $z < -5 \text{ m+NAP}$

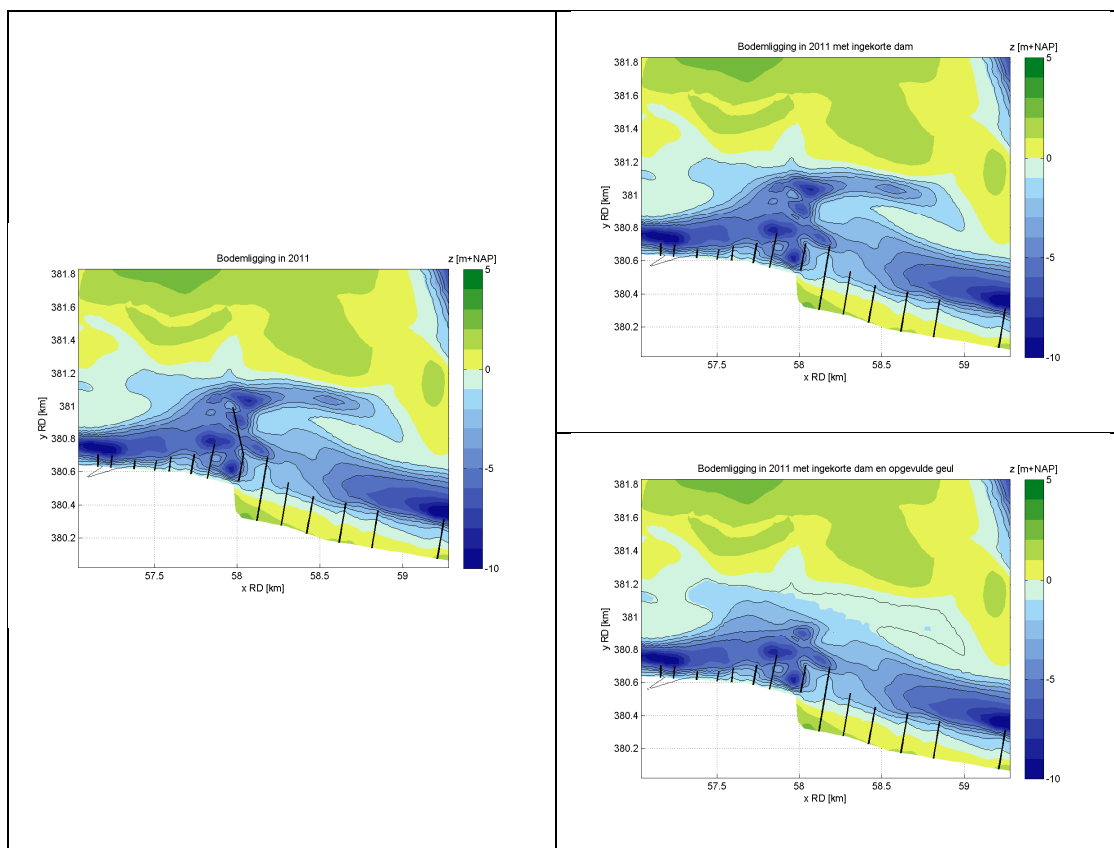
Tevens is met een contourlijn aangegeven waar de maximale stroomsnelheid, die optreedt in een doortij-springtijcyclus, gelijk is aan de kritische snelheid zoals afgeleid in paragraaf 3.5. Gebieden waar de snelheid groter is dan de kritische snelheid worden aangemerkt als hoogdynamisch en vice versa. Ter bepaling van de maximale stroomsnelheid in een doortij-springtijcyclus is op zowel de begin- als op de eindbodem een hydrodynamische berekening van 14 dagen uitgevoerd.

4.2 Locatie Platen van Ossensisse

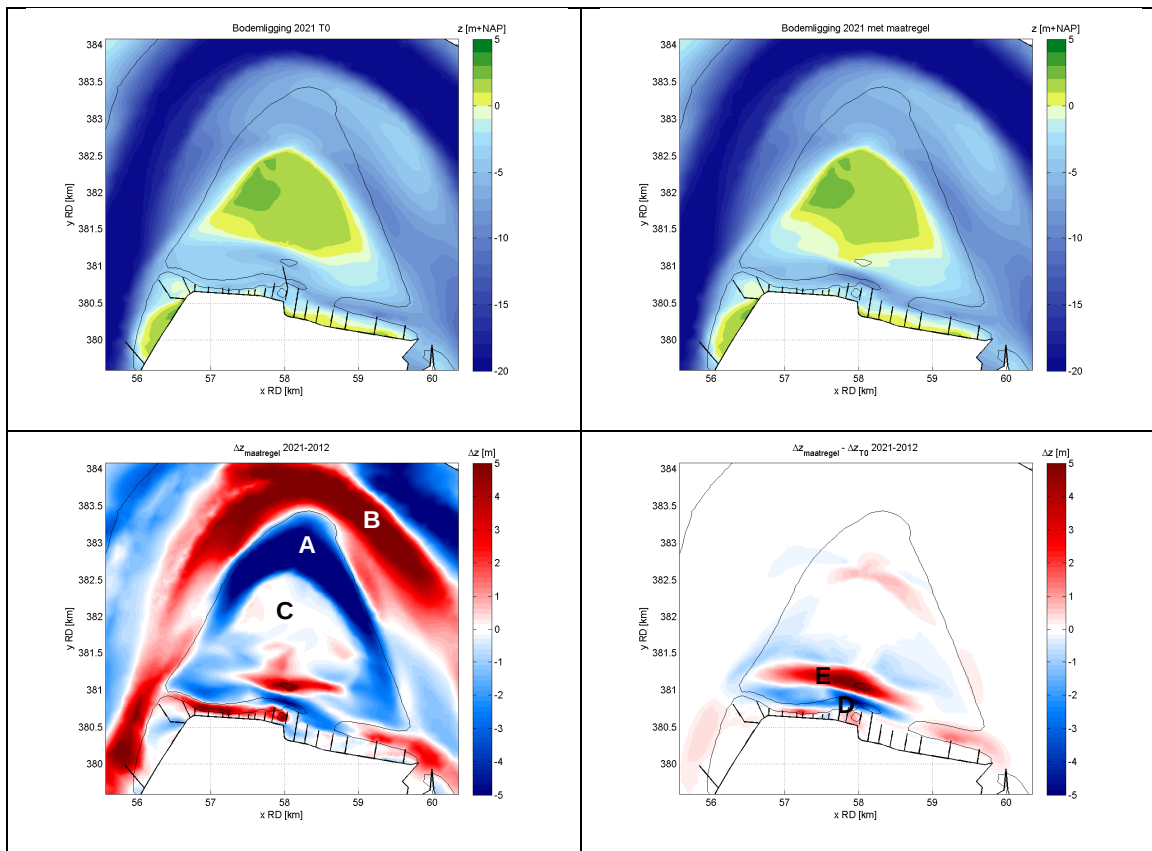
4.2.1 Basisberekening met Finel2D

De maatregel voor Ossensisse bestaat uit het inkorten van de lange dam die zich vanaf de vaste oever uitstrekt tot op de Platen van Ossensisse. Het doel waarvoor deze dam waarschijnlijk is aangelegd, is het blokkeren van de stroming door de Schaar van Ossensisse, waardoor verdere ondergraving van de vaste oever voorkomen diende te worden. Het idee achter de maatregel van het inkorten van de dam is dat de stroming een meer natuurlijk verloop krijgt en dat de geul rond de kop van de dam zich opvult waardoor er laagdynamisch intergetijdengebied ontstaat.

Naast de autonome ontwikkeling (T0) zijn twee varianten doorgerekend. In de eerste variant bestaat uit het inkorten van de lange dam met 300 m. In de tweede variant wordt de geul rond de voormalige kop van de dam kunstmatig opgevuld. Met het opvullen van de geul is een volume van 670.000 m³ gemoeid verspreid over een oppervlakte van 490.000 m². Figuur 4.1 geeft de beginsituatie voor T0 en voor de twee onderzocht varianten.



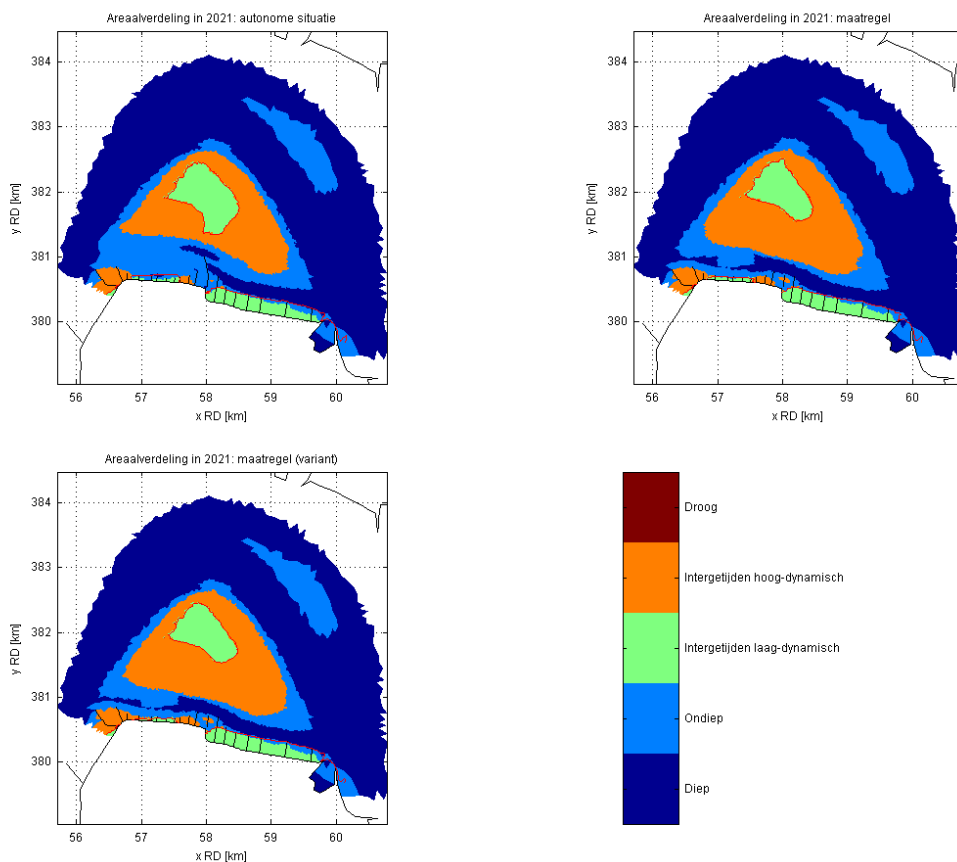
Figuur 4.1 T0 beginsituatie (links), beginsituatie met de ingekorte dam (rechtsboven) en beginsituatie met ingekorte dam en opgevuld geul (rechtsonder)



Figuur 4.2 Morfologische situatie na 10 jaar als gevolg van inkorten van de dam berekend met FINEL. Linksboven: Bodemligging 2021 bij autonome ontwikkeling. Rechtsboven: Bodemligging 2021 met ingreep. Linksonder: Verschilbodem 2021 ten opzichte van 2011 met ingreep. Rechtsonder: Effect van ingreep in 2021 als verschil ten opzichte van autonome ontwikkeling (leeswijzer: een positieve waarde (rode kleur) betekent dat als gevolg van de ingreep de bodemligging hoger is dan bij de autonome ontwikkeling het geval zou zijn geweest)

Een overzicht van de arealen diep, ondiep en intergetijdengebied in 2021 is in [Figuur 4.3](#) gegeven voor zowel de autonome situatie als het scenario met verkorte dam en de variant met opgevulde geul. De rode contourlijn omsluit het gebied waarbinnen de maximale stroomsnelheid die binnen een getij optreedt kleiner is dan 0,67 m/s.

De berekende ontwikkeling van de arealen in de tijd in de autonome situatie en in de twee onderzochte varianten is weergegeven in [Figuur 4.4](#). De autonome ontwikkeling van de Platen van Ossensisse kenmerkt zicht door een beperkte toename van het diepe areaal in de periode 2012-2016. Na 2016 stabiliseert de toename van het diepe areaal zich. Het verwijderen van de dam heeft volgens de modelberekening tot gevolg dat het diepe areaal 18 ha meer toeneemt dan in de autonome ontwikkeling. Het opvullen van de geul maakt na tien jaar geen significant verschil.

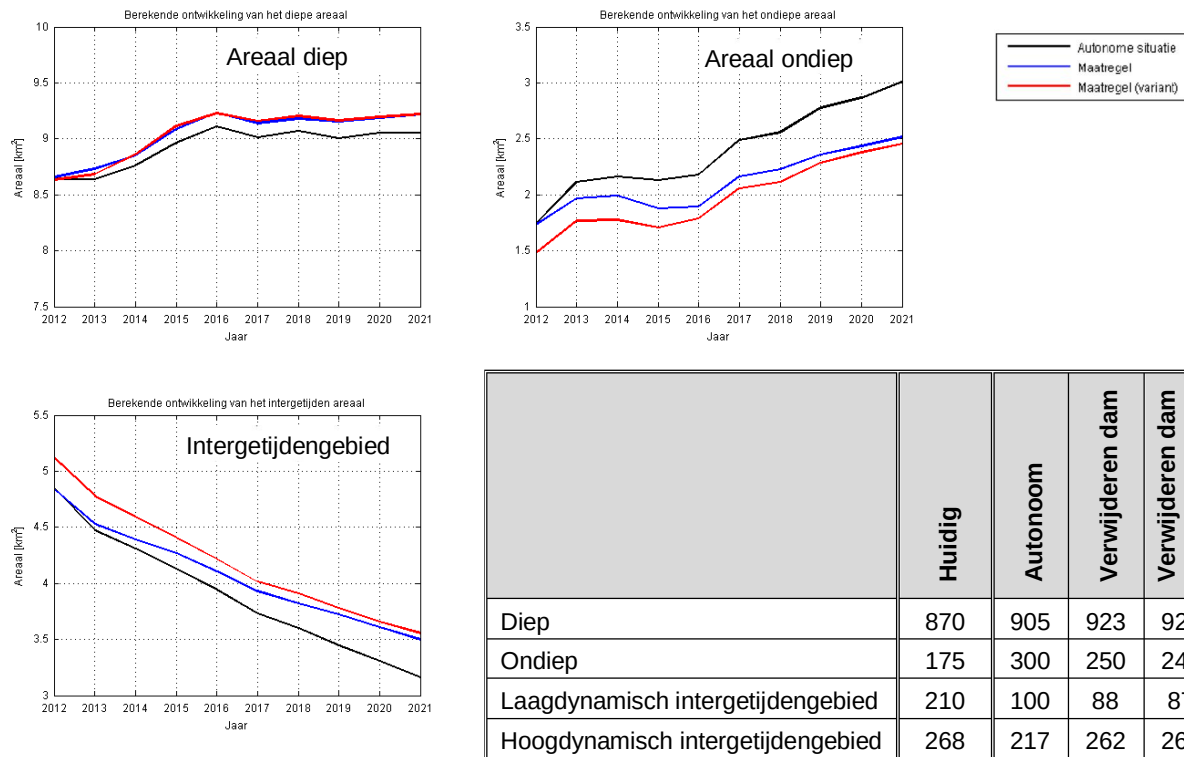


Figuur 4.3 Met FINEL berekende verdeling van de arealen diep, ondiep en intergetijdengebied in 2021 (10 jaar na verkorten dam) in de autonome situatie (linksboven), in de situatie met verkorte dam (rechtsboven) en in de situatie met verkorte dam en opgevulde geul (linksonder).

Na een toename in 2013 blijft in de autonome ontwikkeling het areaal ondiep tot 2016 constant om daarna tot 2021 gestaag toe te nemen. De toename van ofwel het diep areaal ofwel het ondiep areaal gaat ten koste van het areaal intergetijdengebied. Het areaal intergetijdengebied vertoont in de berekening gedurende de gehele beschouwde periode een afnemende trend.

Het opvullen van de geul heeft als gevolg dat na aanleg – in de figuur in 2012 – het areaal intergetijdengebied door omzetting van ondiep areaal ongeveer 30 ha (0,3 km²) groter is dan in de scenarioberekening zonder opvullen van de geul. In de loop van tien jaar echter naderen het ondiepe areaal en het intergetijdenareaal in de scenarioberekening met verkorte dam die van de scenarioberekening met verkorte dam en opgevulde geul. Het intergetijdengebied is 33 ha tot 38 ha minder afgenomen door het verwijderen van de dam. Echter, ten opzichte van de huidige situatie is nog steeds circa 150 ha intergetijdengebied op de Platen van Ossensisse omgezet in diep en voornamelijk ondiep areaal.

De tabel in **Figuur 4.4** laat zien dat vooral het areaal laagdynamisch intergetijdengebied verloren gaat. Als gevolg van het verwijderen van de dam neemt het laagdynamisch intergetijdengebied nog iets verder af dan in de autonome ontwikkeling. Het hoogdynamisch intergetijdengebied neemt daarentegen door het verwijderen van de dam relatief beperkt af. Ten opzichte van de autonome ontwikkeling blijft 45 ha tot 51 ha hoogdynamisch intergetijdengebied behouden.



Figuur 4.4 Tijdsree van het diepe (linksboven), ondiepe (rechtsboven) en intergetijdengebied (linksonder) areaal in de periode 2012-2021 voor de autonome situatie, de situatie met verkorte dam en de situatie met verkorte dam en opgevulde geul.

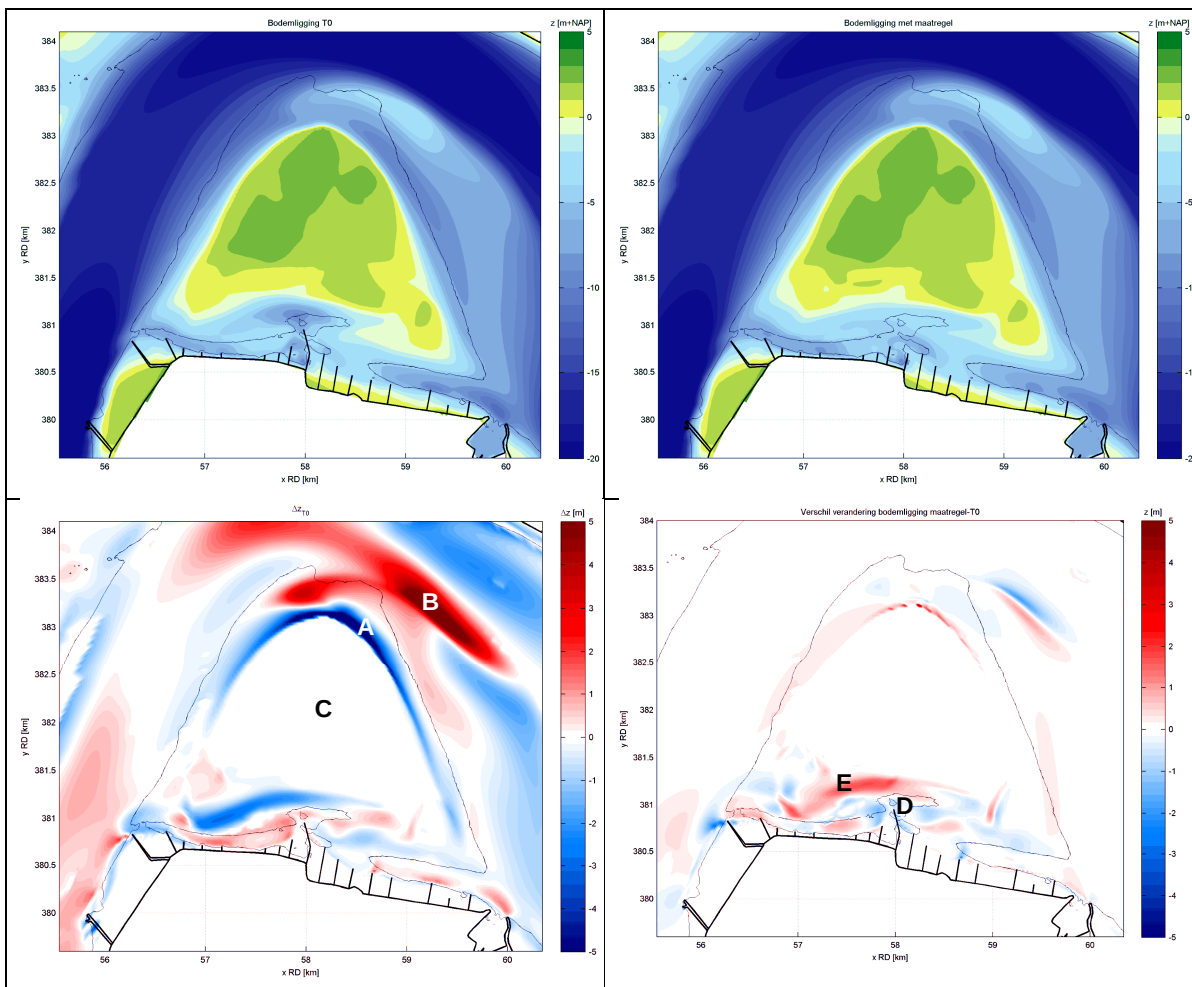
4.2.2 Verificatie met Delft3D

Arcadis heeft het effect van de maatregel waarin alleen de dam wordt verwijderd, berekend voor een periode van 2 jaar (Figuur 4.5). De morfologische ontwikkeling als gevolg van de maatregel beperkt zicht tot de Schaar van Ossensisse en de zuidelijke rand van de Platen van Ossensisse. De grootschalige morfologische ontwikkelingen zijn gelijk met en zonder verwijderen van de dam: Erosie van de noordwestelijke en oostelijke rand van de plaat (A) en aanzanding van de hoofdgeul (B). Hoewel vanwege de kleurenschaal in **Figuur 4.5** **Error! Reference source not found.** niet zichtbaar, maar Delft3D berekent een verhoging van de plaat (C) van enkele tientallen centimeters over de gesimuleerde periode van twee jaar.

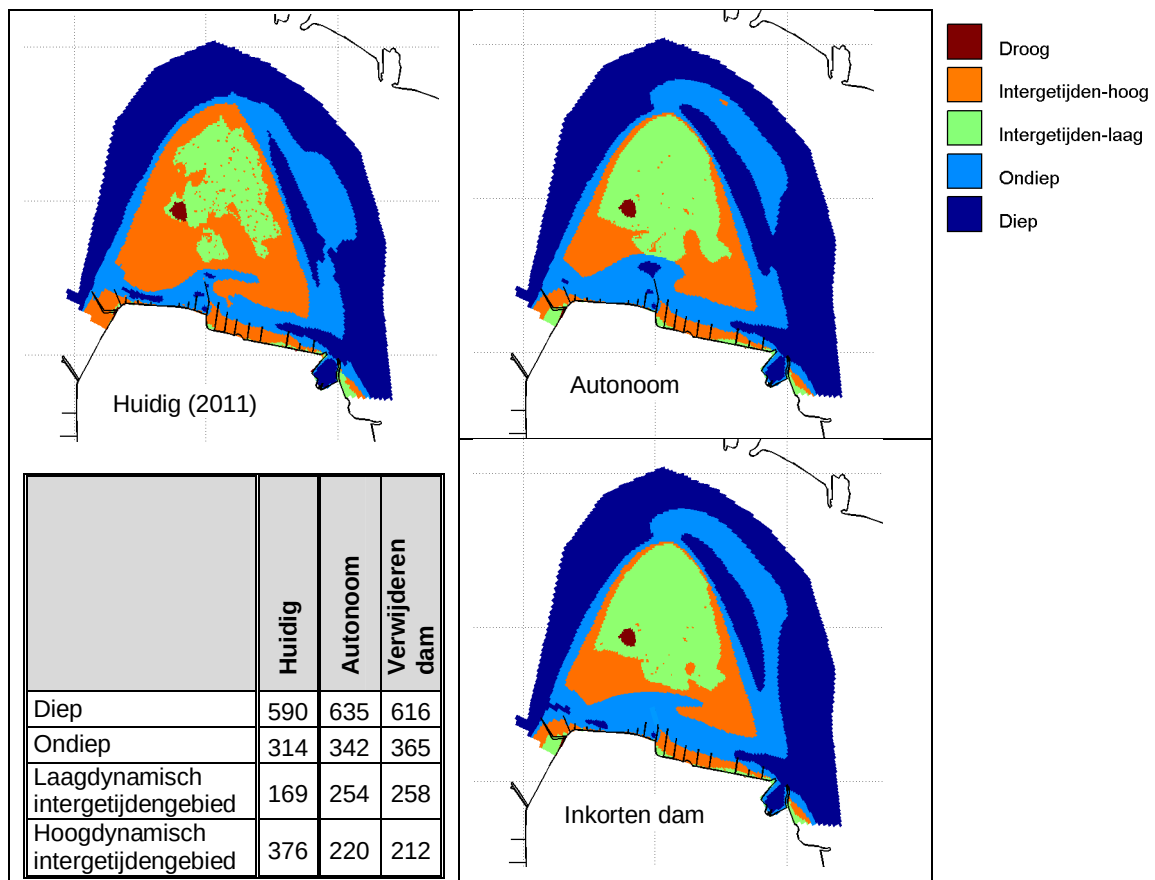
Het verwijderen van de dam heeft volgens het Delft3D model een snellere opvulling van de geul (D) en een minder snelle erosie van de zuidwestelijke rand van de plaat (E) tot gevolg.

Figuur 4.6 laat de berekende gevolgen voor de ecotopenarealen zien. Het diepe areaal neemt iets toe ten opzichte van de huidige situatie, waarbij de toename in de autonome ontwikkeling iets groter (+45 ha) is dan bij het verwijderen van de dam (+26 ha). Het ondiep areaal neemt in beide gevallen ook toe ten opzichte van de huidige situatie, maar nu is de toename bij het verwijderen van de dam iets groter (+51 ha) dan in de autonome ontwikkeling (+28 ha). Het totaal areaal intergetijdengebied neemt zowel in de autonome ontwikkeling als met het verwijderen van de dam af, respectievelijk met 72 ha en 75 ha. Dit beschouwen we als niet significant verschillend tussen de beide berekeningen.

Wanneer de stroomsnelheidsgrens gehanteerd wordt ter onderscheid van hoog- en laagdynamisch intergetijdengebied komt uit de Delft3D berekening dat het areaal hoogdynamisch met ruim 40% (-146 ha/-154 ha) afneemt ten opzichte van de huidige situatie, terwijl het areaal laagdynamisch circa 50% (+85 ha/+89 ha) toeneemt. De afname van het intergetijdengebied komt dus volledig voor rekening van het hoogdynamische gebied, terwijl ook nog een deel hoogdynamisch gebied op de plaat wordt omgezet in laagdynamisch intergetijdengebied. De autonome ontwikkeling en de ontwikkeling met het verwijderen van de dam verschillen niet significant van elkaar. Het verwijderen van dam heeft gedurende de berekende periode van 2 jaar geen significant effect op het ecotopenareaal. Een verdere opvulling van de geul (D, Figuur 4.5) over een langere tijd na het verwijderen van de dam is mogelijk, zodat uiteindelijk wel intergetijdengebied kan ontstaan.



Figuur 4.5 Morfologische situatie na 2 jaar als gevolg van inkorten van de dam berekent met Delft3D. Linksboven: T0-bodemligging. Rechtsboven: bodemligging met ingreep. Linksonder: Verschilbod. zonder ingreep. Rechtsonder: Verschilbod. met ingreep ten opzichte van verschilbod. zonder ingreep.



Figuur 4.6 Met Delft3D berekende verdeling van de arealen diep, ondiep en intergetijdengebied in 2013 (2 jaar na inkorting dam) in de autonome situatie (linksboven), in de situatie met verkorte dam (rechtsboven) en in de situatie met verkorte dam en opgevulde geul (linksonder).

4.2.3 Vergelijkende en samenvattende conclusie

De beide modellen FINEL2D en Delft3D voorspellen in de autonome ontwikkeling een lichte toename van het areaal diep water en een relatief grotere toename van het areaal ondiep water. Beide modellen voorspellen een afname van het intergetijdengebied op de Platen van Ossensisse. Het al dan niet verwijderen van de dam heeft hierop wel een effect, maar stopt de trend niet. Het opvullen van de geul aanvullend op het verwijderen van de dam heeft op de langere duur geen aanvullend effect. Met FINEL2D wordt berekend dat de situatie tien jaar na de ingreep nagenoeg gelijk is.

FINEL2D berekent dat tien jaar na de maatregel 33-38 ha meer intergetijdengebied behouden is dan volgens de autonome ontwikkeling. Volgens Delft3D heeft het verwijderen van de dam na twee jaar geen significant effect op het behoud van intergetijdengebied. De aanzandende trend in de geul kan er echter op duiden dat na langere tijd (bijvoorbeeld tien jaar) de geul wel opgevuld is tot intergetijdengebied. Geconcludeerd wordt daarom dat het verwijderen van de dam waarschijnlijk leidt tot het omzetten van de geul tot intergetijdengebied.

FINEL3D en Delft3D verschillen in de voorspelling van de ontwikkeling van het laagdynamisch areaal. FINEL2D berekent een meer dan evenredig afname van het areaal laagdynamisch intergetijdengebied, terwijl Delft3D zelfs een absolute toename van het areaal laagdynamisch intergetijdengebied voorspelt. In FINEL2D heeft het verwijderen van de dam

een versterkend effect op de negatieve trend van het laagdynamisch areaal, terwijl met Delft3D het verwijderen van de dam geen significant effect heeft op het areaal. Geconcludeerd moet worden dat de modelresultaten moeilijk kwantitatief te beoordelen zijn op het areaal laagdynamisch intergetijdengebied, al dient meegewogen te worden dat geen van beide modellen een toename van het laagdynamisch intergetijdengebied *als gevolg van* het verwijderen van de dam voorspellen.

Een nadere discussie over een vergelijking tussen de twee modellen en de toepasbaarheid ten behoeve van conclusies voor natuurherstel volgt in Hoofdstuk 5.

4.3 Locatie Slikken van Hulst

4.3.1 Basisberekening met Finel2D

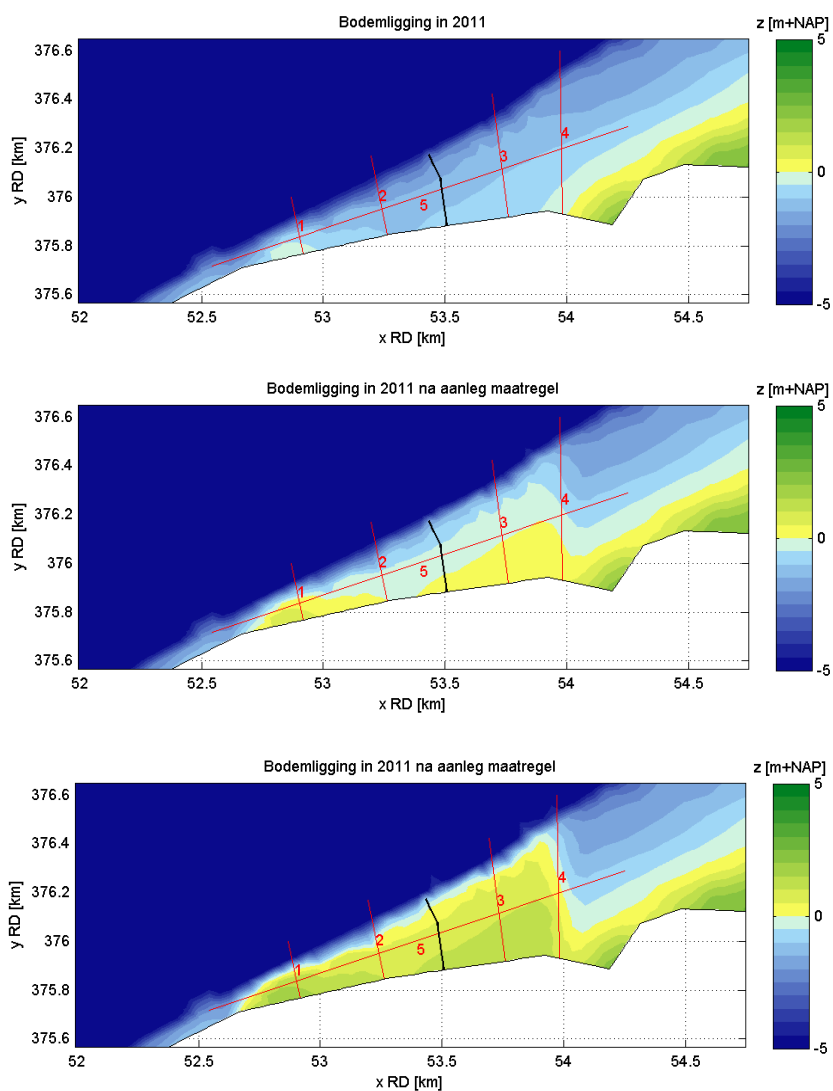
De natuurherstellende maatregel voor de Slikken van Hulst bestaat uit het aanbrengen van een zandlichaam op het zuidelijke gedeelte van de slikken, zie [Figuur 4.7](#). Het idee achter dit ontwerp is afgeleid van de plaatrandstortingen toegepast op het slik. Door een hoogliggend gebied te creëren wordt beoogd een gebied met lagere stroomsnelheden te realiseren. De beperking van de stroomsnelheid moet resulteren in laagdynamisch intergetijdengebied en tegelijkertijd tot de instandhouding van het zandlichaam. Het FINEL2D model vertoont in de validatieberekening namelijk erosief gedrag ten westen van de strekdam.

Er zijn twee varianten doorgerekend. De eerste variant bestaat uit het aanbrengen van een één meter hoog zandlichaam met een lengte van ongeveer 1300 m. Met deze ingreep is een volume van 420.000 m³ gemoeid. In de tweede variant is een zandlichaam van twee meter hoog aangebracht, dus een verdubbeling van hoogte en volume sediment (ca. 850.000 m³). [Figuur 4.7](#) toont de beginsituatie voor de twee varianten.

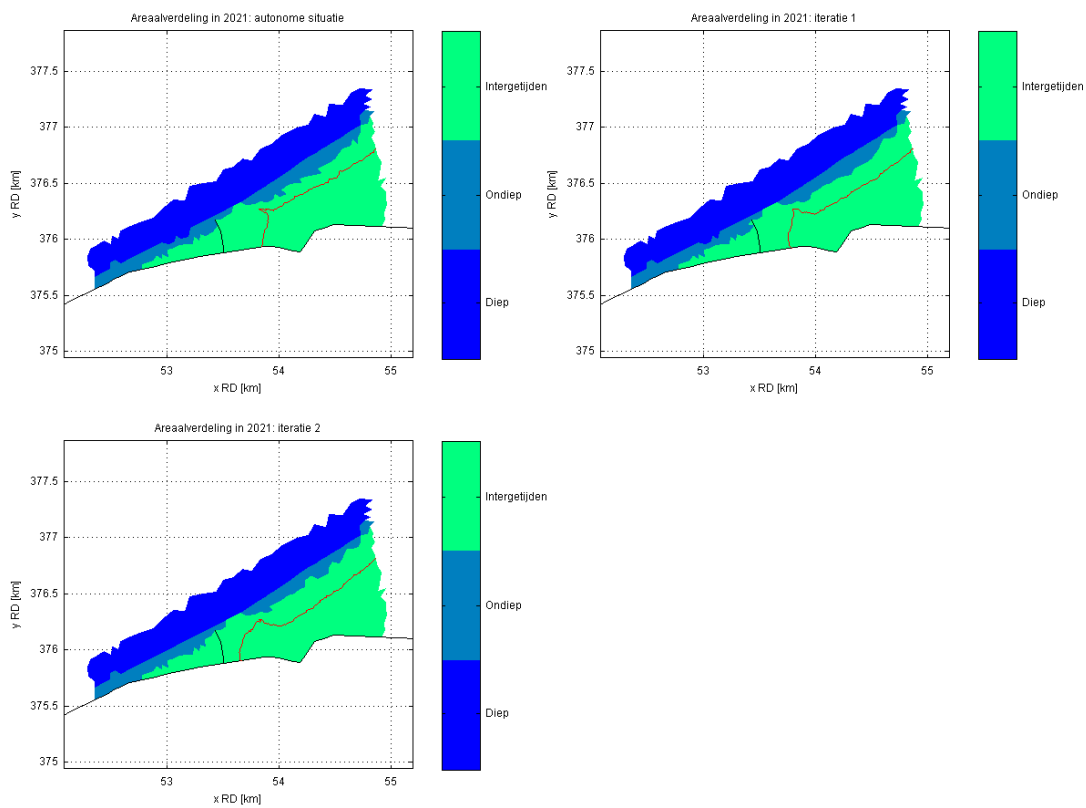
In [Figuur 4.8](#) zijn de ruimtelijke verdelingen gegeven van de arealen ondiep, diep en intergetijdengebied voor de autonome situatie (linksboven), voor de ingreep in de eerste iteratie (rechtsboven) en voor de ingreep in de tweede en laatste iteratie (linksonder). De rode lijn is de snelheidscontour van 0,62 m/s, wat voor dit gebied is afgeleid als de grens tussen hoog- en laagdynamisch. Op het eerste gezicht zijn de verschillen in de areaalverdelingen en in de snelheidscontouren niet groot. Dit correspondeert met het gegeven dat het zandlichaam na tien jaar nagenoeg geheel is geërodeerd en dat er dus weinig verschillen in bodemligging zijn tussen de autonome situatie en de twee varianten.

Meer detail is gegeven in [Figuur 4.9](#), waarin de ontwikkeling van de drie soorten arealen in de tijd is weergegeven. De figuur illustreert dat het tweede ontwerp initieel resulteert in een vergroting van het intergetijdenareaal van 10 ha en dat dit ten koste gaat van het ondiepe areaal. Door erosie van het zandlichaam neemt in de loop van de tijd het areaal intergetijdengebied af ten faveure van het ondiepe areaal.

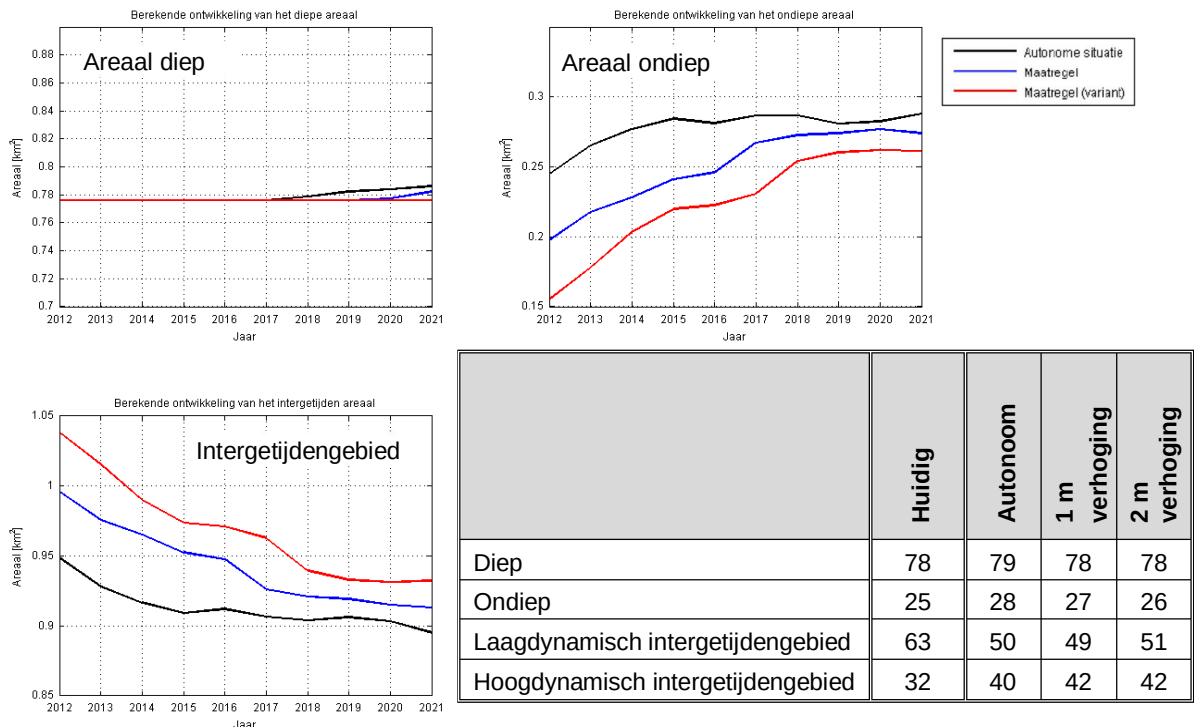
Na zeven jaar lijkt de versnelde afname (ten opzichte van de autonome situatie) van het intergetijdenareaal afgenomen te zijn. Vanaf 2018 loopt de ontwikkeling van de arealen in de ingreepsituatie parallel aan die van de autonome. De toename van het areaal intergetijdengebied in de ingreepsituatie ten opzichte van die in de autonome is dan nog ongeveer 3 ha groot. De snelheidscontour in [Figuur 4.8](#) geeft aan dat ongeveer de helft van het intergetijdengebied laagdynamisch is, maar dat niets daarvan op de westelijke punt ligt waar het zandlichaam was aangebracht.



Figuur 4.7 T0 beginsituatie (boven), beginsituatie met een één meter hoog zandlichaam (midden) en beginsituatie met een twee meter hoog zandlichaam. Rode lijnen zijn langs- en dwarsraaien.



Figuur 4.8 Overzicht van de verdeling van de arealen diep, ondiep en intergetijdengebied in 2021 in de autonome situatie (linksboven), in de eerste ontwerpiteratie (rechtsboven) en in de tweede ontwerpiteratie (linksonder).



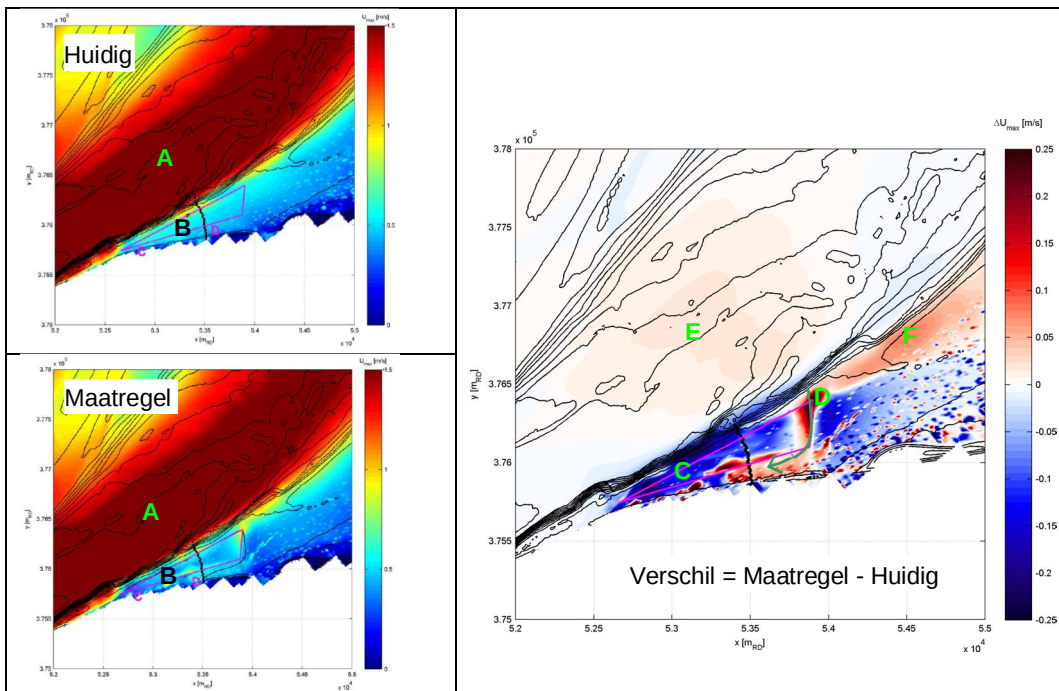
Figuur 4.9 Tijdserie van het diepe (linksboven), ondiepe (rechtsboven) en intergetijden (linksonder) areaal in de periode 2012-2021 voor de autonome situatie, voor de eerste ontwerpiteratie en voor de tweede ontwerpiteratie 2.

4.3.2 Verificatie met Delft3D

In paragraaf 3.4.3 is aangegeven dat de morfologische validatie van het Delft3D model voor de Slikken van Hulst niet succesvol was. In plaats daarvan wordt een kwalitatieve beoordeling op basis van de stroomsnelheid gemaakt. De stroomsnelheid is een maat voor het vermogen om sediment te transporteren.

Met Delft3D worden relatief lage maximale stroomsnelheden op de Slikken van Hulst berekend. Terwijl de maximale stroomsnelheid in de hoofdgeul meer dan 1,5 m/s is (A), is de maximale stroomsnelheid op de Slikken beperkt tot 0,6 m/s op de geulrand en lager richting de dijk (B). Het plaatsen van 2 m zandlichaam verlaagd ter plekke de maximale stroomsnelheid met 0,1 tot 0,2 m/s (C) en is dus effectief in het verlagen van de dynamiek. Aan de westzijde van het zandlichaam ontstaat door het hoogteverschil een verhoging van de maximale stroomsnelheid. Een geultje ontstaat (D) waar het water het slik op- en afstroomt. Door de verlaging van de maximale stroomsnelheid op het slik (C) neemt in de hoofdgeul de maximale stroomsnelheid licht toe (E). De stroomsnelheid disperseert verder op zoals te concluderen valt uit de toename van de maximale stroomsnelheid bij (F).

Arcadis concludeert op basis van de lage stroomsnelheden dat het sedimenttransport op de Slikken van Hulst zowel in de huidige situatie als na aanleg van het zandlichaam zeer klein is. Het zandlichaam wordt als morfologisch stabiel gekenmerkt: het intergetijdengebied blijft intact.



Figuur 4.10 Maximale stroomsnelheid (in m/s) tijdens een springtij-doottij cyclus berekend met Delft3D voor de huidige situatie (2011, linksboven), de situatie na aanleg van 2 m zandlichaam (linksonder) en het verschil tussen beide situaties (rechts, blauw houdt een lagere maximale stroomsnelheid met de maatregel)

4.3.3 Vergelijkende en samenvattende conclusie

De twee modelvoorspellingen leveren twee verschillende uitkomsten op. Op basis van Delft3D wordt geconcludeerd dat het zandlichaam initieel blijft liggen, terwijl op basis van FINEL2D wordt geconcludeerd dat het zandlichaam binnen tien jaar verdwenen is en dat er geen significante verandering is in het areaal laagdynamisch intergetijdengebied.

De verschillen in de modelvoorspellingen komen voort uit het verschil in de berekende maximale stroomsnelheid (zie ook [Figuur 3.10](#), pagina 47) die ter plekke van de beoogde maatregel tot 1,0 m/s hoger is in FINEL2D dan in Delft3D. De hoge stroomsnelheid zorgt in FINEL2D voor een grote sedimenttransportcapaciteit en voor het wegspoelen van het verhoogde intergetijdengebied. In Delft3D is de stroomsnelheid te laag om het aangebrachte zand weg te spoelen. Aangezien er geen metingen van de stroomsnelheid ter plaatse op de Slikken van Hulst, is niet aan te geven welke modelvoorspelling correct is dan wel het beste overeenstemt met de werkelijkheid.

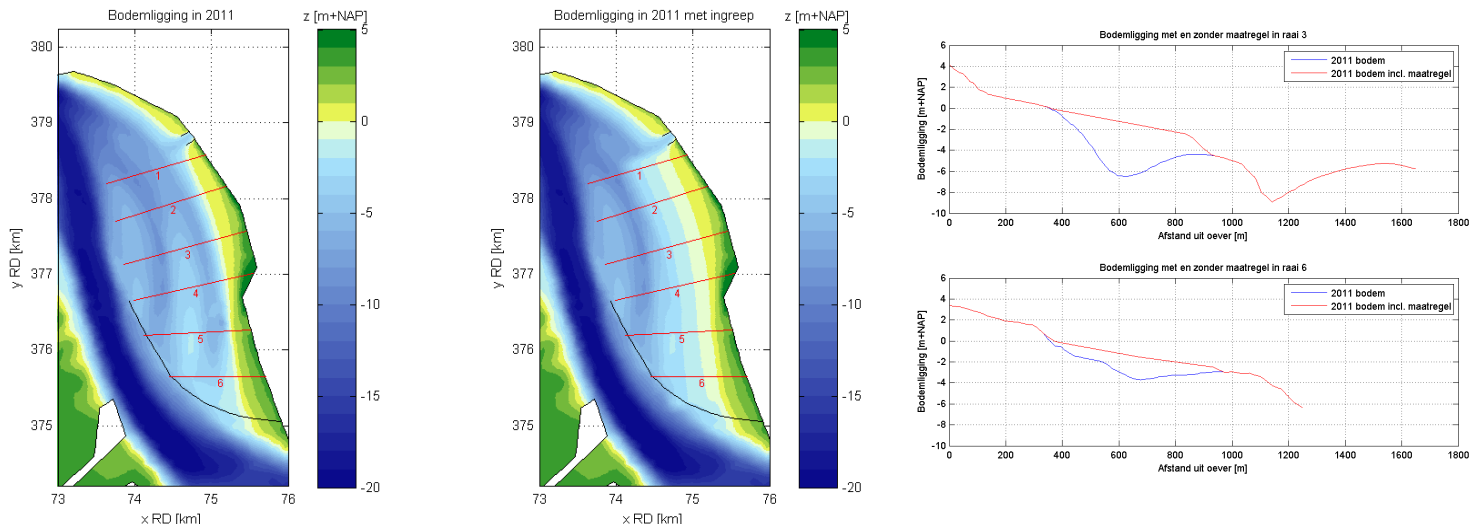
4.4 Locatie Appelzak

4.4.1 Basisberekening met Finel2D

Het ontwerpproces voor Appelzak bestaat uit één iteratie. Tijdens het morfologisch doorrekenen van het eerste ontwerp is door de opdrachtgever besloten het onderzoek naar de Appelzaklocatie niet verder voort te zetten. Om de opgedane kennis niet verloren te laten gaan, zijn de resultaten van de eerste ontwerpiteratie toch in deze rapportage opgenomen.

De maatregel voor Appelzak bestaat uit het opvullen van de oostelijke nevengeul door middel van het aanbrengen van een zandpakket. Met deze ingreep is een volume van 4,98 Mm³

gemoeid verdeeld over een oppervlakte van ruim 2 km². De bodemligging in 2011 met en zonder maatregel is geschetst in 63. De bodemligging met en zonder maatregel in raaien 3 en 6 is ook weergegeven. Het nulpunt van deze raaien ligt op de rand van het model.



Figuur 4.11 T0 beginsituatie (links) en de beginsituatie van de scenarioberekening (midden) en bodemligging met en zonder maatregel in raaien 3 en 6 (rechts)

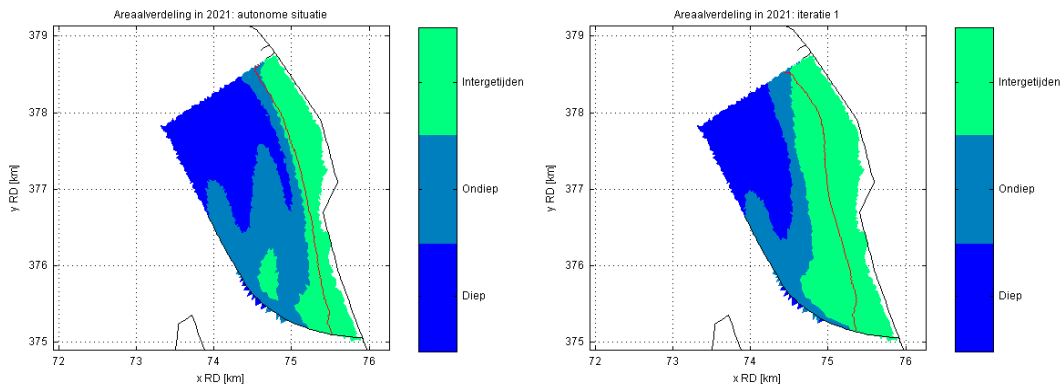
In Figuur 4.12 zijn de ruimtelijke verdelingen weergegeven van de arealen ondiep, diep en intergetijdengebied voor de autonome situatie (links) en voor de ingreep (rechts). De rode lijn is de snelheidscontour van 0,67 m/s, wat voor dit gebied de afgeleide grens is tussen hoog- en laagdynamisch. Voor het bepalen van de arealen is het gebied tussen de leidam en de Bathse spuisluis geselecteerd.

De figuur laat allereerst zien dat in de autonome situatie het ondiepe areaal, en in mindere mate het areaal intergetijdengebied, toeneemt ten koste van het diepe areaal. De ophoging in 2011 verhoogt het areaal intergetijdengebied met ongeveer 110 ha wat ten koste gaat van de diepe en ondiepe arealen. Na tien jaar is het intergetijdengebied nog intact. Het is opvallend dat na aanleg van de ophoging de veranderingen van de arealen diep en ondiep ook zeer beperkt zijn. In de autonome situatie zou daarentegen het diepe areaal afnemen en het ondiepe areaal toenemen door aanzanding van de nevengeulen. De lichte groei van het intergetijdengebied in de autonome ontwikkeling duidt erop dat in de loop van de tijd de aanzanding zou doorgaan en dus dat het ondiepe areaal uiteindelijk tot intergetijdengebied zou doorontwikkelen. De opvulling van de oostelijke nevengeul kan in dat geval gezien worden als een versnelde uitvoering van de natuurlijke ontwikkeling.

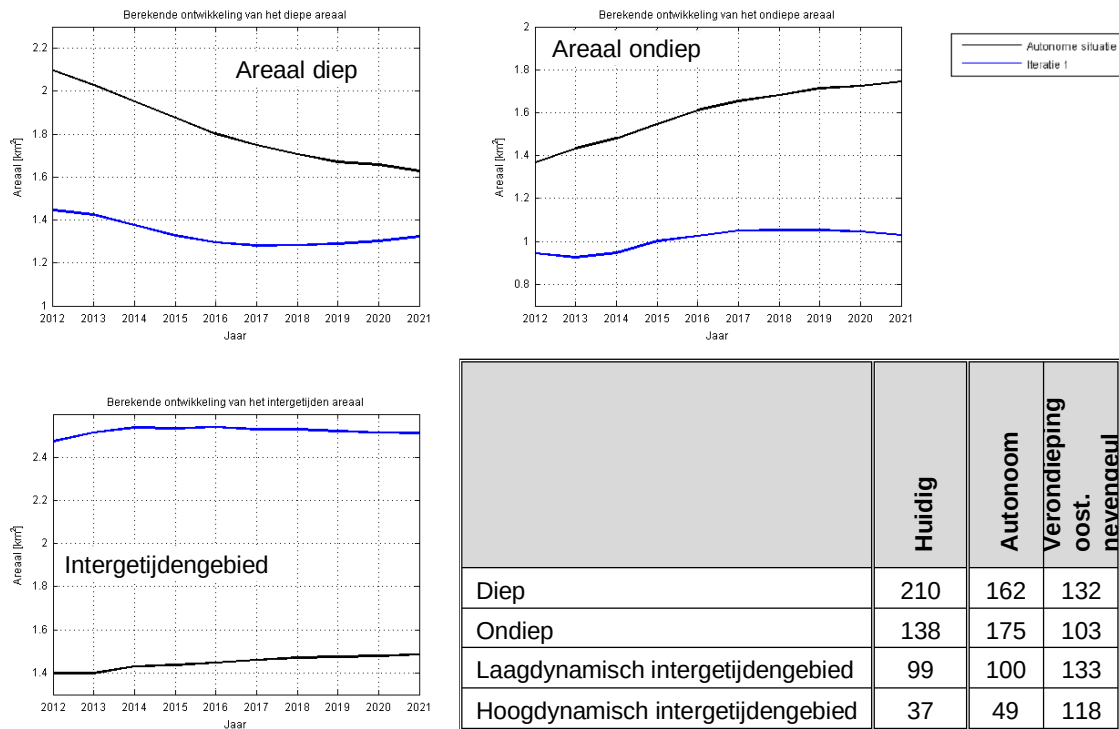
Hoewel het areaal intergetijdengebied met 115 ha in 2021 toeneemt, wordt het merendeel als hoogdynamisch geclassificeerd, +81 ha tegenover +34 ha laagdynamisch intergetijdengebied. Het laagdynamische deel sluit uit bij het huidige slik. Het intergetijdengebied dat aansluit op het ondiepe water is hoogdynamisch. Een verdere optimalisatie van de bodemligging kan het aandeel laagdynamisch wellicht vergroten.

Zoals eerder vermeld, is de berekende ontwikkeling een ontwikkeling zonder de invloed van golven. Golven zouden kunnen leiden tot een dynamischer gedrag, hoewel de validatie heeft

aangetoond dat het (gehanteerde) golfklimaat slechts een beperkte invloed op de morfologische ontwikkelingen heeft.



Figuur 4.12 Overzicht van de verdeling van de arealen diep, ondiep en intergetijdengebied in 2021 in de autonome situatie (links) en in de eerste ontwerpiteratie (rechts).



Figuur 4.13 Tijdsree van het diepe (linksboven), ondiepe (rechtsboven) en intergetijden (linksonder) areaal in de periode 2012-2021 voor de autonome situatie en voor de eerste ontwerpiteratie.

4.4.2 Verificatie met Delft3D

Vanwege het tussentijds stopzetten van het onderzoek op de locatie Appelzak is met Delft3D geen verificatie uitgevoerd.

4.4.3 Vergelijkende en samenvattende conclusie

Voor Appelzak is een variant met FINEL2D doorgerekend. Het opvullen van de oostelijke nevengeul blijkt in het model te resulteren in een stabiele situatie, waarin de arealen diep water, ondiep water en intergetijdengebied gedurende de berekende 10-jaar periode relatief constant blijven. De trend die in de autonome ontwikkeling berekend wordt, lijkt inderdaad toe te werken naar deze situatie als aangenomen wordt dat de omzetting van diep water naar ondiep water zich doorzet naar de ontwikkeling van intergetijdengebied. Te weinig is echter onderzocht om die stelling te kunnen onderbouwen.

5 Discussie en conclusie met betrekking tot het voorontwerp van de buitendijkse maatregelen

5.1 Algemeen

De natuurherstelopgave – zoals gehanteerd in dit onderzoek – bestaat uit het realiseren van laagdynamisch intergetijdengebied. Op basis van de ecotopenkaarten van 1977 tot 2010 is geconstateerd dat binnen de verzamelterm 'estuariene natuur' het ecotoop laagdynamisch intergetijdengebied het meest onder druk staat. In Deltares (2011) zijn drie locaties geïdentificeerd waar dit ecotoop gerealiseerd zou kunnen worden: De Platen van Ossenissee, de Slikken van Hulst en de Appelzak. Omdat de identificatie was gebaseerd op een deskundigenoordeel, was sprake van een kwalitatieve beoordeling. Ook identificatie van risico's was gebaseerd op kwalitatieve gronden. Het voorliggende vervolgonderzoek heeft tot doel tot een zo goed mogelijke kwantitatieve onderbouwing te komen.

Het gehanteerde Zoute wateren Ecotopenstelsel (RIKZ, 2005) geeft aan dat diepte en stroomsnelheid de twee primaire parameters zijn die bepalen of een locatie als laagdynamisch intergetijdengebied geïdentificeerd wordt (Figuur 1.3). Deze twee parameters zijn in dit onderzoek met modellen voorspeld. Twee andere parameters, die van belang zijn voor de ecologische kwaliteit, zijn de overstromingsduur en de sedimentsamenstelling. Deze parameters zijn in dit onderzoek niet met modellen voorspeld.

Een eerste conclusie uit dit onderzoek moet zijn dat het hydro-morfologisch modelleren van lokale ontwikkelingen zeer lastig blijkt te zijn. Daar waar een uitspraak over grootschalige ontwikkelingen zoals het verdiepen van de hoofdgeul nog met redelijke betrouwbaarheid is te doen, blijken de ontwikkelingen op een schaal van honderden meters slecht voorspelbaar. Omdat dit vooraf wel enigszins was ingeschat, heeft het onderzoek voor een strategie gekozen om twee verschillende modelsystemen – FINEL2D en Delft3D – in te zetten. De redenering was dat de betrouwbaarheid van de kwantitatieve uitspraak vergroot wordt, als beide modelsystemen hetzelfde voorspellen of minimaal dezelfde trend voorspellen.

Voor de Platen van Ossenissee en de Slikken van Hulst zijn beide modelsystemen ingezet. Omdat de modellen verschillende uitkomsten geven, moet geconcludeerd worden, dat de lokale hydro-morfologische ontwikkeling na een ingreep kwantitatief niet (goed) te voorspellen is. De kwantitatieve modelresultaten moeten zeer terughoudend gebruikt worden voor de uiteindelijke beoordeling. Een kwalitatieve beoordeling is wel mogelijk.

Svašek (2008) heeft voor de lokale ontwikkeling van de Slikken van Waarde wel een goede validatie en voorspelling gedaan met FINEL2D. Een mogelijke verklaring waarom het in dat geval wel goed is gegaan, is dat bij de Slikken van Waarde twee strekdammen zijn aangelegd waartussen sedimentatie plaatsvindt. De strekdammen zijn sturend voor de lokale morfologische ontwikkeling. De in dit vervolgonderzoek beschouwde maatregelen zijn het plaatsen van sediment (Slikken van Hulst, Appelzak) of het verwijderen van een strekdam (Platen van Ossenissee). De natuurlijke processen krijgen de ruimte, wat moeilijker te voorspellen is dan de situatie waarin de natuurlijke processen juist gestuurd worden door harde constructies.

5.2 Platen van Ossensisse



Hoe heeft de locatie zich in de afgelopen tijd ontwikkeld?

De vergelijking van de bathymetrie kaarten van 2001 en 2010 laat zien dat de Platen van Ossensisse aan de west-, noord- en oostzijde eroderen. De zuidzijde van de plaat die grenst aan de Schaar van Ossensisse, is redelijk stabiel. Aan de zuidzijde is de hoogte van de plaat met 1 à 2 m toegenomen in 10 jaar. De strekdam die uitsteekt in de Schaar van Ossensisse, heeft waarschijnlijk een fixerende invloed op de morfologie van de Schaar en de zuidelijke plaatrand. De ecotopen kaarten van 1996 tot 2010 geven aan dat 23% to 32% van het plaatareaal laag dynamisch is. Er is geen trend herkenbaar.

Hoe bruikbaar zijn de modellen?

De hydrodynamische validatie van FINEL2D en Delft3D is goed. Beide modellen voorspellen waterstanden en stroomsnelheden accuraat. De stroomsnelheden op de plaat worden ook goed berekend, met uitzondering van het optreden van giertij (pieken van hoge stroomsnelheden die kunnen optreden bij springtij). De morfologische validatie voor de lokale ontwikkeling in de Schaar van Ossensisse en op de zuidzijde van de plaat is minder goed. Beide modellen vertonen afwijkingen met de metingen. FINEL2D overschat de erosie van de zuidzijde van de plaat. Delft3D overschat de morfologische dynamiek van de Schaar van Ossensisse.

Wat is de verwachting op basis van systeemkennis?

De verwachting is dat het verwijderen van de strekdam zal leiden tot het opvullen van de geul die om de punt van de strekdam heen de plaat insteekt. De plaatrand zal parallel aan de kustlijn gaan lopen. Het opgevulde deel zal deels laag dynamisch zijn en zo bijdragen aan de natuurherstel opgave.

Wat zeggen de modellen?

FINEL2D berekent dat de geul na 10 jaar inderdaad is opgevuld. Met Delft3D is een minder lange periode doorgerekend, maar de aanznijdende trend in de geul bevestigt de verondieping. Geconcludeerd wordt dan ook dat het opvullen van de geul na verwijdering van de dam waarschijnlijk is. Als vervolgens een parallelle kustlijn wordt aangehouden, zou circa 25 tot 30 ha intergetijdengebied gerealiseerd worden. Dit komt overeen met de voorspelling van FINEL2D die 33 ha meer intergetijdengebied voorspelt na verwijdering van de dam. Delft3D voorspelt geen verandering in areaal intergetijdengebied, maar waarschijnlijk is de doorgerekende periode van 2 jaar te kort om al voldoende aanzanding te realiseren.

Het tegelijk met de verwijdering van de dam opvullen van de geul maakt op termijn van 10 jaar geen substantieel verschil. Als in het kader van de bagger- en stortstrategie stortruimte nodig is, kan de geul gebruikt worden aannemende dat dan geen extra kosten voor de natuurherstelopgave van toepassing zijn. Voor het bodemleven is een natuurlijke aanzanding te prefereren boven het storten van zand, omdat het bodemleven zich bij geleidelijke aanzanding kan aanpassen aan de nieuwe omstandigheden. Na storting duurt het een aantal jaren voordat het bodemleven zich herstelt.

De morfologische ontwikkeling van de Platen van Ossensisse als geheel is waarschijnlijk een voortgaande erosie van de west-, noord- en zuidzijde van de plaat, ongeacht het wel of niet verwijderen van de dam. Zowel FINEL2D als Delft3D berekent een afname van het plaatareaal en (dus) een toename van het areaal diep water en ondiep water. Door het verwijderen van de dam zal een nieuwe verdeling van het vloed- en ebdebiet ontstaan tussen de hoofdgeul en de Schaar van Ossensisse. Het is aannemelijk dat een groter deel door de Schaar zal gaan plaatsvinden. De grotere getijdgebieten vergroten de morfologische dynamiek in de Schaar en op de zuidelijke plaatrand.

Wat is de eindconclusie met betrekking tot laagdynamisch intergetijdengebied?

Het is aannemelijk dat het verwijderen van de dam zal resulteren in meer intergetijdengebied dan in de autonome ontwikkeling behouden zou zijn. Of het intergetijdengebied laagdynamisch is, is onzeker. FINEL2D berekent een grotere afname van het laagdynamisch areaal dan in de autonome ontwikkeling, wat verklaard zou kunnen worden door de toename van getijstroming in de Schaar. Het percentage laagdynamisch areaal neemt in de modelberekening af van 41% naar respectievelijk 32% en 25%. Delft3D berekent geen effect op het laagdynamisch areaal. Hoewel het laagdynamisch areaal volgens Delft3D wel enorm toeneemt (van 31% naar 55%), is er geen significant verschil tussen de autonome ontwikkeling en de maatregel. Op basis van de ecotopenkaarten van 1977 tot 2010 die variëren tussen 23% en 32%, is een toename van bijna 25% in twee jaar tijd niet aannemelijk.

Hoewel ook op het modelresultaat van FINEL2D niet zondermeer mag worden vertrouwd, moet geconcludeerd worden dat wel intergetijdengebied gerealiseerd kan worden door het verwijderen van de dam, maar dat waarschijnlijk een groot deel – consistent met de huidige ecotopenkaarten – hoogdynamisch zal zijn.

De bijdrage aan de natuurherstelopgave om laagdynamisch intergetijdengebied te realiseren moet op basis van de verzamelde informatie als minimaal (<10 ha) worden gekarakteriseerd.

Zijn er risico's?

Het is niet bekend wat het effect van het verwijderen van de dam is op het optreden van giertij. De modellen hebben dit niet kunnen reproduceren, waardoor de modellen zonder verdere validatie niet bruikbaar zijn voor voorspelling. Het is niet bekend of het risico voor de scheepvaart gelijk blijft of toe- of afneemt.

Wat zijn de kosten?

In Deltares (2011) zijn de kosten voor het verkorten van de strekdam op circa 0,5 miljoen Euro geraamd.

Zijn er andere overwegingen?

Een niet-kwantificeerbare bijdrage aan natuurherstel is dat het verwijderen van de strekdam ruimte geeft aan natuurlijke processen wat over het algemeen als positief wordt gekwalificeerd.

De bagger- en stortstrategie is van doorslaggevende invloed voor de morfologische ontwikkeling rondom de Platen van Ossensisse. In de modelvoorspelling wordt aangenomen dat de 2011 strategie wordt voortgezet. Dit is niet waarschijnlijk, maar wel een logische aanname. Wellicht zal een deel van de als negatief ervaren ontwikkelingen in de autonome ontwikkelingen door een aangepaste bagger- en stortstrategie worden beperkt. Wat hiervan weer het effect op de maatregel is, is vooraf niet te zeggen.

5.3 Slikken van Hulst



Hoe heeft de locatie zich in de afgelopen tijd ontwikkeld?

De locatie voor de beoogde natuurherstelmaatregel ligt op de zuidwestelijke punt van de Slikken van Hulst. Uit een vergelijking van de bathymetriekaarten tussen 2001 en 2010 blijkt dat de Slikken een overwegend eroderende trend van enkele centimeters per jaar laten zien. De slikrand die grenst aan de diepe hoofdgeul, wordt zowel horizontaal als verticaal op zijn plaats gehouden door een geulwandbestorting. Het slikareaal is overwegend laagdynamisch, maar het percentage varieert aanzienlijk van jaar tot jaar (61%-96%) zonder verklaarbare trend.

Hoe bruikbaar zijn de modellen?

De hydrodynamische validatie van FINEL2D en Delft3D is goed. Beide modellen voorspellen waterstanden en stroomsnelheden in de geul accuraat. De berekende maximale stroomsnelheden op de beoogde locatie verschillen tot 1,0 m/s. De overwegend laagdynamische classificatie op de ecotopenkaart duidt eerder op een lagere dan op een hogere maximale stroomsnelheid. Uitsluitel is echter niet te geven, omdat er geen metingen zijn. De morfologische validatie met FINEL2D is matig, omdat overwegend een licht aanzandende trend wordt berekend. De morfologische validatie met Delft3D heeft geleid tot onrealistische resultaten en is dus niet geslaagd. De modelresultaten moeten zeer terughoudend in de beoordeling worden gebruikt.

Wat is de verwachting op basis van systeemkennis?

De maatregel voor natuurherstel bestaat uit het aanbrengen van een laag sediment van maximaal 2 meter om de eroderende trend te keren. De verwachting is dat de eroderende trend zich op het nieuwe slikprofiel opnieuw zal instellen: Een erosie van enkele centimeters per jaar. Het aanbrengen van sediment zal na enige tijd herhaald moeten worden.

Wat zeggen de modellen?

De modellen geven verschillende uitkomsten. FINEL2D berekent dat het zandlichaam binnen 10 jaar volledig weg erodeert. Het zand verspreidt zich enigszins over de rest van de slikken, maar de toename van laagdynamisch areaal is niet als significant te beschouwen. Op basis van de met Delft3D berekende maximale stroomsnelheden wordt geconcludeerd dat het zandlichaam morfologisch stabiel is en waarschijnlijk zal blijven liggen.

Wat is de eindconclusie met betrekking tot laagdynamisch intergetijdengebied?

Het onderzoek heeft niet geleid tot een betrouwbare kwantitatieve uitspraak voor een positief effect: Een toename van het areaal laagdynamisch intergetijdengebied door het aanbrengen van een zandlichaam kan niet aannemelijk gemaakt worden. Het meest waarschijnlijk is dat het aanbrengen van een sedimentpakket op de zuidwestelijke punt van de Slikken van Hulst niet zal leiden tot een significante uitbreiding van het areaal laagdynamisch intergetijdengebied.

De bijdrage aan de natuurherstelopgave om laagdynamisch intergetijdengebied te realiseren moet op basis van de verzamelde informatie als nihil worden gekarakteriseerd.

Zijn er risico's?

Er zijn geen risico's voor de scheepvaart of voor de veiligheid geïdentificeerd.

Ten oosten van de locatie ligt een klein schor (circa 15 ha) waarvan deskundigen aangeven dat het de kenmerkende cyclus gedrag van erosie en aangroei laat zien (pers. comm. D. de Jong). Dergelijk dynamische gedrag wordt als zeer waardevol gezien. Een suppletie zou dit gedrag kunnen beïnvloeden.

Wat zijn de kosten?

Gezien de als nihil ingeschatte realisatie van laagdynamisch intergetijdengebied zijn de kosten niet geraamd.

Zijn er andere overwegingen?

Stroommetingen op het slik van Hulst of een gemonitorde proefsuppletie kunnen meer inzicht geven in het wel of niet succesvol zijn van een dergelijke ingreep.

5.4 Appelzak



Appelzak

De locatie Appelzak ligt ten zuiden van de Bathse Spuisluis, ten noorden van de Belgische grens (gele lijn). Een leidam op Belgisch grondgebied (blauwe stippellijn) scheidt de vaargeul van een ondiepere deel ten oosten ervan. De voorziene maatregel bestaat uit het met sediment opvullen van een nevengeul (donkergrijze stippellijn). Een tweede nevengeul wordt niet opgevuld (lichtgrijze stippellijn).

Vooraf

Het onderzoek naar de natuurherstelmaatregel is op verzoek van het Ministerie van EL&I tussentijds gestopt. De bereikte en gepresenteerde resultaten hebben daarom een minder uitgewerkt karakter. Om de opgedane kennis niet verloren te laten gaan, worden de resultaten wel in dit rapport vastgelegd.

Hoe heeft de locatie zich in de afgelopen tijd ontwikkeld?

De locatie voor de natuurherstelmaatregel ligt in het oosten van de Westerschelde aan weerszijden van de Belgisch-Nederlandse grens. Door het gebied achter de leidam lopen twee nevengeulen. De vergelijking van de bathymetriekaarten tussen 2001 en 2010 laat zien dat de oostelijke nevengeul langzaam aanzandt en dat de westelijke nevengeul naar het oosten migreert. Het areaal ondiep water is als hoogdynamisch gekarakteriseerd op de ecotopenkaarten. Het aangrenzende slik is overwegend laagdynamisch en morfologisch stabiel. Tegen de dijk is sprake van een klein, maar stabiel areaal schorvegetatie.

Hoe bruikbaar zijn de modellen?

De hydrodynamische validatie van FINEL2D en Delft3D is goed. Beide modellen voorspellen waterstanden en stroomsnelheden goed. FINEL2D reproduceert de aanzanding van de oostelijke nevengeul en het migreren van de westelijke nevengeul goed. Het voorspellend vermogen wordt als betrouwbaar ingeschat. Met Delft3D is geen morfologische validatie uitgevoerd.

Wat is de verwachting op basis van systeemkennis?

De beoogde maatregel voor natuurherstel bestaat uit het verondiepen van de oostelijke nevengeul, zodat hoogdynamisch ondiep water wordt omgezet naar intergetijdengebied. De maatregel wordt in zijn geheel op Nederlands grondgebied uitgevoerd, maar het effect zal ook uitstralen naar Belgisch grondgebied. De verwachting is dat het intergetijdengebied in stand zal blijven, maar niet uitgesloten is dat geleidelijk erosie zal optreden en/of dat de nevengeul zich zal herstellen. Mogelijk zal beheer in de vorm van nieuwe sedimentstorting nodig zijn. Daarnaast wordt verwacht dat de uitbreiding van het intergetijdengebied leidt tot een uitbreiding van het schorareaal.

Wat zeggen de modellen?

FINEL2D berekent dat het intergetijdengebied behouden blijft en dat door het opvullen van de oostelijke nevengeul zo'n 100 ha intergetijdengebied gerealiseerd zou kunnen worden,

waarvan 33 ha laagdynamisch. De door FINEL2D berekende autonome ontwikkeling lijkt toe te bewegen naar een verdere verondieping van de oostelijke nevengeul en wellicht naar het ontstaan van intergetijdengebied. Het is mogelijk, maar zonder verder onderzoek niet te onderbouwen dat de autonome ontwikkeling uiteindelijk een vergelijkbare situatie oplevert als met de maatregel versneld wordt gerealiseerd. Met Delft3D is de maatregel niet doorerekend.

Wat is de eindconclusie met betrekking tot laagdynamisch intergetijdengebied?

Het is waarschijnlijk dat het opvullen van de oostelijke nevengeul effectief intergetijdengebied oplevert. Een relatief klein deel van 30% is laagdynamisch, waardoor de bijdrage aan de natuurherstelopgave nog relatief beperkt is. Een verdere optimalisatie van het ontwerp zou het aandeel laagdynamisch intergetijdengebied kunnen vergroten.

De bijdrage aan de natuurherstelopgave om laagdynamisch intergetijdengebied te realiseren wordt op basis van de verzamelde informatie als kansrijk gekarakteriseerd. De bruto realisatie van circa 30 ha en de netto bijdrage van 15-21 ha kan wellicht door verdere optimalisatie vergroot worden.

Zijn er risico's?

De morfologische berekening met FINEL2D geeft aan dat het meergeulenstelsel behouden blijft. Door het verondiepen van de oostelijke nevengeul vindt een verdieping van de westelijke nevengeul plaats, omdat deze westelijke nevengeul meer debiet gaat voeren.

De morfologische berekening laat zien dat door de maatregel geen extra erosie van het Verdrongen Land van Saeftinghe optreedt. Van erosie is ook sprake in de autonome ontwikkeling.

Wat zijn de kosten?

Op basis van de benodigde hoeveelheid sediment (circa 5 miljoen m³) en een verwerkingsprijs van 6 €/m³ worden de kosten geschat op 30 miljoen Euro. Optimalisatie en afstemming met de bagger- en stortstrategie leiden waarschijnlijk tot aanzienlijk lagere kosten.

Zijn er andere overwegingen?

Nee.

5.5 Algemene conclusies en aanbevelingen voor natuurbeheer en natuurbeleid in de Westerschelde en Saeftinghe

Het onderzoek naar natuurherstelmaatregelen voor de Westerschelde en Saeftinghe heeft de grenzen van de *toepasbare* kennis opgezocht en verlegd, maar ook bereikt. Met toepasbare kennis bedoelen we de kennis die voor beheer en beleid ingezet kan worden, en onderscheiden het daarmee van fundamenteel wetenschappelijk onderzoek.

Naast de directe resultaten, die in de vorige paragrafen zijn samengevat, is het waardevol om algemene lessen te trekken uit het onderzoek. In deze afsluitende paragraaf doen we dat eerst voor de ontwikkelde kennis en de geïdentificeerde kennisleemtes. Daarna beschouwen we vanuit toepasbare-kennisperspectief de geleerde lessen voor het natuurbeheer en natuurbeleid van het Natura2000-gebied Westerschelde en Saeftinghe.

5.5.1 Conclusies en aanbevelingen kennisontwikkeling en kennisleemtes

Als eerste concluderen we dat dit onderzoek niet mogelijk was geweest zonder het langlopende onderzoeksprogramma Langetermijnvisie Westerschelde (LTV). Zowel de daarin ontwikkelde kennis als de instrumentaria waren direct inzetbaar. Omgekeerd is de ontwikkelde kennis en de opgedane ervaring van dit onderzoek bruikbaar om in LTV weer verder te komen. De meerwaarde van een integraal – dat wil zeggen veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid – en structureel gebiedsprogramma gericht op continue verbetering en uitwisseling van de toepasbare kennis heeft zich daarmee bewezen.

In dit onderzoek is een unieke exercitie uitgevoerd waarbij getracht is een niveau van kwantitatieve voorspelling te realiseren die voor een omgeving als de Westerschelde nog niet gekend is. De inzet van hydro-morfologische modellen is meer dan ooit tevoren gekoppeld aan natuurlijkheid (ecologie), waar voorheen deze modellen meer op veiligheid en toegankelijkheid waren gericht. Ook de aanpak om niet op basis van uitgebreide projectmonitoring maar op basis van beschikbare monitoringgegevens een lokale⁴ maatregel te ontwerpen en beoordelen is bijzonder.

De opgave van het onderzoek bleek niet eenvoudig. Op punten werden grenzen van het mogelijke bereikt. Dit is te zien aan de hydrodynamische en morfologische modelresultaten. Het blijkt ook uit het gebruik van ecologische databestanden. In enkele korte opsommingen vatten we de nieuwe kennis en ervaring, maar ook de geconstateerde grenzen samen.

Ten aanzien van bruikbaarheid van data en kennis

- De ecotopenkaarten zijn het belangrijkste instrument waarop de analyse van de natuurlijkheid is gebaseerd. Voor het lokale schaalniveau van de maatregelen zijn de ecotopenkaarten nog minder geschikt. Een vergrote inzetbaarheid van de ecotopenkaarten is zeer waardevol.

De ecotopenkaarten zijn gebaseerd op het Zoute wateren Ecotopenstelsel (RIKZ, 2005). Abiotische grootheden zoals diepte en stroomsnelheid definiëren een ecotoop (Figuur 1.3). De vertaling naar flora en fauna zoals bodemdieren en vogels is indirect. Vooral het onderscheid tussen laagdynamische en hoogdynamische gebieden is in dit onderzoek cruciaal. Bij een voldoende hoge stroomsnelheid komt de bodem in beweging, waardoor die – als 'hoogdynamisch' gedefinieerde – bodem voor maar weinig dieren een geschikte habitat is. Laagdynamische gebieden hebben een grotere biomassa aan bodemdieren (Figuur 2.8) en hebben daardoor een grotere draagkracht voor bijvoorbeeld vogels.

Voor het opstellen van de kaarten worden diepte- en hoogtemetingen en gemodelleerde stroomsnelheden gebruikt. De intergetijdengebieden worden op basis van luchtfoto's gekarteerd, waarvoor geldt dat interpretatieverschillen van jaar tot jaar aanleiding kunnen geven tot extra onzekerheid. Objectivering van de interpretatie is noodzakelijk om de bruikbaarheid van de ecotopenkaarten verder te vergroten, zeker als het schaalniveau waarop de kaarten gebruikt worden kleiner is en het detailniveau dus groter.

⁴ Met 'lokaal' wordt hier een schaal van honderden meters tot ongeveer een kilometer bedoeld. De 'lokale' schaal is minimaal een orde kleiner dan de macrocel-schaal (>10 km) waarin de grootschalige morfologische ontwikkeling als ook het sedimentbeheer van de Westerschelde wordt gekarakteriseerd.

- De beschikbare BIOMON data van bodemdieren (benthos) hebben te lage dichtheden voor het gevraagde detailniveau. Bij de evaluatie van het BIOMON monitoringprogramma zou overwogen moeten worden of en hoe de toepasbaarheid op lokale schaal vergroot zou kunnen worden.

Op de onderzochte locaties zijn slechts enkele metingen per jaar beschikbaar. In dynamische gebieden is dat onvoldoende representatief voor beschrijving van toestand of trend. Hierdoor is slechts een informatieve, kwalitatieve uitspraak mogelijk; voor een wetenschappelijke, kwantitatieve uitspraak over lokale ontwikkelingen zijn er te weinig gegevens. Omdat het BIOMON monitoringprogramma is gericht op uitspraken op het systeemniveau van de hele Westerschelde, is dat overigens begrijpelijk.

Ten aanzien van modelprestaties

- Op de schaal van de beschouwde lokale maatregelen kunnen de computermodellen goed presteren op het gebied van hydrodynamica. Een veelbelovende stap vooruit is gemaakt met de modellering van de stroomsnelheid op platen. Vervolg van de analyse is nog nodig.

Een vergelijking met metingen laat zien dat stroomsnelheid op platen redelijk tot goed berekend wordt, terwijl dit voorheen een probleem was. In het kader van dit onderzoek is echter slechts een beperkte vergelijking tussen metingen en model uitgevoerd. Een nadere analyse is nodig om te bepalen of de hydrodynamische modellen voldoende verbeterd zijn.

- De voorspelbaarheid van hoog- en laagdynamisch intergetijdengebied moet verbeterd worden om bruikbaar te zijn voor beoordeling van autonome ontwikkeling of het effect van maatregelen.

Een goede voorspelling van de stroomsnelheid op intergetijdengebieden is essentieel, vanwege het eerder genoemde onderscheid tussen hoog- of laagdynamisch intergetijdengebied. Omdat we aantallen of biomassa van benthos niet kunnen voorspellen, moeten de abiotische habitatfactoren berekend worden. Als deze gunstig zijn, is het waarschijnlijk dat zich voldoende benthos kan ontwikkelen. Een goede voorspelbaarheid van de stroomsnelheid als bepalende abiotische factor is noodzakelijk om de autonome ontwikkeling of het effect van maatregelen te kunnen beoordelen.

Echter, de stroomsnelheid is niet het enige dat bepaald of een locatie laagdynamisch is. Een vergelijking van de laagdynamische gebieden op basis van de ecotopenkaarten (luchtfoto's) en op basis van de berekende stroomsnelheden laat een wisselend resultaat zien (Tabel 3.1, Tabel 3.2). Dat maakt de voorspelbaarheid nog onvoldoende is en nog te veel onzekerheden heeft.

Het effect van golven en de invloed van de bodemsamenstelling zijn eveneens van belang voor het onderscheid tussen hoog- en laagdynamisch. Nader onderzoek wordt aanbevolen om de methodiek die in dit onderzoek voor het eerst is toegepast, te verbeteren.

- Een kwantitatieve morfologische voorspelling voor een periode tot 10 jaar vooruit, op het detailniveau van dit soort lokale ingrepen, is nog niet mogelijk.

Morfologische modellen zijn ingezet om te kwantificeren hoeveel hectares laagdynamisch intergetijdengebied zal ontstaan door een maatregel. Hoewel de modellen wel kwalitatief inzicht geven in de richting van het effect, is een kwantificatie van hectares op basis van de modelresultaten nog niet mogelijk.

Ten aanzien van ontwikkeling en gedrag estuaria

- De ontwikkelingen in een periode van 10 jaar in het estuarium als geheel en in de gebieden nabij de maatregelen zijn een orde (aantal ordes) groter dan de ontwikkeling als gevolg van de ingreep.
- In de ontwikkeling zit besloten de reactie op een beleid van baggeren en storten, ook een ingreep die feitelijk een orde groter is dan de doorgerkende maatregelen.

Een vergelijking tussen de dieptemetingen van 2001 en 2010 maakt duidelijk dat de veranderingen in de Westerschelde over een periode van 10 jaar groot zijn (bijvoorbeeld Figuur 2.3). Sommige geulen worden meters dieper of ondieper en plaatranden verplaatsen zich over honderden meters. In dit licht zijn de onderzochte maatregelen kleinschalig en marginaal. Lokaal is een positief effect mogelijk, maar door de orde grotere autonome ontwikkeling is het effect onzeker.

Onder andere uit LTV onderzoek is bekend dat de bagger- en stortstrategie van grote invloed is voor de morfologische ontwikkelingen op mesoschaal (de schaal van een plaatgeulstelsel). De toekomstige bagger- en stortstrategie – die uiteraard op dit moment nog niet bekend is – heeft naar alle waarschijnlijkheid dan ook een veel grotere invloed op de ontwikkeling van lokale ecotopen dan de onderzochte maatregelen. Een verdere optimalisatie van de bagger- en stortstrategie met daarin meer aandacht voor de ontwikkeling van ecotopen verdient aanbeveling.

Tenslotte dient blijvend onderkend te worden dat de Westerschelde een dynamisch systeem is. Het is precies die estuariene dynamiek die de Westerschelde karakteriseert, maar ook die de maakbaarheid beperkt. Het vraagt bescheidenheid en terughoudendheid om de toekomstige ontwikkeling en het effect van maatregelen met enige zekerheid te voorspellen. Het volgen, interpreteren en leren van trends moet leiden tot toenemend begrip en daardoor groter wordende voorspelbaarheid. Dit is gaande en dient gecontinueerd te worden.

- Ongestructureerde kennis en data over gebiedsontwikkeling moeten beter ontsloten worden. Dit is juist van belang in relatief data-arme omgeving.

Los van de meetgegevens die onder andere in dit onderzoek zijn beschreven, is er veel kennis en informatie beschikbaar bij 'mensen in het veld'. Dit zijn naast beheerders en onderzoekers die het Schelde-estuarium als hun werkterrein hebben, ook gebruikers zoals scheepvaart, (sport)vissers en vogelaars en andere recreanten. Verhalen en foto's zijn soms wel, maar meestal niet opgetekend, laat staan dat informatie zo is vastgelegd dat zij beschikbaar is voor onderzoeken als deze.

Ecologische monitoring (inclusief ecotopen) is lastig. Voor een goede beschrijving op het detailniveau zoals in dit onderzoek nodig was, is meer informatie nodig dan waarschijnlijk betaald kan worden. Aanvulling met gegevens 'uit het veld' kan zeer waardevol zijn. Essentieel zijn een goede kwaliteitsborging en een objectivering van vaak subjectieve waarnemingen.

5.5.2 Overwegingen en aanbevelingen voor beheer en beleid

De ervaringen en de kennis die de uitvoerende partijen hebben opgedaan over de relatie tussen kennis en beleid en beheer, leiden tot een aantal suggesties voor beleid en beheer. Samengevat wordt aangeraden om (i) herstel van natuurlijkheid vooral te benaderen via de (groot- en kleinschalige) estuariene processen, (ii) de lokale potenties en verschillen meer

mee te wegen, juist ook tussen habitats uit dezelfde categorie, en (iii) de beoordeling van natuurlijkheid meer te baseren op trends dan op momentane toestanden. Zo'n benadering betekent minder sturen op aantallen hectares en meer op potenties, samenhang en kwaliteit.

- Het aantal hectares van een bepaald ecotoop is (vooralsnog) geen bruikbare doelparameter voor natuurherstel. Dit is in het bijzonder het geval voor buitendijkse maatregelen.

Dit onderzoek en het voorgaande onderzoek (Deltares, 2011) hebben de natuurherstelopgave gedefinieerd als het herstel van laagdynamisch intergetijdengebied. Als alternatief voor de ontpoldering van de Hertogin Hedwigepolder is gezocht naar 295 ha, zijnde het equivalente oppervlak van de Hertogin Hedwigepolder. Het oppervlak in hectares was dus de doelparameter.

Op basis van dit onderzoek concluderen wij dat voorspelling van het aantal hectares laagdynamisch intergetijdengebied dat wordt gerealiseerd als resultaat van een maatregel, nog niet goed te voorspellen is. Het aantal hectares blijkt daarmee voor beheer- en beleidsdoeleinden geen bruikbare doelparameter. Dit geldt zeker voor buitendijkse maatregelen. Voor binnendijkse maatregelen is de conclusie genuanceerder, omdat een uitbreiding van het estuarium per definitie een even grote uitbreiding van de estuariene natuur betekent. Over de kwaliteit van die (binnendijkse) natuur zijn minder zekere voorspellingen te doen.

- Om (beredeneerde of berekende) veranderingen in het Schelde-estuarium voor natuurlijkheid te beoordelen moet de wijze van waardering duidelijk zijn. Dit is niet of nog onvoldoende het geval.
- De wijze van waardering moet meer aansluiten bij trends dan bij toestanden.
- Met menselijke ingrepen kan slechts zeer langzaam (via veel 'kleine' maatregelen en via trial-and-error) het grootschalig systeemgedrag beïnvloed kan worden. Het is een zaak van lange adem.

De natuurlijkheid van het Schelde-estuarium kenmerkt zich door verandering en dynamiek, niet door een toestand. De tijdschaal van estuariene dynamiek is al gauw jaren of zelfs tientallen jaren op de schaal van geul-plaatedynamiek (zie bijvoorbeeld Deltares (2011a)). Een wijze van waardering (of een beoordelingskader) dat zich richt op een toestandsbeschrijving, sluit hier niet goed bij aan.

De waarde van een natuurlijk estuarium zit voor een belangrijk deel in de ongestoordheid van de processen (belofte van veerkracht en natuurlijkheid op lange termijn), maar deze kunnen conflicteren met doelen ten aanzien van specifieke soorten, vooral op korte termijn en kleine schaal. Deze processen hebben een component op kleine schaal (gradiënten, mozaïeken) en een component op grote schaal (getijslag, zandvoorraden).

Bij de wijze van waardering hoort ook dat de methode meetbaar en voorspelbaar moet zijn. De thans beschikbare ecologische basisinformatie levert niet voldoende detail (zie hiervoor).

- Vul het instrument van ecotopenkaarten aan met informatie over de estuariene processen die de motor zijn achter opbouw, afbraak of afwisseling.

Onderzocht zou moeten worden hoe de ecotopenkaart verrijkt kan worden tot een soort 'estuariene proceskaart'. De ecotopenkaart is een zeer belangrijk middel om de gebiedstoestand te beschrijven en samen te vatten. Voor delen van het estuarium waar

verandering bij het karakter hoort is dit onvolledig. Een proceskaart voegt daar de verandering en de dynamiek aan toe.

Zo zou bijvoorbeeld onderscheid gemaakt moeten worden tussen intergetijdengebieden langs de oevers (slikken en schorren) en de intergetijdengebieden tussen de geulen (platen). De slikken en schorren kennen veelal minder dynamiek in de ontwikkeling omdat ze zowel aan landzijde (dijk) als waterzijde (geulwandbestorting) begrensd zijn. De mogelijkheden voor estuariene processen zijn dus kleiner. Een ander voorbeeld is dat een zichzelf regenererend schor (dat dus de estuariene processen volledig vertoont) veel hoger wordt gewaardeerd dan bijvoorbeeld 'oud schor'.

De proceskaart is tegelijkertijd een kansenkaart: Welke estuariene processen zijn aanwezig en welke kunnen versterkt worden? Het grootschalig beheer – onder andere de bagger- en stortstrategie – kan zich dan mede richten op het verbeteren van de (randvoorwaarden voor zo'n) kansenkaart.

6 Referenties

- Blomert, A.M. (2002). De samenhang tussen bodemgesteldheid, droogligtijd en foerageerdichtheid van vogels binnen de intergetijdenzone, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, A&W-rapport 330
- Brinkman, A.G. en Ens, B.J. (1998). Effecten van bodemdaling in de Waddenzee op wadvogels, IBN-rapport 371, Wageningen
- Bubinas A en Vaitonis G. 2007. Zoobenthic communities of the near-shore zone of the Baltic Sea (Nida–Juodkrantė water area), *Ekologija*, 1:53-58
- Deltares (2011). Natuurherstel in de Westerschelde: De mogelijkheden nader verkend; Rapport 1204087-000-ZKS-0030; auteur A.J. Nolte e.a., Mei 2011.
- Deltares (2011a). Natuurherstel Schelde-estuarium via verbeteren van grootschalige fysische processen - Inhoudelijke achtergrond en onderbouwing; Rapport 1204087-000-ZKS-0036; auteurs M.D. Taal, J. Cleveringa (Arcadis), C. Kuijper, A.J.F. van der Spek en J.G. de Ronde; Mei 2011.
- Deltares (2012). Eerstelijnsrapportage Westerschelde, Beschikbare data van 1996 t/m 2010, Rapport 1205529-000-ZKS-0006, auteurs ir. J. Vroom, ir. J.A.G. van Gils en ir. H. Holzhauer, Februari 2012.
- MarLIN website: www.marlin.ac.uk
- Preece G S. 1970. Salinity and survival in *Bathyporeia pilosa* and *B. pelagica*, *J Exp Mar Biol Ecol*, 5:234-245
- RIKZ (2007), Werkdocument KRW-Zeegras, contactpersoon D.J. De Jong, RIKZ/ZDO/2007.803.w
- Ruiters, P.S. (1992) Relaties tussen verspreiding en dieetkeuzes van steltlopers en het voorkomen van macrozoobenthos in de Westerschelde, Rapporten en verslagen NIOO 1992-04
- Strucker, R.C.W, Hoekstein, M.S.J. en Wolf, P.A. (2009). Kustbroedvogels in het Deltagebied in 2009, RWS Waterdienst, BM 10.09
- Svašek (2008): Buitendijks natuurherstel in de Westerschelde; Verkenning naar mogelijke gebieden en maatregelen, 9 juli 2008, GD/08187/1480/C.
- Troost, K. en Ysebaert, T. (2011). ANT Oosterschelde: Long-term trends of waders and their dependence on intertidal foraging grounds, Imares, report number C063/11
- Vanermen, N., De Meulenaer, B. en Steinen, E.W.M. (2006). Literature study: shorebirds and their abiotic environment, relation between Shoal Morphology and Shorebirds in the Westerschelde Estuary, Vlaams Instituut voor Natuur- en bosonderzoek, report INBO.A.169

Website Ministerie van EL&I,
<http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=10&id=n2k122&topic=doelstelling>

Website ScheldeMonitor, <http://www.scheldemonitor.org/imis.php?module=dataset&dasid=577>

Ysebaert T en Herman P M J. 2002. Spatial and temporal variation in benthic macrofauna and relationships with environmental variables in an estuarine, intertidal soft-sediment environment, Mar Ecol Prog Ser, 244:105-24

Ysebaert T, Plancke Y, Bolle L, De Mesel I, Vos G, Wielemaker A, Van der Wal D, Herman PMJ. 2009. Habitatmapping Westerschelde – Deelrapport 2: Ecologie en ecotopen in het subtidaal van de Westerschelde. Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie, Yerseke.

Złoch, I en Sapota M R. 2010. Trophic interactions between preadult and adult Pomatoschistus minutus and Pomatoschistus microps and young Platichthys flesus occurring in inshore waters of the Gulf of Gdańsk (Southern Baltic)

A Modelonderzoek Svašek Hydraulics

B Modelonderzoek Arcadis

C Rapport stroomsnelheid, ecotopen en dynamiek (Arcadis)

D Data-overzicht Macrobenthos en Ecotopenkaarten

D.1 Macrobenthos

Kenmerkende soorten

Gekeken naar alle locaties samen is de meest voorkomende soort *Heteromastus filiformis* (draadworm), die op 65% van de 285 locaties gevonden wordt en lokaal in zeer hoge biomassa's voorkomt. Daarnaast worden *Pygospio elegans* (zandkokerworm) het vaakst gevonden, op ongeveer 30% van de locaties, gevolgd door *Macoma balthica* (nonnetje) met 30%, *Bathyporeia pilosa* met 25%. Hieronder wordt wat dieper ingegaan op de ecologie van deze, en een aantal andere kenmerkende soorten gebaseerd op Ysebaert en Herman (2002).

Heteromastus filiformis (Draadworm)

Deze polychaet kan 8 tot 18 centimeter lang worden, maar wordt niet dikker dan 1 millimeter. De worm is rood van kleur en graaft zich, tot een diepte van 40 cm in in fijn zand en slik. De draadworm wordt gegeten door zagers, platvissen en vogels, met name strandlopers als de rosse grutto. *H. filiformis* is de meest voorkomende soort in de Westerschelde, zowel in de zoute als in de brakke zone en heeft een voorkeur voor laag-dynamische, slibrijke gebieden (Ysebaert et al., 2009).

Pygospio elegans (Zandkokerworm)

Deze soort wordt gevonden op zandige kust en slikken en kan maximaal 15 mm lang worden. *P. elegans* maakt een koker van sediment en schelpdeeltjes (Website MarLIN). De zandkokerworm verzamelt voedsel met twee dunne tentakels van 3-4 cm lang. Ze zijn een belangrijke voedselbron voor vis (Bubinas en Vaitonis, 2007).

Macoma balthica (Nonnetje)

De Bivalvia *Macoma balthica* graaft zich in in de slikkige of zandige zeebodem van estuaria en kustwateren (Ysebaert et al., 2009). Deze soort komt in grote aantallen voor en is de meest voorkomende bivalve soort in de Westerschelde. Het nonnetje vergaart zijn voedsel door algen uit het water te filteren, maar deze soort kan ook microphytobenthos van de bodem opzuigen. In de Westerschelde heeft *M. balthica* een voorkeur voor laag-dynamisch gebied dat droogvalt en waar fijn zand aanwezig is (Ysebaert et al., 2009).

Bathyporeia pilosa (Kniksprietkreeftje)

De amfipode *Bathyporeia pilosa* (kniksprietkreeftje) is een deposit feeder. Deze Crustacea is erg tolerant voor fluctuaties in zoutgehalte (Preece, 1970) en komt voor in brak water. *B. pilosa* dient als voedsel voor vis en is o.a. belangrijk in het dieet van platvissen en het dikkopje *Pomatoschistus minutus* (Zloch en Sapota, 2010).

Corophium volutator (Slijkgarnaal)

De amfipode *Corophium volutator* (slijkgarnaal) heeft een lang, dun lichaam en wordt maximaal 11 mm. Hij maakt semi-permanente U-vormige gangen in fijn sediment en is tolerant voor verschillende zoutgehaltes, van volledig zout tot bijna zoet water (MarLIN website). Het dieet van de slijkgarnaal bestaat voornamelijk uit diatomeeën, (ref!) en wordt zelf gegeten door onder andere bergeenden en platvissen.

Hydrobia ulvea (Wadslakje)

Deze aquatische slak wordt maximaal 6 mm, maar individuen zijn meestal kleiner, rond de 4 mm. De schelp is bruin tot geel van kleur, en bestaat uit 6 spiralen. Het lichaam van de slak is doorzichtig grijs, vaak met een paar vlekken.

Hydrobia ulvea wordt vaak gevonden in estuaria (MarLIN website) waar ze grazen op algen en organisch materiaal. Daarnaast wordt deze soort gebruikt als indicator voor TBT, dat bij deze soort imposex (geslachtsverandering) veroorzaakt. Het wadslakje is een voedselbron voor vogels, met name bergeenden.

Nereis diversicolor (Veelkleurige-/Iriserende-/Zeeduizendpoot)

Deze soort is een van de meest voorkomende polycheten in intergetijdengebied in estuaria. Volwassen exemplaren kunnen tussen de 6 en 12 cm lang worden en hebben een plat lijf met een prominent bloedvat op hun rug. De kleur van *N. diversicolor* verschilt van groen tijdens de broedval, tot oranjeachtig tot bruin (Website MarLIN).

N. diversicolor komt voor in substraat met een hoge slibgehalte, in permanente U- of J-vormige gangen die tot 20 cm diep kunnen zijn. Deze soort komt wijdverspreid voor in Noord-West Europa in brak water (Website MarLIN) en is een omnivoor. Het is een belangrijke voedselbron voor vogels.

D.2 Vogels

De Westerschelde is, samen met het Verdrongen land van Saeftinghe, een N2000-gebied. Het gebied heeft deze status onder andere door het belang van het gebied voor (trek)vogels als broed- of foerageergebied. In dit onderzoek is gekozen voor een beperkt literatuuronderzoek en niet op een data-analyse van vogeltellingen, omdat vogels niet gebonden zijn aan de locaties voor natuurherstel.

In deze paragraaf ligt de focus op soorten die in de Westerschelde voorkomen en onder de Natura2000wetgeving vallen. Daarnaast worden soorten besproken voor welke de Westerschelde een belangrijk broedgebied is. Omdat over steltlopers de meeste informatie beschikbaar is, worden vooral soorten uit deze groep worden besproken. Daarnaast is steltlopers een groep vogels die grotendeels afhankelijk is van het intergetijdengebied om te foerageren (Troost & Ysebaert, 2011), meer dan visetende soorten zoals Visdief en Grote Stern. Ook wordt in dit hoofdstuk de relatie tussen de abiotiek, macrobenthos en vogels kort weergegeven. Hierbij is getracht om de informatie zo veel mogelijk op de Westerschelde, en waar mogelijk op de genomineerde locaties, te betrekken.

Om de stand van vogels in de Westerschelde in kaart te brengen zijn diverse onderzoeken en monitoringsprogramma's opgezet. Broedvogelparen en hoogwatervluchtplaatsen worden geteld als onderdeel van monitoringsprogramma's, terwijl laagwatertellingen incidenteel binnen projecten worden uitgevoerd.

De tellingen uit de monitoringsprogramma's geven, omdat deze jaarlijks worden uitgevoerd, inzicht in langetermijnreeksen van een bepaalde soort. De trends uit de broedvogel- en hoogwatertellingen moeten echter gezien worden in relatie tot internationale of landelijke trends. Voor soorten die gelijklopen met landelijke of internationale trends ligt de oorzaak van verandering mogelijk niet binnen het onderzoeksgebied. Als de trend van een bepaalde soort in de Westerschelde afwijkend is van die van een landelijke trend (bijvoorbeeld een soort

neemt wel af in de Westerschelde, maar niet in de Waddenzee) dan is het mogelijk dat de oorzaak van de achteruitgang gezocht moet worden in het gebied zelf.

Laagwatertellingen zijn meer een momentopname, die geen inzicht geven in aantallen in een gebied, maar eerder over hoe een bepaalde vogelsoort een bepaalde ecotoop gebruikt. Deze tellingen geven dus informatie over de manier waarop ecotopen doorwerken op het voorkomen van een bepaalde soort. Deze tellingen zijn echter weinig uitgevoerd, en moeilijk beschikbaar. Daarnaast is het, door verschillen in a-biotiek, moeilijk om relaties die in een gebied zijn waargenomen één op één over te nemen in een ander gebied. Deze factoren moeten in acht worden genomen bij het interpreteren van vogeltellingen.

Soorten beschermd onder Natura2000

De volgende soorten gebruiken de Westerschelde om te broeden: Kluut, Bontbekplevier, Strandplevier, Zwartkopmeeuw, Grote Stern, Visdief, Dwergstern. De Strandplevier, Grote Stern en Dwergstern hebben een zeer ongunstige landelijke staat van instandhouding. De Kluut, Bontbekplevier en Visdief hebben een matig gunstige instandhoudingsstaat (website van het Ministerie van EL&I).

Daarnaast zijn er nog andere, niet-broedsoorten die beschermd zijn onder de N2000 richtlijn. Dit zijn: Scholekster, Fuut, Bergeend, Kluut, Bontbekplevier, Strandplevier, Goudplevier, Zilverplevier, Kanoet, Drieteenstrandloper, Bonte Strandloper, Rosse Grutto, Wulp, Zwarte Ruit, Tureluur, Groenpootruiter en Steenloper. Van deze soorten hebben de volgende soorten een zeer ongunstige landelijke staat van instandhouding: Scholekster, Strandplevier, Goudplevier en Steenloper. Kluut, Kanoet, Drieteenstrandloper en Tureluur hebben een matig gunstige landelijke staat van instandhouding (website van het Ministerie van EL&I).

Lange termijn trends in broedvogels en op hoogwatervluchtplaatsen

Broedvogelparen van kustvogels worden geteld door de Waterdienst van Rijkswaterstaat (Strucker et al., 2009). De belangrijkste broedgebieden in de Westerschelde voor meeuwen en sterns zoals de Zwartkopmeeuw, Grote Stern en Dwergstern liggen in het Westelijk deel van de Westerschelde op de Hooge Platen. Omdat de genomineerde locaties in dit onderzoek voornamelijk in het midden en oostelijk deel van de Westerschelde liggen, wordt er op deze broedgebieden geen groot effect verwacht.

De meeste kustbroedvogels in het Deltagebied⁵ hebben de afgelopen zes jaar geringe veranderingen ondergaan in populatieomvang. Van de 14 soorten die jaarlijks in het Deltagebied broeden, komt de meerderheid (Kluut, Kleine Plevier, Bontbekplevier, Strandplevier, Zwartkopmeeuw, Kokmeeuw, Kleine Mantelmeeuw, Zilvermeeuw, Grote Stern, Visdief en Dwergstern) voor als broedvogel in de Westerschelde.

Van deze soorten vallen de volgende soorten onder de Natura 2000 wetgeving en is de Westerschelde een belangrijk broedgebied: Bontbekplevier (29 paar), Strandplevier (20 paar), Zwartkopmeeuw (800 paar op de Hooge Platen), Grote Stern (5300 paar op de Hooge Platen), Dwergstern (210) en Visdief (grootste kolonie van 720 paar op de Hooge Platen, ook paren in de haven van Terneuzen, en het Konijnenschor). Alleen Bontbekplevier, Strandplevier en Visdief broeden in het centraal en oostelijk deel van de Westerschelde, waar de kans op optreden van eventuele effecten van maatregelen in Appelzak, Platen van Ossenis en Slikken van Hulst het meest waarschijnlijk is.

⁵ Het Deltagebied omvat de volgende deelgebieden: Voordelta, Haringvliet, Hollandsch Diep, Biesbosch, Grevelingenmeer, Volkerakmeer, Oosterschelde, Zoommeer, Markiezaat, Veerse Meer en Westerschelde.

In het gehele Deltagebied is de Bontbekplevier met ongeveer de helft afgenomen; van 219-305 paar in de jaren '80 naar 172 paar in 2009. De Strandplevier vertoont een nog sterkere afname. Volgens de laatste tellingen broedde er 132 paar in 2009, een afname van ongeveer 75% in vergelijking met de 1979-1980. Het aantal broedparen van de Vissdief in de Delta is echter tussen 1979 en 2000 bijna verdrievoudigd. Deze soort vertoont grote schommelingen tussen jaren; in 2009 werden er 5110 paren geteld, terwijl in de drie jaren daarvoor de aantallen nog tussen de 6300 en 7700 schommelden. Voor een gedetailleerd historisch overzicht van de belangrijkste kustvogel soorten in het Deltagebied, zie Strucker et al., 2009.

Naast broedvogels, worden ook tellingen gedaan op hoogwatervluchtplaatsen, waar de vogels samen komen tijdens hoogwater. Deze tellingen worden maandelijks uitgevoerd in de zoutwater regio's in de Zuid-westelijke Delta, inclusief de Westerschelde.

De aantallen voor Scholeksters in de Westerschelde zijn stabiel sinds 1999-2000 (Troost & Ysebaert, 2011). Voor de Kluut, Kanoet, Bergeend, Groenpootruiter, Drieteenstrandloper, Bonte Strandloper en Wulp nemen de aantallen toe, terwijl de Zilverplevier grote fluctuaties vertoont door de jaren heen (Troost & Ysebaert, 2011). De Zwarte Ruiter en Bontbekplevier nemen in aantallen af in de Wester- en Oosterschelde. De Steenloper neemt alleen af in de Westerschelde, terwijl de Tureluur juist stabiel is in dit gebied. Deze vogeltrends moeten in samenhang met de omgeving gezien worden. Trends die gelijklopen met landelijke of internationale trends daar ligt de oorzaak van veranderingen mogelijk niet binnen het onderzoeksgebied. Als een trend in de Westerschelde erg afwijkt van een landelijke of regionale trend dan is de oorzaak mogelijk wel een gevolg van ontwikkelingen in het gebied.

Habitatgeschiktheid

Voor het voorkomen van een vogelsoort zijn twee zaken van belang; de rijkdom van een gebied (dit omvat de biomassa, productie, soortensamenstelling, etc.) en de tijd dat het gebied toegankelijk is (bijvoorbeeld de droogvalduur).

Om een inschatting te kunnen maken van de effecten van bepaalde maatregelen die ingrijpen op de a-biotiek van de Westerschelde, is het van belang om de relatie tussen fysische, biologische en chemische processen en habitats aan de ene kant (bijvoorbeeld weergegeven in de droogvalduur), en tussen habitats en organismen aan de andere kant (bijvoorbeeld weergegeven in productie), in kaart te brengen (Vanermen et al., 2006). Dit is niet eenvoudig. Als een vogelsoort bijvoorbeeld in hoge dichtheden voorkomt in slibrijk gebied, kan dit betekenen dat de prooidieren van vogels een specifieke voorkeur voor slib hebben. Het kan echter ook te maken hebben met de hoeveelheid water op de plaat. Hierdoor kunnen relaties in het ene gebied er anders uitzien dan in het andere gebied.

Relatie abiotiek-macrobenthos-vogels

Parameters in de abiotiek, zoals zoutgehalte, droogvalduur en sediment type beïnvloeden de habitatgeschiktheid voor macrobenthos, en daarmee via de voedselbeschikbaarheid, ook geschiktheid van een gebied voor vogels. Deze relaties zijn moeilijk te kwantificeren, en beschikbare literatuur spreekt elkaar soms tegen. Dit wordt onder andere veroorzaakt door het feit dat het dieet van de meeste vogelsoorten bestaat uit meerdere soorten en soortgroepen macrobenthos. Het is dan ook moeilijk om algemeen geldende relaties af te leiden, en daarmee een uitspraak te doen over het voorkomen van vogels.

Een belangrijke conclusie (Blomert, 2002) van een onderzoek naar vogels in de Westerschelde op basis van laagwatertellingen uit 1990 is dat op slikkig substraat meer

vogels foerageren, en daardoor ook in hogere dichtheden voorkomen, dan op zandig substraat. Daarnaast wordt geconcludeerd dat Bonte Strandloper en Bergeend dominant voorkomen op hooggelegen zones, met een grote droogvalduur, terwijl Rosse Grutto, Wulp, Steenloper en Tureluur juist domineren op laaggelegen platen en slikken. Het oostelijk deel van de Westerschelde, waar de meeste van de genomineerde locaties liggen, is vooral slibrijk, terwijl het midden en westen van de Westerschelde zanderiger is. Dit betekent dat niet duidelijk is in hoeverre de relatie tussen het voorkomen van vogels, en de samenstelling van het sediment, bepaald wordt door het zoutgehalte in dit gebied (Blomert, 2002).

Binnen het project ZEEKENNIS, uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat, zijn ook laagwatertellingen gedaan van vogels in de Westerschelde. Deze laagwatertellingen zijn vooral in het Westelijk deel van de Westerschelde uitgevoerd op 7 locaties in 2003 (Hooge Platen, Schelphoek, Baarland, Zuidgors, Terneuzen, Schorerpolder/Sloehaven en Nijs- en Hooglandpolder), en 41 plots.

Habitat- en voedselvoorkeur van enkele uitgelichte soorten

Van een aantal steltlopersoorten die in de Westerschelde voorkomen en onder de N2000 wetgeving vallen zijn relaties tussen abiotiek, macrobenthos en vogels onderzocht. De soorten die in deze paragraaf worden uitgelicht zijn allen N2000 soorten, en hebben een zeer ongunstige of matig gunstige staat van instandhouding.

- o **Scholeksters** komen in de Westerschelde voor in gebieden met een brede range aan sedimenten, van zandig tot slibbig. Deze soort staat te boek als met name foeragerend op kokkels en mosselen, die vooral op het lagere intergetijdengebied voorkomen. Echter in de Oosterschelde is aangetoond dat hij ook op wormen kan foerageren. Voor de Westerschelde populatie wordt aangenomen dat kokkels de belangrijkste voedselbron zijn.
- o De **Kluut** heeft een voorkeur voor slibrijk sediment om te foerageren, waarschijnlijk omdat zand interfereert met hun manier van foerageren. Hun belangrijkste prooi is de Zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*).
- o In het algemeen komen **Bontbekplevieren** voor op gemengd intermediair tot slibrijk substraat. In de Westerschelde komen ze in de hoogste dichtheden voor op gemengd substraat. In het hogere intergetijdengebied prefereert deze soort gemengd substraat, terwijl in de het lagere intergetijdengebied de voorkeur wordt gegeven aan slibrijk sediment. De belangrijkste prooi is de Zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*), maar ze eten ook insecten, krabben en andere soorten.
- o Over de habitatvoorkeur van **Strandplevieren** is niet veel bekend, maar volgens Troost & Ysebaert (2011) geven ze, in vergelijking met de Bontbekplevier, de voorkeur aan vochtiger substraat en worden ze vaker aangetroffen op intergetijdenplaten. Wormen (Polychaeta), schelpdieren en kreeftachtigen worden genoemd als meest belangrijke voedselbron.
- o De **Zwarte Ruiter** heeft een voorkeur voor slibrijk sediment volgens Blomert (2002), echter andere literatuur (Brinkman en Ens, 1998 uit Vanermen et al., 2006) benoemen deze soort tot een met een voorkeur voor intermediair substraat. Hun dieet is divers en bestaat o.a. uit Zeeduizendpoot, krab en garnalen.
- o **Steenlopers** worden sterk geassocieerd met hard substraat, maar omdat het een opportunistische soort is wordt de Steenloper ook aangetroffen op zowel zandige als slibrijke getijdenplaten. In de Westerschelde werd de hoogste dichtheid van deze soort gemeten op slibrijk sediment met een slibgehalte van meer dan 50%. Het dieet van de Steenloper is zeer divers, maar in de Westerschelde zijn schelpdieren, Zeeduizendpoot, *Corophium* en insecten als belangrijkste prooi gezien (Ruiters, 1992).

Conclusie

De Westerschelde is een belangrijk gebied voor vogels om te foerageren en broeden. Voor visetende vogels zoals meeuwen en sterns is de Westerschelde, met name het westelijk deel, een belangrijk broedgebied. Steltlopers zijn vooral afhankelijk van het intergetijdengebied in de Westerschelde voor hun voedselvoorziening.

Voor het verkrijgen van inzichten in langetermijntrends in de Westerschelde wordt gebruik gemaakt van broedvogel- en hoogwatertellingen. Voor broedvogels zijn de populaties in de Westerschelde redelijk stabiel. Voor Bontbekplevier, en Strandplevier, die een afname vertonen in aantal broedparen, en Visdief, die een toename laat zien, hebben broedplaatsen in de buurt van genomineerde locaties, en is het mogelijk dat eventuele effecten van maatregelen in broedgebieden van deze soorten optreden. De hoogwatertellingen in de Westerschelde laten stabiliteit zien voor de Scholekster en Tureluur, terwijl voor een aantal soorten (Kluut, Kanoet, Bergeend, Groenpootruiter, Drieteenstrandloper, Bonte Strandloper en Wulp) aantallen afnemen. De Zilverplevier vertoont grote fluctuaties door de jaren heen. Een aantal soorten (Zwarte Ruiter, Bontbekplevier, Steenloper) neemt af. Veranderingen in lange termijn trends moeten echter wel in relatie tot internationale of landelijke trends worden gezien.

De meeste vogels in de Westerschelde prefereren slikkig of gemengd sediment en foerageren voornamelijk op zeeduizendpoot, polychaeten, krabben en schelpdieren. De meeste soorten hebben echter een divers dieet, en zijn niet afhankelijk van één soort als voedselbron. Daarnaast kan het dieet van een vogelsoort verschillen per locatie.

Het voorkomen van vogels in een bepaald gebied hangt af van de habitatgeschiktheid en de hoeveelheid beschikbaar voedsel, maar het in kaart brengen, en zeker het kwantificeren van deze relaties is erg moeilijk. Hierdoor zijn de onzekerheden over het optreden van eventuele effecten van maatregelen op de genomineerde locaties groot.