

**Effecten van spuilocaties 1A en 2A  
op hydraulica, morfologie en ecologie  
van de Waddenzee**

**28 januari 2003**

Rapport RIKZ/2003.018

**Effecten van spuilocaties 1A en 2A  
op hydraulica, morfologie en ecologie  
van de Waddenzee**

28 januari 2003

Rapport RIKZ/2003.018

<b>Titel</b>	Effecten van spuilocaties 1A en 2A op hydraulica, morfologie en ecologie vd Waddenzee			
<b>Status</b>	Definitief			
<b>Auteurs</b>		<b>Review</b>		<b>Goedkeuring</b>
Dr. A.P. Oost -RIKZ Ir. M. Bokhorst - RIKZ Dr. J.M. de Kok -RIKZ Ir. L. Heuer – Haskoning Ir. E. Collard - Haskoning		Dr. J. de Vlas Ir J.G. de Ronde		Dr ir. R.H.B. Kersten (UM) Drs. G.J. Rotmensen (PL)
<b>Vastgesteld door</b>		<b>Datum</b>		<b>Paraaf</b>
Opdrachtgever Programmaleider Projectleider				

---

## Inhoudsopgave

---

<b>Inhoudsopgave</b>	<b>3</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Aanleiding	9
1.2 Fase 2	9
1.3 Doelstelling	10
1.4 Leeswijzer	10
<b>2 Aanpak op hoofdlijnen</b>	<b>11</b>
2.1 Inleiding	11
2.2 Werkwijze	11
2.3 Uitgangspunten	11
2.4 Beoordelingscriteria	12
2.5 Relevante variabelen bij keuze scenario's	12
<b>3 Hydraulische effecten</b>	<b>15</b>
3.1 Inleiding	15
3.2 Aanpak hydraulica: TRIWAQ	15
3.2.1 Modelinstrumentarium	15
3.2.2 Verificatie van het model	16
3.2.3 Inspelen en randvoorwaarden	18
3.2.4 Modelberekeningen	18
3.3 Hydraulica Waddenzeesysteem	21
3.4 Modelresultaten: TRIWAQ	23
3.4.1 Verificatie	23
3.4.2 Toepasbaarheid modelresultaten	24
3.4.3 Hydraulische effecten nieuwe spuisluis	25
3.4.4 Effecten autonome ontwikkelingen	28
3.4.5 Vergelijking locatiealternatief 1A en 2A	28
3.5 Aanpak transportmodellering: DELWAQ	29
3.5.1 Inleiding	29
3.5.2 Methodiek	29
3.5.3 Verificatie	31
3.6 Conclusies	31
3.7 Aanbevelingen	32
<b>4 Morfologie</b>	<b>35</b>
4.1 Inleiding	35
4.2 Aanpak	35
4.3 Slib	36
4.3.1 Slibimport	36
4.3.2 Slibconcentratie	37
4.3.3 Kans op slibbezinking	38
4.3.4 Kans op permanente depositie: dwarsdoorsnede geulen	38
4.3.5 Conclusies slib	39
4.4 Kwelders	40
4.5 Plaatontwikkeling	40

---

4.6	Buitendelta's	41
4.7	Eindconclusie morfologie	41
<b>5</b>	<b>Ecologische effecten</b>	<b>43</b>
5.1	Inleiding	43
5.2	Aanpak	43
5.3	Effecten door veranderingen van saliniteit	44
5.4	Effecten door verandering van het voedselaanbod	51
5.5	Effecten door de vorming van een erosiekuil	53
5.6	Conclusies	53
5.7	Aanbevelingen	53
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>57</b>
6.1	Gevolgen aanleg nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk	57
6.2	Vershil in effecten voor locatiealternatief 1A en 2A	58
6.3	Fase 3	58
	<b>Verklarende woordenlijst</b>	<b>59</b>
	<b>Literatuurlijst</b>	<b>63</b>
	<b>Lijst van tabellen</b>	<b>65</b>
	<b>Lijst van figuren</b>	<b>67</b>
	<b>Bijlage 1: Tabellen</b>	<b>71</b>
	<b>Bijlage 2: Figuren</b>	<b>85</b>

---

## Samenvatting

---

De huidige spuicapaciteit in de Afsluitdijk is onvoldoende om het streefpeil in het IJsselmeer goed te kunnen handhaven. Gezien de verwachte zeespiegelrijzing en toename van de piekdebieten van de IJssel wordt dit in de toekomst nog moeilijker. Daarom worden de mogelijkheden voor verdubbeling van de spuicapaciteit onderzocht

Het onderzoek is in drie fasen uitgevoerd. Tijdens de eerste fase is onderzocht welke locaties in de Afsluitdijk het meest geschikt zijn voor de aanleg van een extra spuumiddel. Vijf alternatieve locaties zijn onderzocht en er bleven twee locaties over die gegeven de verwachte effecten op natuur en milieu als meest geschikt werden beoordeeld, locatie 1A en 2A. Voor deze twee locaties is tijdens fase 2 van de effectenstudie meer in detail onderzocht wat de effecten zijn. Tijdens fase 3 zal voor een van beide locaties de effecten op hydraulica, morfologie en ecologie van de Waddenzee nader worden onderzocht.

Bij het bestuderen van de effecten van een nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk is steeds onderscheid gemaakt in hydraulische, morfologische en ecologische effecten. De hydraulische effecten worden als basis gebruikt om de morfologische en ecologische gevolgen in beeld te brengen.

Om de hydraulische effecten te bepalen is gebruik gemaakt van een 3D hydraulisch model: TRIWAQ. De correcte werking van TRIWAQ is geverifieerd door vergelijking van twee 13-uursmetingen in de Doove Balg (15 december 1982) en in de Vliestroom (12 januari 1983) met modeluitkomsten voor dezelfde twee periodes. Ook zijn achteraf, na het doorrekenen van de gekozen scenario's, de modelresultaten vergeleken met waarden genoemd in het proefschrift van Zimmerman [lit.1]. Uit de verificatie blijkt dat de berekende waterstanden goed gereproduceerd worden. De stroomsnelheden en saliniteiten worden redelijk gereproduceerd.

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de huidige situatie en de situatie met een nieuw spuumiddel zijn 38 sommen, die een breed spectrum aan omstandigheden (getij, wind en afvoer) vertegenwoordigen, doorgerekend.

Als basis voor deze sommen is de periode oktober en november 1998 gekozen, waarbij voor elke som een maatgevende dag gekozen is. Voorafgaand aan deze dag is eerst 10 dagen 2D gerekend met het IJsselmeermodel, gevolgd door 9 dagen (18 getijperioden) 3D met TRIWAQ. Voor de zeerandvoorwaarden is een tijdreeks van waterstanden opgelegd en een tijdreeks van saliniteiten, bepaald met een reeks van 2D modellen (Coastal Shelf Model, Zuidelijk Noordzee model en het Kuststrookmodel). Voor de spuidebieten is voor de scenario's met alleen de huidige spuisluizen en de autonome ontwikkeling gebruik gemaakt van de actuele openings- en sluitingstijden van Kornwerderzand en Den Oever. Voor de scenario's met de nieuwe spuisluis zijn spuidebieten, die door SOBEM met het Bekkenspuimodel gegenereerd zijn, gebruikt.

De 38 sommen zijn cyclisch doorgerekend, dat wil zeggen dat gedurende deze 9 dagen hetzelfde getij, spuidebiet en wind aangehouden is. De resultaten van de laatste van deze 18 dagen is gebruikt voor vergelijking tussen de huidige

---

situatie en de situatie met spuumiddel. Achteraf bleken niet alle 38 sommen voor vergelijking bruikbaar, omdat in een aantal gevallen faseverschuivingen tussen de SOBEM-resultaten en de TRIWAQ-resultaten voorkwamen en omdat de spuidebieten in een aantal scenario's onderling van niet vergelijkbare orde van grootte waren.

Uit de berekeningen bleek dat door een nieuwe spuisluis het noordoostelijk deel van de Waddenzee iets zoeter (0 tot 3 psu) en het zuidwestelijk deel iets zouter wordt (ook 0 tot 3 psu). Door de nieuwe spuisluis zullen de ebsnelheden in de Doove Balg en de Vlieter iets toenemen, de vloednelheden nemen marginaal af.

Op grond van hydraulische overwegingen is geen voorkeur voor een van de twee alternatieven te geven, omdat:

- de verschillen in saliniteiten tussen locatiealternatief 1A en 2A marginaal zijn.
- de verschillen in stroomsnelheden zijn orde grootte 4 à 5 cm/s, hetgeen ook marginaal is.
- de verschillen in waterstanden zijn in de nabijheid van de spuilocaties soms maximaal 8 cm, maar zijn overal elders in de westelijke Waddenzee kleiner (variërend tussen 0 en 2 cm).

Om de morfologische effecten van een nieuwe spuisluis te bepalen zijn van de 38 gemaakte sommen de sommen met gemiddeld getij en lage afvoer en met gemiddeld getij en hoge afvoer voor T0, locatiealternatief 1A en locatiealternatief 2A gebruikt. Hierbij is gekeken naar slib en zand.

Voor slib is gekeken naar de import van slib via het zeegat, de concentratie van slib door gravitatiecirculatie, de kans op lokale bezinking door afname van de stroomsnelheid en de kans op permanente bezinking door overdiepte van de geulen. Op basis hiervan is gekeken of:

- de slibtoevoer naar de kwelders zou kunnen veranderen.
- er significante diepteveranderingen van de platen ten opzichte van de waterstand te verwachten te zijn.
- de buitendelta van volume kan veranderen.

Voor slib wordt geconcludeerd dat lokaal met slibsedimentatie rekening moet worden gehouden, bijvoorbeeld bij de spuipunten en nabij Robbezand. Aan de andere kant is het de vraag of deze effecten aangetoond kunnen worden in het veld, omdat dit nu ook al plekken zijn waar sterke slibsedimentatie in nabijgelegen gebieden optreedt en die als slibbron zullen fungeren.

Voor kwelders wordt geconcludeerd dat de aanvoer van slib naar kwelders gemiddeld weinig zal veranderen. Ten aanzien van platen is uit de modelberekeningen gebleken dat de waterpeilen bij gemiddeld getij maximaal 1 cm hoger zullen worden voor hoogwater en maximaal 2 cm lager voor laagwater. De platen zullen vermoedelijk de waterpeilen beperkt volgen. Verwacht wordt dat de hoge platen minder dan 0,5 cm hoger zullen worden en de lage platen minder dan 1 cm lager zullen worden. Dergelijke veranderingen zijn insignificant en in de praktijk onmeetbaar.

De buitendelta's, lobvormige zandlichamen die zeewaarts van het zeegat liggen, zijn direct gerelateerd aan het dominant getij. Veranderingen in het dominant getij als gevolg van een nieuwe spuisluis zullen naar verwachting orde grootte 1000 m<sup>3</sup> zijn voor het Vlie en Marsdiep als gevolg van een spuisluis

---

op locatiealternatief 2A en ordegrootte 200 m<sup>3</sup> voor het Eierlandsche gat als gevolg van een spuisluis op locatiealternatief 1A. Dit is een verschil van ongeveer 0,5 %, wat als insignificant wordt beschouwd.

De eindconclusie ten aanzien van de morfologische effecten van een nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk is dat er vrijwel geen onderscheid te maken is tussen locatiealternatief 1A en 2A.

De deelstudie ecologie heeft zich verder toegespitst op de effecten van een extra spuumiddel op de bodemfauna vanwege de sleutelrol die deze organismen spelen in het ecosysteem van de Waddenzee. Allereerst is middels een verkennende studie getracht de huidige effecten van de spuisluizen op de bodemfauna in kaart te brengen. Deze konden evenwel niet worden aangetoond. Om deze reden zijn een aantal surveys uitgevoerd op platen in de nabijheid van de spuumiddelen. De resultaten daarvan worden in fase 3 nader geanalyseerd. Om de effecten van een verandering van de saliniteitspatronen in te schatten zijn relaties tussen a-biotiek en voorkomen van de bodemfauna zoals afgeleid voor de Westerschelde toegepast voor de westelijke Waddenzee. De resultaten lieten een onrealistische verpreiding van de onderzochte bodemfaunasoorten zien. In fase 3 van de studie worden Waddenzee specifieke relaties afgeleid. Vervolgens is een recht-toe recht-aan methodiek opgezet om het effect van de saliniteit op de bodemfauna in te schatten door te kijken naar langdurige onderschrijdingen van lage zoutconcentraties. Om het effect op het voedselaanbod voor de bodemfauna te bepalen is een ecologisch stroommodel ontwikkeld.

Op basis van de resultaten worden de volgende veranderingen in de ecologie verwacht door de aanleg van een nieuwe spuisluis ten opzichte van de huidige situatie:

- De soortensamenstelling van de bodemfauna zal nauwelijks wijzigen.
- Het gebied waar de kokkel, een voor verzoeting gevoelig organisme, niet voorkomt is minimaal en beperkt zich tot de directe omgeving van de spuisluizen.
- Het gebied waar de groei van de kokkel wordt beperkt door verzoeting verplaatst zich van de omgeving van Den Oever naar het Kornwerderzand en zijn directe omgeving.
- De meeste andere aanwezige bodemorganismen zijn minder gevoelig voor verzoeting (bijvoorbeeld de mossel). Voor deze organismen zal het beïnvloedingsgebied naar verwachting kleiner zijn.
- Het voedselaanbod in het sediment en de waterkolom zal iets wijzigen: een geringe verarming in de omgeving van Den Oever en een geringe verrijking in de omgeving van Kornwerderzand. Tegelijkertijd vormt het zoete water een stress-factor die afneemt bij Den Oever en toeneemt bij Kornwerderzand. Het uiteindelijke effect op het voedselaanbod is daardoor naar verwachting gering.
- In de erosiekuil zal geen bodemfauna van betekenis voorkomen.

De verschillen in ecologisch effect tussen variant 1A en 2A zijn verwaarloosbaar, behoudens lokale effecten in de directe omgeving van het spuumiddel, bijvoorbeeld als gevolg van de vorming van een erosiekuil en het voorkomen van extreem lage saliniteiten.

De hoofdconclusie van het totale onderzoek is tweeledig:

- Ten aanzien van de effecten van een nieuwe spuisluis in vergelijking tot de huidige situatie wordt geconcludeerd dat er slechts marginale effecten te

---

verwachten zijn. Zo wordt het noordoostelijk deel van de Waddenzee iets zoeter en het zuidwestelijk deel iets zouter. De veranderingen zijn ordegrrootte plus of min 3 psu.

- Ten aanzien van het onderling verschil in effecten tussen locatiealternatief 1A en 2A wordt geconcludeerd dat zowel uit hydraulisch, morfologisch als ecologisch oogpunt er geen duidelijke voorkeur voor een van beide locaties kan worden gegeven.

Tijdens het onderzoek bleken er op diverse onderdelen vragen ten aanzien van de resultaten te ontstaan. Daarom is in april 2002 een plan van aanpak opgesteld om deze vragen te onderzoeken. De resultaten hiervan zullen in de rapportages van fase 3 worden gepresenteerd.



---

# 1 Inleiding

---

## 1.1 Aanleiding

Uit de notitie "aankpak wateroverlast" (1999) van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat blijkt dat de huidige spuicapaciteit in de Afsluitdijk onvoldoende is om het streefpeil in het IJsselmeer goed te kunnen handhaven. Gezien de verwachte zeespiegelstijging en toename van de piekdebieten van de IJssel wordt dit in de toekomst nog moeilijker. Daarom wordt een vergroting van de bestaande spuicapaciteit in de Afsluitdijk voorbereid.

Volgens berekeningen zal een verdubbeling van de spuicapaciteit nodig zijn om het streefpeil tot tenminste 2050 beter te kunnen handhaven. Voor de realisatie hiervan is de directie IJsselmeergebied van Rijkswaterstaat een planstudie gestart, genaamd Extra Spuicapaciteit en versterking van de Ecologische Samenhang langs de Afsluitdijk ([ES]2-Afsluitdijk), waarin onderzocht wordt waar en hoe het beste een extra spuumiddel aangelegd kan worden.

Een nieuw spuumiddel kan, al naar gelang de ligging, effecten veroorzaken in het Waddengebied en het IJsselmeer op hydraulisch, morfologisch en/of ecologisch gebied. Om deze reden is er een m.e.r.-procedure gestart. Ter onderbouwing van de m.e.r. (milieueffectrapportage) wordt een effectenstudie uitgevoerd. Deze rapportage is daar een onderdeel van.

## 1.2 Fase 2

Het onderzoek is in drie fasen uitgevoerd. Tijdens de eerste fase is onderzocht welke locaties in de Afsluitdijk het meest geschikt zijn voor de aanleg van een extra spuumiddel. Vijf alternatieve locaties zijn onderzocht en er bleven twee locaties over die gegeven de verwachte effecten op natuur en milieu als meest geschikt werden beoordeeld, locatie 1A en 2A. Voor deze twee locaties is tijdens fase 2 van de effectenstudie meer in detail onderzocht wat de effecten zijn. Tijdens fase 3 zal voor een van beide locaties de effecten op hydraulica, morfologie en ecologie van de Waddenzee nader worden onderzocht.

Locatiealternatief 1A is gesitueerd ten westen van de bestaande spuisluisen bij Kornwerderzand in de knik van de Afsluitdijk. Het nieuwe spuicomplex ligt dichtbij de bestaande spuisluisen en de Boontjes/Doove Balg. Deze locatie heeft als voordeel dat het gemiddelde verval door opwaaiing in het IJsselmeer en de relatief lage laagwaterstanden ter plekke, hier maximaal is. Een nadeel is dat deze locatie niet direct uitmondt op de Doove Balg, maar daarvan gescheiden wordt door een 1,2 kilometer breed complex van subgetijdeplaten en geulen.

Locatiealternatief 2A is gesitueerd op 4,3 kilometer ten westen van de knik in de Afsluitdijk. Het nieuwe spuicomplex wordt gescheiden van de Doove Balg door een 1,4 kilometer breed complex van subgetijdeplaten en geulen. Het gemiddelde verval is hier iets lager dan in spuilocatie 1A.

.....  
**Figuur 1.1:**  
De locatiealternatieven.



In dit rapport wordt geen aandacht besteed aan de effecten op gebruiksfuncties.

Deze studie richt zich op far field effecten van een nieuwe spuisluis op de westelijke Waddenzee. Near field effecten, bijvoorbeeld het ontstaan van een erosiekuilen nabij de spui punten, worden in deze studie niet morfologisch en hydraulisch onderzocht. Dit onderzoek wordt uitgevoerd door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat.

### 1.3 Doelstelling

Het doel van fase 2 van de effectenstudie is:

*“Op basis van modelstudies en expert-judgement vaststellen welke hydraulische, morfologische en ecologische effecten in de westelijke Waddenzee zullen optreden bij ingebruikname van een extra spuisluis in de Afsluitdijk op locatie 1A of 2A en vaststellen welke locatie de voorkeur verdient.”*

### 1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 1 beschrijft de aanleiding en de doelstelling van de effectenstudie, waarvan deze rapportage een onderdeel is. Hoofdstuk 2 beschrijft de aanpak van de effectenstudie op hoofdlijnen. In hoofdstuk 3 wordt de effectenstudie hydraulica en de resultaten daarvan beschreven. Onderdeel hiervan is een toelichting van de effecten van een nieuwe spuisluis t.o.v. de huidige situatie en een vergelijking tussen locatiealternatief 1A en 2A. Hoofdstuk 4 en 5 gaan achtereenvolgend in op de morfologische en ecologische effecten. In hoofdstuk 6 worden de conclusies samengevat.

---

## 2 Aanpak op hoofdlijnen

---

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt allereerst de aanpak om de effecten van een nieuwe spuisluis te bepalen beschreven. In hoofdstuk 3 worden de hydraulische effecten toegelicht, gevolgd door een beschrijving van de morfologische effecten in hoofdstuk 4 en van de ecologische effecten in hoofdstuk 5.

### 2.2 Werkwijze

Het bepalen van de mogelijke effecten van een nieuwe spuisluis wordt in fase 2 van de effectenstudie gedaan door het doorrekenen van een aantal scenario's. Hierbij is gekozen om in eerste instantie de mogelijke effecten van het inzetten van een nieuw spuimiddel voor extreme situaties in kaart te brengen.

Deze aanpak is gebaseerd op de gedachte dat alle andere mogelijke gevolgen minder ernstig zullen zijn dan de gevolgen van de meest extreme voorgekomen en voor de toekomst verwachte scenario's. Voor de m.e.r.-procedure is het van belang om mogelijke gevolgen van een nieuwe spuisluis te beschouwen, zodat mitigatie- en compensatiemaatregelen genomen kunnen worden om eventuele nadelige gevolgen te voorkomen of te reduceren. Wanneer de mitigatie- en compensatiemaatregelen de meest maximale effecten kunnen voorkomen is een belangrijk doel van de m.e.r.-procedure bereikt.

De aanpak van het in kaart brengen van de diverse effecten is op hoofdlijnen als volgt:

1. Kies een aantal extreme situaties.
2. Reken deze 3D door met en zonder nieuwe spuisluizen op locaties 1A en 2A.
3. Vergelijk deze onderling en analyseer de hydraulische effecten.
4. Op grond van de hydraulische veranderingen: schat in of bereken de morfologische effecten.
5. Op grond van de hydraulische en morfologische veranderingen: schat in of bereken de ecologische effecten.

Voor het bepalen van de effecten is gekozen om dit op basis van 3D modelberekeningen te doen. Deze keuze is gemaakt, omdat verwacht werd dat estuariene circulatie en stratificatie een belangrijke rol spelen voor de morfologische en ecologische effecten. Estuariene circulatie en stratificatie zijn alleen met 3D modelberekeningen in beeld te brengen.

### 2.3 Uitgangspunten

Uitgangspunt bij dit project is dat de totale hoeveelheid water die er in de huidige situatie jaarlijks vanuit het IJsselmeer op de Waddenzee geloosd wordt niet zal veranderen als gevolg van de aanleg van een nieuw spuimiddel.

Tevens is als uitgangspunt voor deze studie gehanteerd dat het nieuwe spuimiddel op locatie 1A of 2A een capaciteit (doorstroomoppervlakte) zal

---

hebben die ongeveer 0.75 maal zo groot is als die van de huidige spuumiddelen bij Den Oever en Kornwerderzand samen.

#### 2.4 Beoordelingscriteria

De analyse van de effecten vindt plaats aan de hand van een aantal beoordelingscriteria. De hydraulische aspecten op basis waarvan de morfologische en ecologische effecten bepaald worden zijn:

- Waterstand (getijamplitude en vorm, maximum en minimum waterstand)
- Saliniteit: Horizontale verspreiding  
Verticale verdeling (stratificatie)
- Stroomsnelheid (maximum en tijdsduur van overschrijding bepaalde waarde)
- Debieten (maximum en hoeveelheid geïntegreerd over het getij)

De morfologische effecten worden beschreven aan de hand van de volgende beoordelingscriteria:

- Slib: Slibimport  
Slibconcentratie door gravitatiecirculatie  
Slibbezinking door stroomsnelheidsveranderingen  
Permanente slibsedimentatie door lokale snelheidsafname
- Zand (transporten)
- Geulen (ligging en diepte)
- Platen: Plaatareaal  
Slibgehalte platen
- Buitendelta's (omvang)
- Kwelders (opslibbing en erosie)

De ecologische effecten worden beschreven aan de hand van:

- Zoutgehalte
- Stroomsnelheid
- Sedimenttype
- Bodemfauna in de geulen
- Bodemfauna op de platen
- Soortenrijkdom
- Kokkels
- Aanvoer van organisch materiaal
- Lokale productie van organisch materiaal
- Erosiekuilen
- Droogvalduur

De effecten van een nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk worden voor elk van de bovengenoemde beoordelingscriteria beschreven in hoofdstuk 3, 4 en 5.

#### 2.5 Relevante variabelen bij keuze scenario's

De volgende variabelen bepalen de hydraulische effecten van de lozingen:

1. Plaats van de lozing (locatiealternatief 1A, 2A of de huidige spuilocaties plus hun onderlinge verhouding).
2. Grootte van de lozing (het spuidebiet).
3. Getij (doodtij, gemiddeld tij of springtij).
4. Windrichting.
5. Windsterkte (windsnelheid).

---

Om een keuze te kunnen maken welke scenario's representatief zijn om de meest extreme effecten van een nieuwe spuisluis goed in beeld te brengen is gekeken naar:

1. Grootte lozing: de daggemiddelde spuidebieten varieerden in de periode 1976-1997 tussen 0 en 3000 m<sup>3</sup>/s, met een jaargemiddelde van 500 m<sup>3</sup>/s [lit. 2].
2. Getij: de getijslag is van direct belang op de grootte van de lozing.
3. Windrichting
4. Windsterkte

De wens voor een nieuwe spuisluis is vastgelegd in de notitie "aanpak wateroverlast" (1999), die naar aanleiding van de wateroverlast in de lage delen van Nederland als gevolg van extreme neerslaghoeveelheden in 1998 is opgesteld. Het jaar 1998 was het natste jaar van de twintigste eeuw. Het IJsselmeerpeil steeg tot NAP+0.50 m (winterstreefpeil is NAP-0.40 m), omdat het vanwege de aanhoudende noordwestelijke wind onmogelijk was water van het IJsselmeer naar de Waddenzee te spuien.

Mede daarom is om de maximale effecten van een nieuwe spuisluis vast te stellen gekozen voor scenario's uit de periode Oktober – November 1998. In de maanden Oktober en November 1998 met daggemiddelde debieten tussen 285 en 3432 m<sup>3</sup>/s zijn zowel spuidebieten van ongeveer een gemiddelde grootte (de jaargemiddelde afvoer is circa 500 m<sup>3</sup>/s [lit. 2]) als extreem hoge spuidebieten opgetreden. Daarnaast bevat deze periode een aantal doortij-springtij cycli. In deze periode was de maximale wind 11.1 m/s, hetgeen overeenkomt met een krappe 6 Bft.



---

## 3 Hydraulische effecten

---

### 3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de hydraulische effecten van een nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk en de wijze waarop deze effecten bepaald zijn. Hierbij is gebruik gemaakt van het hydraulisch model TRIWAQ- en het transportmodel DELWAQ. Paragraaf 3.2 beschrijft de aanpak voor de TRIWAQ-berekeningen, waarbij ingegaan wordt op het modelinstrumentarium, verificatie van het model, het inspelen van het model, de randvoorwaarden en de selectie van de modelberekeningen (38 scenario's).

Paragraaf 3.3 beschrijft in het algemeen de hydraulica van het Waddenzeesysteem. In paragraaf 3.4 worden de modelresultaten van TRIWAQ beschreven. Hier wordt allereerst ingegaan op de modelresultaten van de verificatie, gevolgd door een samenvatting van de hydraulische effecten van de nieuwe spuisluis, de autonome ontwikkelingen en tot slot een vergelijking tussen locatiealternatief 1A en 2A. Paragraaf 3.5 beschrijft de aanpak voor de transportmodellering met DELWAQ. In paragraaf 3.6 tenslotte worden de conclusies en aanbevelingen ten aanzien van de TRIWAQ en DELWAQ berekeningen gegeven.

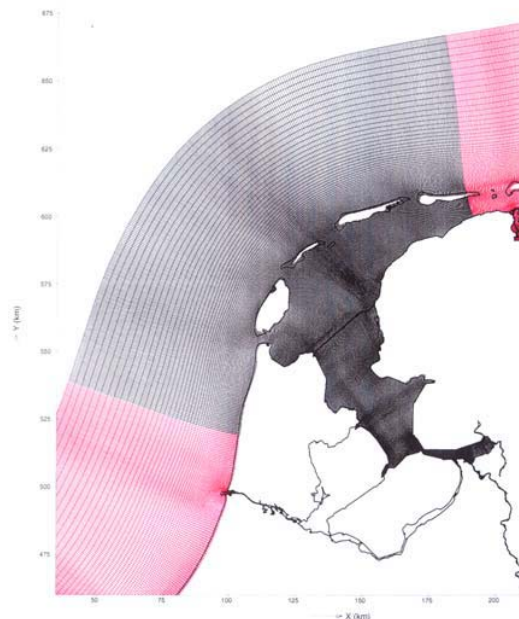
### 3.2 Aanpak hydraulica: TRIWAQ

#### 3.2.1 Modelinstrumentarium

Om de hydraulische effecten van een nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk te bepalen is gebruik gemaakt van een 3D hydraulisch model: het IJsselmeermodeel. Hiervan is alleen het Waddenzeedeel gebruikt. In Figuur 3.1 wordt het model getoond in samenhang met het model Kuststrook, waarbinnen het genest is. Beide modellen zijn onderdeel van de Rijkswaterstaat modellentrein.

---

**Figuur 3.1:**  
Rekenrooster IJsselmeer model en Kuststrook  
model: Samenhang modellen.



---

De hierbij gebruikte modelprogrammatuur betreft de verticale domein decompositie versie van SIMONA – TRIWAQ. SIMONA staat voor Simulatie Modellen Natte waterstaat en is een management systeem voor modelprogramma's en modelschematisaties. TRIWAQ is een van de software modellen die in SIMONA opgenomen zijn. Meer informatie over het toegepaste modelinstrumentarium is te vinden in [lit 3]. Voor de opgelegde randvoorwaarden zijn modellen gebruikt. De waterstand- en zout waarden op de zeeranden zijn bepaald met het Kuststrook model. De spuidebieten zijn berekend met het SOBEK model Bekkenspui [lit. 4].

### 3.2.2 Verificatie van het model

Het TRIWAQ IJsselmeer model is in een eerdere fase afgeregeld op waterstanden tijdens stromconditiets [lit. 5]. In het kader van dit project is een verificatie uitgevoerd met name gericht op reproductie van stroomsnelheden en saliniteiten. Waterstandmetingen waren voldoende beschikbaar, maar voor de verificatie van het model op stroomsnelheden en saliniteit waren zeer weinig meetgegevens beschikbaar. Uiteindelijk bleken slechts twee 13 uren metingen op ongeveer 1 meter boven de bodem en 1 meter onder het oppervlak beschikbaar om de snelheid en de saliniteit te verifiëren:

- Een 13 uren meting van 15 december 1982 in de Doove Balg.
- Een 13 uren meting van 12 januari 1983 in de Vliestroom.

Om de verificatie uit te kunnen voeren zijn de periodes december 1982 en januari 1983 met het IJsselmeer model doorgerekend. Hiervoor is eerst een periode van twee maanden met het CSM-model (Coastal Shelf Model) doorgerekend om randvoorwaarden voor het Zuidelijk Noordzee model te genereren. Vervolgens zijn deze twee maanden met de genereerde randvoorwaarden uit het CSM-model doorgerekend om randvoorwaarden voor het Kuststrook-model en het IJsselmeer-model te genereren. Vervolgens zijn het Kuststrook-model (2D) en het IJsselmeer-model (3D) voor twee perioden van twaalf dagen rondom de beschikbare metingen doorgerekend met als doel om waterstanden, stroomsnelheden en saliniteiten te kunnen vergelijken. In zowel het Kuststrook-model als het IJsselmeer-model zijn de spuidebieten van Den Oever en Kornwerderzand als tijdseries (blokfuncties) opgelegd. Voor alle modellen is gebruik gemaakt van getij-sturing op open randen en toepassing van SVWP (Space Varying Wind and Pressure fields), waarbij in tijd (met intervallen van 6 uur) en ruimte variërende windsnelheden en luchtdrukken worden opgelegd, voor het binnengebied.

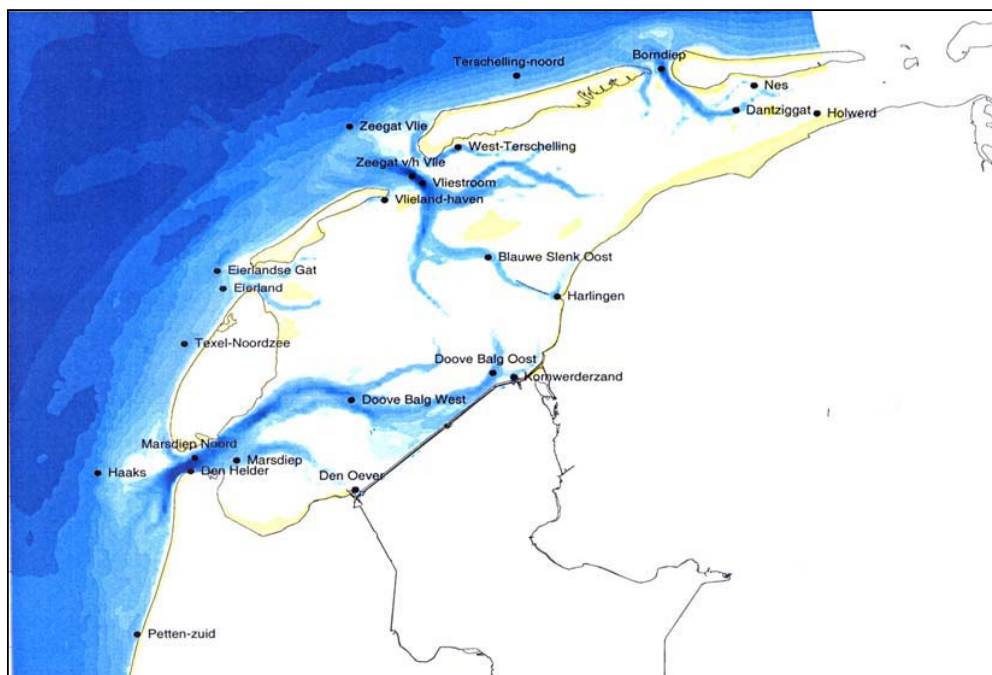
De simulaties met het Kuststrook- en het IJsselmeer model zijn uitgevoerd met bodemschematisaties, die zo goed mogelijk de situatie van 1985 representeren. Voor een goede weergave van de saliniteitsverdeling in de westelijke Waddenzee zijn de 2D en 3D simulaties een aantal malen herhaald, waarbij de saliniteitsverdeling steeds is aangepast aan de hand van voorafgaande berekeningen. Bij de 2D sommen is tevens de instelling van de diffusie-coëfficiënt gevarieerd voor het bereiken van betere resultaten.

Voor verificatie van de waterstanden zijn de berekende waterstanden vergeleken met de metingen van 10 december tot 17 december 1982 voor 11 stations. Figuur 3.2 toont de ligging van deze stations. De verificatie van de stroomsnelheden en de saliniteiten zijn uitgevoerd aan de hand van de twee genoemde 13-uurs metingen in Doove Balg en Vliestroom. De bodem van het model is voor deze verificatie aangepast met lodingen uit de periode 1985 – 1986.



.....  
Figuur 3.2:

Ligging stations in de westelijke Waddenzee.



De resultaten van de verificatie worden beschreven in paragraaf 3.4:  
Modelresultaten: TRIWAQ, subparagraaf 3.4.1: Verificatie. Meer informatie  
over de verificatie is te vinden in [lit 3].

Wegens gebrek aan zoutmetingen zijn de modelresultaten ook vergeleken met  
een publicatie van Zimmerman [lit 1]. In deze publicatie wordt een  
samenvatting gegeven van het saliniteitsverloop in de Waddenzee op basis van  
metingen uitgevoerd in de periode 1970 – 1974. Probleem met deze metingen  
is dat deze niet eenduidig met de simulaties vergeleken kunnen worden:

- De metingen dateren uit een periode dat de dijk Lelystad – Enkhuizen nog  
niet voltooid was en daardoor de komberging van het IJsselmeer veel  
groter was dan in de huidige situatie, waardoor extreme lozingen minder  
voorkwamen. Dit blijkt ook wanneer de meetperiode meer in detail  
beschouwd wordt.
- Deze metingen zijn slechts eenmaal per 6 weken op een beperkt aantal  
plaatsen uitgevoerd. De metingen zijn als dieptegemiddeld geïnterpreteerd  
omdat onbekend is op welke hoogte de metingen zijn uitgevoerd.
- Het is aannemelijk dat er gemeten is in een periode met weinig wind,  
terwijl wind een belangrijke rol speelt in het gedrag van een lozing van  
zoet water op de Waddenzee.

Voor die perioden, welke op basis van overeenkomend windeffect en grootte  
van het spuidebiet kunnen worden vergeleken met de uitgevoerde simulaties,  
kan worden geconcludeerd dat het globale beeld van de saliniteitverdeling  
“lijkt” op de gegevens uit de publicatie.

---

Op grond van bovenstaand verdient het sterke aanbeveling om zoutmetingen in de verticaal uit te voeren onder de huidige condities gedurende de periode tot de bouw en nog een periode daarna, zodat een goede T0 meting beschikbaar is. Latere veranderingen kunnen hier objectief aan worden getoetst. Ook geeft dit de mogelijkheid om in de toekomst de modellen nauwkeuriger te calibreren.

### 3.2.3 Inspelen en randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden voor elk scenario zijn op de volgende wijze verkregen:

- Aan de zeezijde: tijdreeksen van waterstanden (getijperioden van doortij, springtij of gemiddeld getij) door simulaties met een opeenvolgende (van grof naar fijn) reeks van 2D modellen (CSM, ZuNo en Kuststrook) en globale constante saliniteiten verlopend van 25 psu aan de kust tot 35 psu in zee.
- Voor de spuisluisen in de Afsluitdijk:
  - Voor de scenario's met alleen de huidige spuisluisen en de autonome ontwikkeling zijn de actuele openings- en sluitingstijden van de spuimiddelen bij Den Oever en Kornwerderzand gebruikt.
  - Voor de scenario's met een nieuwe spuisluis zijn door SOBEK gegenereerde spuidebieten gebruikt.
  - Voor alle scenario's de constante (achtergrond) saliniteiten van 0,3 psu.

Daar een deel van de simulaties als invoer voor GEM (zie paragraaf 3.5) diende en daarvoor strikt massabehoudend diende te zijn, zijn de randvoorwaarden cyclisch gemaakt op 24 ½ uur. Deze aanpak is uiteindelijk voor alle berekeningen gebruikt.

De windrandvoorwaarden bestaan uit "space varying wind and pressure fields". Voor de verificatie van het model zijn een 200 km rooster en windrandvoorwaarden als 6-uurs waarden gebruikt. Voor de overige berekeningen is gebruik gemaakt van een 50 km rooster en 3 uurs-waarden.

Om het inspelen van het model vlot te laten verlopen zijn hydraulische beginvoorwaarden voor het zout toegepast. Hiervoor is met het IJsselmeermodel gedurende 10 dagen 2D en gedurende 18 getijperioden 3D met de cyclisch gemaakte randvoorwaarden gesimuleerd. De resultaten van de laatste 3D gesimuleerde getijperiode zijn gebruikt als simulatieuitvoer om de effecten van de nieuwe spuisluis te bepalen.

Meer informatie over het inspelen van het model en de toegepaste randvoorwaarden is te vinden in [lit 3].

### 3.2.4 Modelberekeningen

Het doel van de modelberekeningen is om voor een breed spectrum aan omstandigheden (getij, wind en afvoer), waaronder extreme situaties, een vergelijking tussen een nieuw spuimiddel en de huidige situatie te kunnen maken.

In totaal zijn er 38 scenario's 3D doorgerekend. Deze 38 scenario's zijn als volgt opgebouwd:

Getij	Spuisluizen	Afvoer	Cum. debiet m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup>	Gem. debiet m <sup>3</sup> /s
Doodtij	Huidige spuisluizen	Hoge afvoer	25	285
Doodtij	Huidige spuisluizen	Lage afvoer	13	147
Doodtij	Huidig + 1A	Hoge afvoer	8	89
Doodtij	Huidig + 1A	Lage afvoer	7	74
Doodtij	Huidig + 2A	Hoge afvoer	21	242
Doodtij	Huidig + 2A	Lage afvoer	181	2049
Doodtij	Den Oever + nieuwe spui	Hoge afvoer	176	1999
Doodtij	Den Oever + nieuwe spui	Lage afvoer	179	2034
Doodtij	1A	Hoge afvoer	132	1495
Doodtij	1A	Lage afvoer	185	2094
Doodtij	Autonoom tot 2050	Hoge afvoer	23	257
Doodtij	Autonoom tot 2050	Lage afvoer	199	2254

Getij	Spuisluizen	Afvoer	Cum. debiet m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup>	Gem. debiet m <sup>3</sup> /s
Gemiddeld getij	huidige situatie	Hoge afvoer	37	420
Gemiddeld getij	huidige situatie	Lage afvoer	44	493
Gemiddeld getij	huidige situatie	Minimale afvoer	47	534
Gemiddeld getij	Huidig + 1A	Hoge afvoer	32	359
Gemiddeld getij	Huidig + 1A	Lage afvoer	38	428
Gemiddeld getij	Huidig + 2A	Hoge afvoer	141	1595
Gemiddeld getij	Huidig + 2A	Lage afvoer	142	1614
Gemiddeld getij	Den Oever + nieuwe spui	Hoge afvoer	143	1616
Gemiddeld getij	Den Oever + nieuwe spui	Lage afvoer	105	1196
Gemiddeld getij	1A	Hoge afvoer	129	1458
Gemiddeld getij	1A	Lage afvoer	33	378
Gemiddeld getij	Autonoom tot 2050	Hoge afvoer	155	1755
Gemiddeld getij	Autonoom tot 2050	Lage afvoer	2	20
Gemiddeld getij	Autonoom tot 2050	Minimale afvoer	2	18

Getij	Spuisluzen	Afvoer	Cum. debiet m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup>	Gem. debiet m <sup>3</sup> /s
Springtij	huidige situatie	Hoge afvoer	64	721
Springtij	huidige situatie	Lage afvoer	58	663
Springtij	Huidig + 1A	Hoge afvoer	53	598
Springtij	Huidig + 1A	Lage afvoer	41	463
Springtij	Huidig + 2A	Hoge afvoer	55	628
Springtij	Huidig + 2A	Lage afvoer	303	3432
Springtij	Den Oever + nieuwe spui	Hoge afvoer	271	3074
Springtij	Den Oever + nieuwe spui	Lage afvoer	279	3166
Springtij	1A	Hoge afvoer	207	2349
Springtij	1A	Lage afvoer	229	2600
Springtij	Autonoom tot 2050	Hoge afvoer	57	649
Springtij	Autonoom tot 2050	Lage afvoer	333	3776

Tabel 3.1 en 3.2 in bijlage 2 bevatten een volledig overzicht van de doorgerekende scenario's met hun naamgeving. In bovenstaande tabellen wordt slechts een kort overzicht gegeven.

Per scenario variëren de getijperiode (doodtij, springtij of gemiddeld getij), het spuidebiet (hoge of lage afvoer, bepaald met SOBEK of op basis van de werkelijk voorgekomen openings- en sluitingsperiode voor de huidige situatie) en de inzet van spuisluizen. Hierdoor varieert per scenario ook het totaal debiet dat gespuid wordt, waardoor de berekende effecten op de Waddenzee niet voor alle scenario's onderling vergeleken kunnen worden.

Voor elk scenario is een representatieve dag uit Oktober of November 1998 geselecteerd:

Doodtij, lage afvoer	14 Oktober 1998
Gemiddeld getij, lage afvoer	19 Oktober 1998
Springtij, lage afvoer	22 Oktober 1998
Doodtij, hoge afvoer	12 November 1998
Gemiddeld getij, hoge afvoer	18 November 1998
Springtij, hoge afvoer	7 November 1998

Opgemerkt wordt dat de term lage afvoer laag betekent in relatie tot de hoge afvoeren uit deze periode. De jaargemiddelde afvoer is 500 m<sup>3</sup>/s [lit. 2]. Lage afvoer bij doortij (per scenario variërend tussen 74 m<sup>3</sup>/s en 285 m<sup>3</sup>/s) is echt een lage afvoer, maar voor gemiddeld getij betekent dit een gemiddelde afvoer (per scenario variërend tussen 359 m<sup>3</sup>/s en 534 m<sup>3</sup>/s) en voor springtij zelfs een meer dan gemiddelde afvoer (variërend tussen 463 m<sup>3</sup>/s en 721 m<sup>3</sup>/s).

In de modelberekening is rekening gehouden met de windrichting en windsterkte van die dag. Het spuidebiet is bepaald voor die dag. Dit betekent dat bijvoorbeeld de "hoge afvoer" van het ene scenario een ander spuidebiet is dan de "hoge afvoer" van een ander scenario.

---

De inzet van de huidige en de nieuwe spuisluis zijn gevarieerd per scenario. Voor de scenario's "huidige situatie" is uitgegaan van inzet eerst van een van de drie groepen spuisluizen bij Den Oever, vervolgens een van de twee groepen spuisluizen bij Kornwerderzand, daarna de tweede groep bij Den Oever, gevolg door de tweede groep bij Kornwerderzand en tot slot wordt de derde groep bij Den Oever ingezet. De grootste hoeveelheid water wordt bij Den Oever gespuid. Voor de scenario's "huidig +1A" is uitgegaan van dezelfde volgorde van inzetten van de spuisluis bij Den Oever en Kornwerderzand en daarna de nieuwe spuisluis op locatiealternatief 1A. Hierbij wordt de grootste hoeveelheid water via de nieuwe spuisluis afgevoerd. Voor de scenario's "huidig +2A" is uitgegaan van dezelfde volgorde van inzetten van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand en daarna de nieuwe spuisluis op locatiealternatief 2A.

Op een aantal punten van de toegepaste werkwijze voor de modelberekeningen zijn na het bestuderen van de modelresultaten twijfels ontstaan. Deze twijfels hebben ertoe geleid dat er een betrouwbaarheids- en gevoeligheidsanalyse uitgevoerd wordt. De resultaten daarvan zijn op dit moment (januari 2003) nog niet beschikbaar, maar zullen in een volgende rapportage toegelicht worden. Omdat de gemaakte berekeningen ondanks hun beperkingen wel degelijk nuttige informatie verschaffen over de te verwachte effecten, is besloten voorliggende rapportage te maken, waarin een beschrijving van de uitgevoerde werkzaamheden en een inschatting van de te verwachten gevolgen van de aanleg van een nieuwe spuisluis op basis van de huidige kennis van zaken gegeven worden.

### **3.3 Hydraulica Waddenzeesysteem**

In deze paragraaf wordt een algemene beschrijving van de onderlinge verhouding tussen de hydraulische parameters die de waterbeweging op de westelijke Waddenzee bepalen gegeven. Dit vereenvoudigt de interpretatie van de modelresultaten die in paragraaf 3.4 gegeven worden.

#### **Waterstanden**

Het gebruik van spuumiddelen leidt tot een verhoging van de waterstanden aan de benedenstroomse kant van het spuumiddel. De grootte daarvan is afhankelijk van hoeveel er gespuid wordt, het tijdstip waarop gespuid wordt en de saliniteit van het ontvangende water. De waterstanden rondom het spuumiddel worden echter ook in belangrijke mate door invloed van de wind bepaald.

In extreme gevallen bij het spuien van grote hoeveelheden zoet water kan dit leiden tot significante waterstandsverhogingen nabij de spuisluis, die zelfs bij het volgende hoogwater nog merkbaar zijn. Om dit toe te lichten wordt een resultaat van de berekeningen gegeven. Hieruit blijkt dat bij een gemiddeld spuidebiet bij Den Oever van 922 m<sup>3</sup>/s de opstuwingsvlakbij de spuisluis 19 cm kan bedragen. Op 5 km afstand is de opstuwingsvlak minder dan 5 cm en op 15 km minder dan 1 cm. De waterstandsverhogingen bij Den Oever zijn verhoudingsgewijs groter dan de waterstandsverhogingen bij Kornwerderzand en het nieuwe spuumiddel. Dit is het gevolg van het feit dat het water nabij Den Oever slechter weg kan stromen dan bij Kornwerderzand.

#### **Spuidebieten**

De spuidebieten zijn sterk afhankelijk van de waterstanden in de Waddenzee en op het IJsselmeer. De waterstanden in de Waddenzee worden bepaald door

---

een combinatie van wind en het getij, de waterstanden op het *IJsselmeer* worden voornamelijk bepaald door de wind (op- en afwaaiing) en aanvoer van water (o.a. afvoer van de IJssel).

Invloed van getij op het spuidebiet:

Er wordt gespuid zodra bij dalend getij de buitenwaterstand lager is dan het IJsselmeerpeil. De laagwaterstanden zijn sterk afhankelijk van de tweewekelijkse doottij-springtij cyclus. Wanneer het doottij is, blijft er tijdens laagwater vrij veel water in de Waddenzee achter. Dit levert een gering spuidebiet op, want het verval tussen IJsselmeer en Waddenzee is dan niet zo groot. Bij springtij zijn de waterbewegingen veel sterker met als gevolg veel lagere waterstanden in de uren rond laagwater. Door het grotere verval kan er dan meer gespuid worden.

Invloed van wind op het spuidebiet:

Wind (opwaaiing of afwaaiing van de waterstand) is een belangrijke parameter voor de bepaling van de grootte van het debiet door de spuisluisen. Zuidelijke en zuidoostelijke winden zorgen voor vergroting van het waterstandsverschil over het spuimiddel. Noordelijke en noordwestelijke winden leiden tot een verkleining van het waterstandsverschil. Wind evenwijdig aan de Afsluitdijk zal zorgen voor een andere verdeling van de debieten over de spui middelen. Zo zal noordwestelijke wind zorgen voor een lagere IJsselmeerwaterstand (afwaaiing) dichtbij de Afsluitdijk en daardoor minder verval over de spuisluis en zuidoostelijke wind voor een hogere IJsselmeerwaterstand (opwaaiing) dichtbij de Afsluitdijk en meer verval.

Uit de rekenresultaten blijkt dat het grootste doorgerekende spuidebiet wel leidt tot de zoetste situatie op de Waddenzee, maar de situatie is slechts marginaal zoeter dan een situatie met gemiddeld getij en een gehalveerd spuidebiet. Dat is te verklaren uit de gekozen combinatie van wind, getij, zoete lozing en het cyclisch maken van de berekening over een groot aantal getijden, waarbij de berekende saliniteit in veel gevallen sterk afneemt. In tegenstelling tot wat verwacht zou worden is de zoutste situatie op de Waddenzee (uit de doorgerekende scenario's) gevonden bij een situatie met bovengemiddeld spuidebiet. Dat is voornamelijk het gevolg van de krachtige zuidwestelijke wind. Hieruit kan geconcludeerd worden dat wind van dominant belang is.

### **Stroomsnelheden**

Het spuidebiet is van invloed op de stroomsnelheden. Hoge afvoeren leiden tot een versterking van de ebsnelheden, met name in de bovenlaag. Voor de vloednelheden is er sprake van slechts een marginale verkleining.

### **Zoutgehalte**

De saliniteitswaarden in de westelijke Waddenzee zijn afhankelijk van de afvoer van het geloosde zoet water en de door het water gevolgde weg naar de zeegaten. Onderweg vindt menging plaats met het zoute zeewater, waardoor de saliniteit richting zeegaten toeneemt.

In het algemeen geldt dat het zoutgedrag in de Waddenzee bepaald wordt door:

- De voorafgaande situatie (het verleden): zout heeft als een ware een "geheugen". Vanwege de verversingstijd van de Waddenzee van meer dan 20 getijperioden duurt het geruime tijd voordat na verzoeting het zoutgehalte in de Waddenzee weer genormaliseerd is.
- De wind: deze heeft een zeer grote invloed op het zoutgedrag.

- 
- Het spuidebiet (de hoeveelheid zoet water): dit bepaalt hoe zoet het water in de Waddenzee wordt.

In het algemeen kan geconcludeerd worden dat er, met name bij afwezigheid van wind, de volgende relaties bestaan tussen saliniteit, spuidebiet en getij:

- Wordt er meer gespuid dan wordt de Waddenzee zoeter.
- Zoet water gespuid bij Den Oever wordt sneller verversd dan zoet water gespuid bij Kornwerderzand.
- Springtij leidt tot meer verversing dan doottij.

De invloed van wind is echter zo dominant dat deze relaties bij aanwezigheid van wind zeer sterk vervormd worden.

Zuidelijke winden leiden naar verwachting tot meer stratificatie dan noordelijke winden. Dat is het gevolg van het feit dat het zoete spuiwater zich voornamelijk aan het oppervlak bevindt. Daar grijpt de wind aan en verspreidt het zoete water snel over het zoute water over een grotere afstand vanaf het lozingspunt en zorgt juist daar voor meer stratificatie. Echter naarmate de wind boven een bepaalde kritische drempelwaarde komt, vindt er meer turbulente menging plaats en zal de stratificatie weer afnemen. Daarnaast speelt voor stratificatie de diepte een belangrijke rol: hoe dieper het water hoe meer stratificatie er op kan treden.

Bij zuidelijke en zuidoostelijke winden kan er meer gespuid worden als gevolg van de toename van het voor het spuien beschikbare verval. Zuidwestelijke winden leiden tot veel verversing (het doorblazen van de Waddenzee), waardoor de saliniteit toeneemt. Noordwestelijke winden, daarentegen, leiden tot een relatief zoete Waddenzee, door afname van de verversing van water via de zeegaten gecombineerd met accumulatie van zoet water tegen de Afsluitdijk.

De grootste invloed van het spuien van zoet water op de saliniteit vindt plaats aan de noordoostelijke zijde van de Afsluitdijk. Dit wordt veroorzaakt doordat bij het Marsdiep de hoeveelheid geloosd zoet water ten opzichte van de getijverversing relatief veel kleiner is dan nabij Harlingen.

### **3.4 Modelresultaten: TRIWAQ**

De modelresultaten zijn gepresenteerd in de vorm van datafiles, tabellen met statische analyses, kaarten, verschilkaarten en filmpjes. In deze paragraaf worden de modelresultaten samengevat en kort toegelicht.

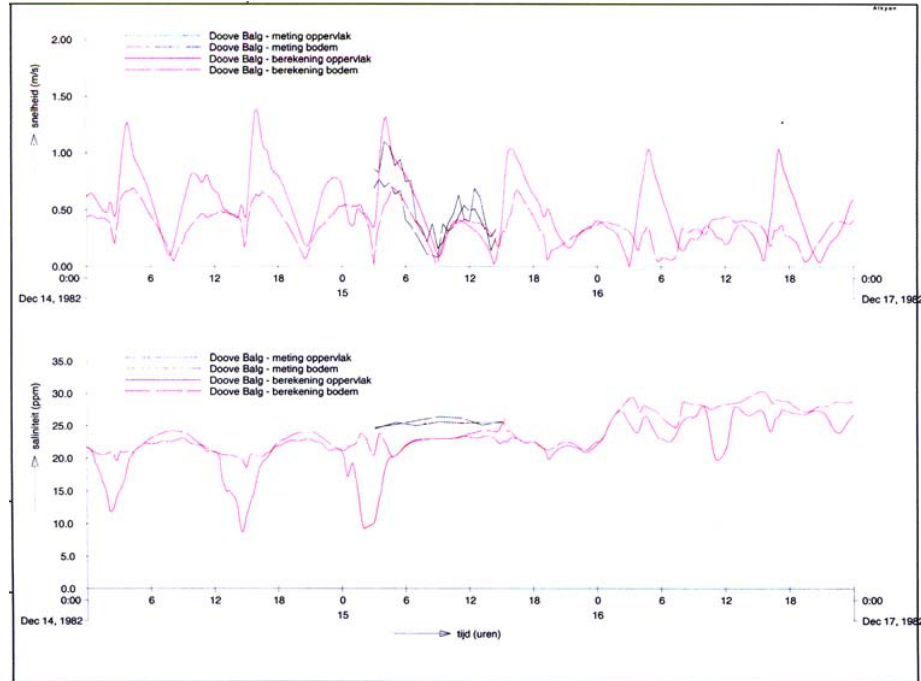
#### **3.4.1 Verificatie**

In de verificatiefase zijn de beschikbare metingen vergeleken met rekenresultaten. Uit de verificatie kan geconcludeerd worden dat:

- het Waddenzeegedeelte van het IJsselmeermodel een goede reproductie geeft van de gemeten waterstanden, zowel in fase als in grootte. Maximale afwijkingen zijn orde grootte 0.30 m en worden door windeffecten veroorzaakt. Afwijkingen onder gemiddelde omstandigheden zijn echter veel kleiner, namelijk tot circa 0.10 m (zie figuren 3.1 t/m 3.6). De wind (snelheid en richting) blijkt van groot belang te zijn op de weergave van de waterstanden.
- de reproductie van de twee 13-uurs metingen van stroomsnelheden en saliniteiten uit 1982 en 1983 een redelijke overeenkomst laten zien tussen meting en berekening. Afwijkingen in de stroomsnelheden zijn orde van grootte 0.25 m/s bij een grillig verloop van de gemeten waarden.

- Afwijkingen in de zoutgehalten zijn orde van grootte 2 tot 5 psu. Bij de Dove Balg wordt een zoete tong berekend, die niet uit de metingen blijkt (Zie bijlage 1, tabel 3.8 en 3.9).

.....  
**Figuur 3.9:**  
 Verificatie: snelheden en saliniteiten in station  
 Doove Balg Oost.



Met de modelresultaten van een aantal van de 38 doorgerkende scenario's is achteraf ook een verificatie uitgevoerd aan de hand van het artikel van Zimmerman [lit 1]. Voor een aantal scenario's komen de modelresultaten redelijk overeen met Zimmerman. Bij de scenario's met doodtij en lage afvoer blijkt de berekende saliniteit t.o.v. de metingen van Zimmerman aan de lage kant te zitten (mogelijke overschatting van de verzoeting).

Uit de simulaties blijkt dat de inspeltijden voor deze modellen wat betreft zout lang zijn. De verversingstijd voor een lozing van zoet water is bij Den Oever 20 getijperioden en voor Kornwerderzand 24 getijperioden [lit 6]. Voor een aantal berekeningen bleek de saliniteit echter na het inspelen gedurende 36 getijperioden (met name in het oosten) nog steeds toe te nemen of te alternen. Dit is in overeenstemming bij een verversingstijd van 15 à 30 getijden zoals Zimmerman die aangeeft [lit. 1].

### 3.4.2 Toepasbaarheid modelresultaten

Voor het bepalen van de effecten van een nieuwe spuisluis zijn de veranderingen in vijf locaties (Den Oever, Kornwerderzand, Doove Balg West, Marsdiep Noord en het Zeegat van het Vlie) nader geanalyseerd (zie figuur 3.1 voor locaties).



---

Niet alle resultaten uit de 38 sommen bleken voor deze analyse bruikbaar, omdat ze onderling niet vergelijkbaar zijn.

De doottij-sommen met lage afvoer zijn niet bruikbaar, omdat de gebruikte debieten onderling te veel variëren (afvoeren: huidig 285 m<sup>3</sup>/s, 1A 147 m<sup>3</sup>/s en 2A 89 m<sup>3</sup>/s). De doottij-sommen met hoge afvoer zijn niet bruikbaar, omdat in de som van de huidige situatie het spuien op hoogwater begint, hetgeen niet realistisch is. Bovendien zijn de doottij simulaties niet geheel ingespeeld.

De gemiddeld getij-sommen met lage afvoer zijn redelijk bruikbaar (huidig 420 m<sup>3</sup>/s, 1A 493 m<sup>3</sup>/s en 2A 534 m<sup>3</sup>/s). De gemiddeld getij-sommen met hoge afvoer zijn zeer goed te gebruiken (huidig 1595 m<sup>3</sup>/s, 1A 1614 m<sup>3</sup>/s en 2A 1616 m<sup>3</sup>/s). De springtij-sommen met lage afvoer zijn redelijk te gebruiken (1A 721 m<sup>3</sup>/s, 663 m<sup>3</sup>/s en 2A 586 m<sup>3</sup>/s). Bij alle sommen is de spuiperiode een uur verschoven en is het spuien in de huidige situatie als blokfunctie opgelegd en voor 1A en 2A meer geleidelijk als paraboolfunctie.

De springtij-sommen met hoge afvoer zijn goed bruikbaar (huidig 3432 m<sup>3</sup>/s, 1A 3074 m<sup>3</sup>/s en 2A 3166 m<sup>3</sup>/s). Ook hier is de spuiperiode een uur verschoven en is het spuien in de huidige situatie een blokfunctie en bij 1A en 2A een paraboolfunctie. Ook is de afvoer erg hoog. Het optreden van een dergelijk hoge afvoer gedurende 14 dagen achtereenvolgend is een zeer extreme gebeurtenis, die zeer zelden voorkomt.

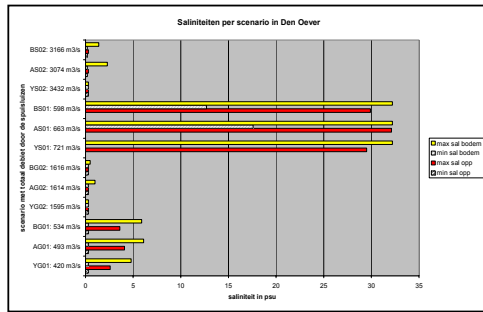
In de betrouwbaarheids- en gevoeligheidsanalyse, die in fase 3 uitgevoerd wordt, wordt de toepasbaarheid van de berekeningsmethodiek en de modelresultaten nader onderzocht.

### **3.4.3 Hydraulische effecten nieuwe spuisluis**

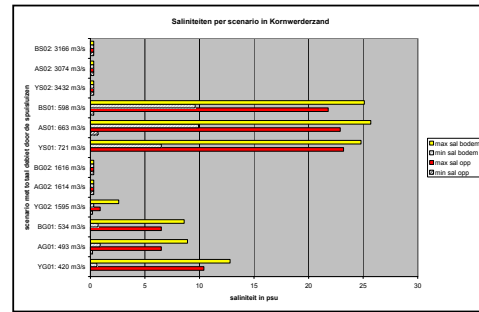
De hydraulische effecten van een nieuwe spuisluis bestaan uit effecten op de saliniteit, de stroomsnelheden en de waterstanden in de westelijke Waddenzee. Deze aspecten worden in deze paragraaf achtereenvolgend getoond in figuren. De bijbehorende waarden zijn gebaseerd op vergelijking van de sommen van de huidige situatie, locatiealternatief 1A en locatiealternatief 2A voor gemiddeld getij en de springtij en voor zowel hoge als lage afvoer op vijf locaties, namelijk Den Oever, Kornwerderzand, Doove Balg West, Marsdiep Noord en Zeegat van het Vlie. Deze sommen zijn onderling goed vergelijkbaar. Figuur 3.1 toont de locaties van deze punten. De genoemde waarden staan tevens in tabel 3.3 t/m 3.10 in bijlage 2.

#### **Saliniteit**

Voor elk van de vijf locaties is een grafiekje gemaakt van de maximum en minimum saliniteit aan respectievelijk de oppervlakte en de bodem. De drie bij elkaar horende scenario's worden steeds naast elkaar getoond, bijvoorbeeld BS02, AS02 en YS02. De grafiekjes tonen zowel het effect van een nieuwe spuisluis als het onderling verschil tussen locatiealternatief 1A en 2A.

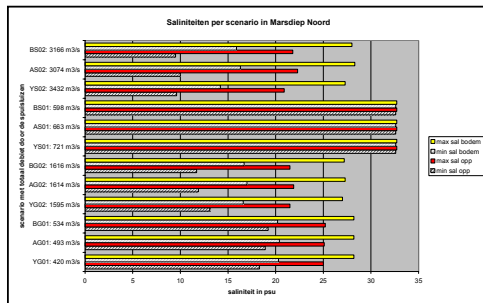


Figuur 3.11: Saliniteiten bij Den Oever.

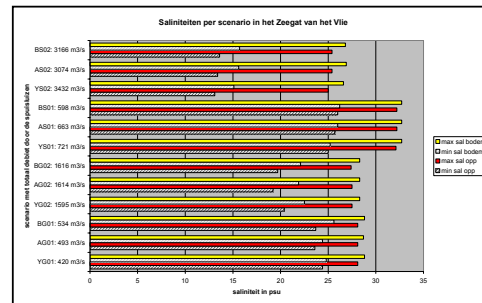


Figuur 3.12: Saliniteiten bij Kornwerderzand.

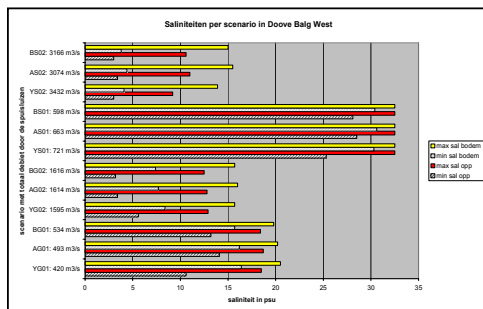
In de spuiplaatsen is het verschil in effect op de saliniteit als gevolg van grote of kleinere debieten duidelijk te zien. De scenario's met hoge afvoeren hebben een zeer lage saliniteit in de spuiplaatsen. Over het algemeen is het effect op de saliniteit als gevolg van een nieuwe spuisluis in de spuiplaatsen slechts enkele psu's. Alleen bij springtij en lage afvoer in Den Oever neemt de minimum saliniteit aan de bodem toe van 0 psu naar 17,6 psu voor locatiealternatief 1A respectievelijk 12,7 psu voor locatiealternatief 2A. In dit geval wordt het dus zouter bij Den Oever.



Figuur 3.13: Saliniteiten bij Marsdiep Noord.

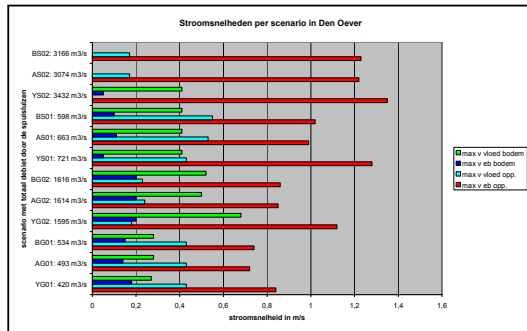


Figuur 3.14: Saliniteiten bij Zeegat van het Vlie.

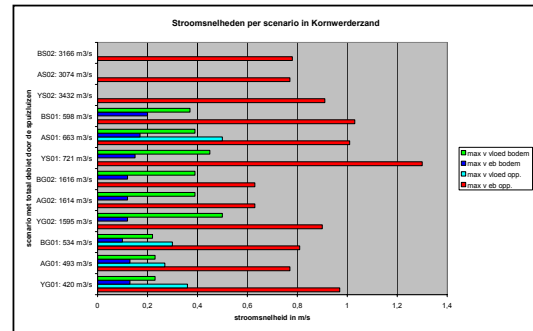


Figuur 3.15: Saliniteiten bij Doove Balg West.

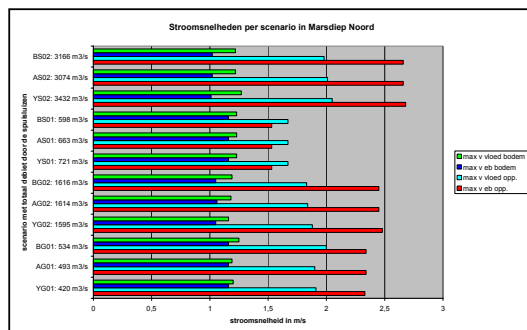
De figuren van Doove Balg West, Marsdiep Noord en Zeegat van het Vlie laten, net als in de spuiplaatsen, zien dat er slechts enkele psu's verschil in zoutgehalte ontstaat als gevolg van de aanleg van een nieuwe spuisluis. Het verschil tussen locatiealternatief 1A en 2A is nauwelijks zichtbaar.



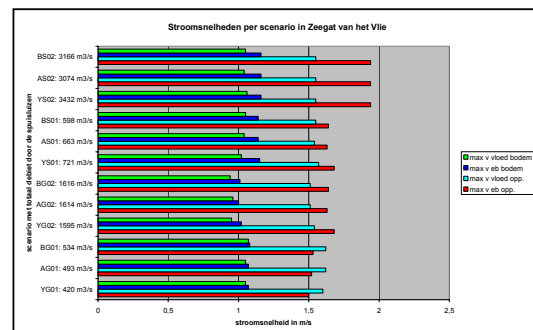
**Figuur 3.16:** Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloedsnelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Den Oever.



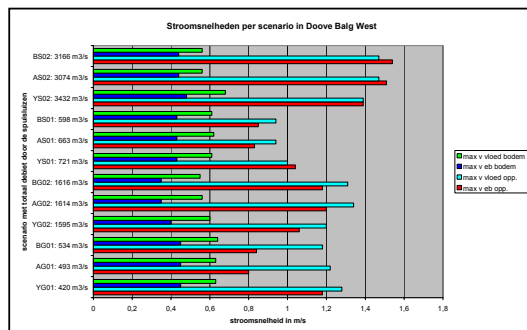
**Figuur 3.17:** Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloedsnelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Kornwerderzand.



**Figuur 3.18:** Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloedsnelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Marsdiep Noord.



**Figuur 3.19:** Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloedsnelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Zeegat van het Vlie.



**Figuur 3.20:** Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloedsnelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Doove Balg West.

---

### **Stroomsnelheid**

Om de effecten van een nieuwe spuisluis op de stroomsnelheden te tonen, zijn soortgelijke figuren als voor de saliniteiten gemaakt. De figuren laten zien dat in het algemeen de stroomsnelheden in Kornwerderzand en Den Oever het laagst zijn en in Marsdiep Noord het hoogst. De hoogste snelheden treden in bijna alle gevallen op bij eb. Over het algemeen zijn de onderlinge verschillen in stroomsnelheden voor de huidige situatie, een nieuwe spuisluis op locatiealternatief 1A of op 1B klein (0 tot 0,1 m/s). De grootste onderlinge verschillen komen voor in de spuispunten en bij de ebsnelheden (met name aan de oppervlakte).

Door de nieuwe spuisluis verandert de laagste waterstand in de spuispunten variërend tussen een afname van 0,08 m en een toename van 0,05 m. In de Waddenzee varieert deze tussen een afname van 0,03 m en een toename van 0,01 m. Dit zijn geen significante veranderingen.

De verandering in hoogste waterstand varieert tussen een afname van 0,01 m en een toename van 0,01 m in de spuispunten. In de Waddenzee varieert de verandering tussen een afname van 0,02 m en een toename van 0,01 m. Ook dit zijn geen significante veranderingen.

#### **3.4.4 Effecten autonome ontwikkelingen**

##### **Waterstanden**

In de berekeningen is uitgegaan van een zeespiegelrijzing van 22 cm tot het jaar 2050. De gebruikte bodemkaart is ongewijzigd gebleven. Dit betekent dat er van uitgegaan is dat de getijdeplaten niet met de zeespiegel meestijgen binnen de periode vanaf heden tot 2050, als gevolg van de vertraagde reactie van de morfologie op hydraulische veranderingen. Dit is –in overeenstemming met de richtlijnen van de Commissie MER- een worst-case benadering. Hierdoor zal het kombergingsvolume en daardoor ook het getijprisma binnen deze periode toenemen.

##### **Zoutgehalten**

Ten aanzien van de autonome ontwikkelingen van het zoutgehalte in de Waddenzee wordt geconcludeerd dat er sprake is van een lichte toename (2 tot 7 psu) van het zoutgehalte in de Waddenzee. Dit is voornamelijk het gevolg van de toegenomen volumes zout water in de Waddenzee als gevolg van de zeespiegelrijzing, waardoor het kombergingsvolume en daardoor het getijprisma van de Waddenzee toeneemt. Alleen bij hoge (10% verhoogde) afvoer nemen de minimale zoutgehalten iets af (wordt iets zoeter). In het algemeen lijkt de dynamiek (maximale minus minimale zoutgehalten) iets toe te nemen.

##### **Stroomsnelheden**

Aan de residuele snelheden in de westelijke Waddenzee zal als gevolg van de autonome ontwikkeling vrijwel niets veranderen.

#### **3.4.5 Vergelijking locatiealternatief 1A en 2A**

##### **Zoutgehalten**

De verschillen in saliniteit tussen locatiealternatief 1A en 2A variëren voor het maximum zoutgehalte aan de oppervlakte tussen een afname van 0,5 psu en een afname van 2,2 psu, voor het maximum zoutgehalte aan de bodem tussen een afname van 0,5 psu en een afname van 0,9 psu. Voor het minimum

---

zoutgehalte aan de bodem varieert de verandering tussen een afname van ongeveer 5 psu (in Den Oever) en een afname van 0,6 psu in de Waddenzee tot een toename van 1,2 psu en aan de oppervlakte tussen een afname van 0,4 en een afname van 0,9 psu. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de verschillen in saliniteiten tussen locatiealternatief 1A en 2A marginaal zijn. Er is op grond van het zoutgehalte geen voorkeur voor een van de twee alternatieven te geven.

#### **Stroomsnelheden**

De verschillen in maximale eb- en vloednelheden aan het oppervlak tussen locatiealternatief 1A en 2A zijn in drie controle punten (niet direct nabij de spuisluizen) kleiner dan 4 à 5 cm/s en zijn daarmee insignificant.

#### **Waterstanden**

De verschillen in waterstanden tussen locatiealternatief 1A en 2A zijn gering en slechts in de punten vlak bij de sluisen herkenbaar. De verschillen bedragen daar soms 2 cm, maar zijn overal elders kleiner.

### **3.5 Aanpak transportmodellering: DELWAQ**

#### **3.5.1 Inleiding**

De hydrodynamische TRIWAQ-berekeningsresultaten zijn gebruikt voor de opzet van een transportmodel binnen DELWAQ, een modelomgeving ten behoeve van waterkwaliteitsmodellering [lit. 7]. Het DELWAQ transportmodel is onderdeel van GEM (Generiek Ecologisch Model). Met GEM wordt het transport van nutriënten en fytoplankton gemodelleerd in combinatie met de modellering van biochemische en chemische omzettingprocessen. In paragraaf 5.2 wordt nader ingegaan op aanpak en resultaten van de GEM toepassing.

Het DELWAQ transportmodel is eveneens gebruikt voor de modellering van het zoutgehalte over de periode 1976-1996. In deze paragraaf worden de aanpak en de resultaten van de lange termijn zoutmodellering voor de huidige situatie beschreven. De ecologische doorvertaling van de effecten van een extra spuismiddel op het zoutgehalte worden in paragraaf 5.3 verzorgd.

#### **3.5.2 Methodiek**

##### *Ruimtelijke aggregatie*

Het hydrodynamische rekenrooster is zeer fijnmazig geschematiseerd (Figuur 3.20). Een dergelijk fijnmazig grid met onderliggende hydrodynamica is qua rekentijd maar ook vanwege de noodzakelijke gegevensopslag onhanterbaar voor 3D jaarsimulaties met GEM of voor 3D lange termijn zoutberekeningen. Om te komen tot acceptabele rekentijden en dataopslag is het rekenrooster en de onderliggende hydrodynamica ruimtelijk geaggregeerd over de horizontaal en de verticaal. Bij de aggregatie zijn de rekenelementen uit het oorspronkelijke rekenrooster over de horizontaal 4 bij 4 samengenomen tot grotere rekenelementen. Deze rekenelementen zijn vervolgens geheel samengenomen over de verticaal. Volledige aggregatie over de verticaal is toelaatbaar vanwege het sterk dynamische karakter van de westelijke Waddenzee. Zoutstratificatie, het 3D effect bij uitsteking, is op enige afstand van de spuisluizen van relatief ondergeschikt belang voor het zout- en nutriëntentransport en de fytoplanktonkinetiek. Hoewel het 3-dimensionaal berekenen in TRIWAQ door deze aggregatie overbodig lijkt wanneer de waterkwaliteitsberekeningen toch 2-dimensionaal plaatsvinden, is het zo dat een 2D waterbeweging die uit een 3D hydrodynamica is afgeleid een veel betere beschrijving geeft van de

mengingscondities dan een waterbeweging die is afgeleid uit de 2D hydrodynamische berekeningsresultaten [lit. 8].

#### *Interpolatiemethodiek*

Gegeven de jaarlijkse variaties van zoutconcentratie, nutriëntenconcentraties - en fytoplanktonbiomassa is het noodzakelijk om met GEM jaarsimulaties uit te voeren. De resultaten van de aggregatie van de hydrodynamische berekeningsresultaten worden in het waterkwaliteitsmodel om deze reden cyclisch herhaald om een volledig jaar te kunnen simuleren. Het is hierbij van groot belang dat de waterstanden aan het begin en aan het eind van de te herhalen periode zo goed mogelijk op elkaar aansluiten (cyclisch zijn) om fouten in de massabalans van het model en daarmee in de berekende concentratie te voorkomen. Bij deze methodiek kunnen de zoetwaterlozingen niet over het jaar variëren, terwijl het transport van zout en nutriënten in de westelijke Waddenzee sterk wordt bepaald door de variaties in de afvoer van de spuisluisen. Vanwege praktische aspecten (rekentijden en dataopslag) is het niet mogelijk een 3D hydrodynamische jaarsimulatie voor een volledig jaar uit te voeren met variabele (actuele) spui-afvoer. Om toch een jaarsimulatie met variabele spui-afvoeren te kunnen uitvoeren is een lineaire massabehoudende interpolatietechniek geïmplementeerd waarbij wordt geïnterpoleerd tussen geaggregeerd hydrodynamische databestanden op basis van daggemiddelde spuidebieten. Deze bestanden betreffen drie karakteristieke spui-afvoerperiodes: laag, gemiddeld en hoog (zie tabel 3.11). Elke karakteristieke periode beslaat een cyclisch getij met een duur van 24,5 uur.

**Tabel 3.11:**

Gehanteerde afvoer- en windgegevens in hydrodynamische berekeningen voor de huidige situatie bij gemiddeld getij (yg05, yg01 en yg02).

	Volume per 24.5 uur	in m <sup>3</sup> /s	Wind
A- Laag spuidebiet	1,72×106 m <sup>3</sup>	19.5	7.3 m/s - 290o
B- Gemiddeld spuidebiet	37,1×106 m <sup>3</sup>	421	7.3 m/s - 290o
C- Hoog spuidebiet	140,1×106 m <sup>3</sup>	1588	3.5 m/s - 300o

Op basis van een daggemiddeld debiet van de spuisluisen in de Afsluitdijk wordt tussen de waterbeweging van de drie karakteristieke afvoersituaties geïnterpoleerd. Wanneer bijvoorbeeld het actuele spuidebiet 200 m<sup>3</sup>/s bedraagt, bestaat de geïnterpoleerde, 'actuele' waterbeweging voor 55,0% uit de "Laag spuidebiet variant" en voor 45,0% uit de "Gemiddeld spuidebiet variant". Indien het actuele spuidebiet kleiner is dan 19,5 m<sup>3</sup>/s, wordt de "Laag spuidebiet variant" gehanteerd. Indien het actuele spuidebiet hoger is dan 1588 m<sup>3</sup>/s, wordt de "Hoog spuidebiet variant" gehanteerd. Op deze wijze kan de hydrodynamica voor ieder gewenst jaar met een specifieke afvoersituatie geconstrueerd worden uit deze drie karakteristieke afvoerperiodes.

Van de hydrodynamische berekeningsresultaten van het TRIWAQ IJsselmeermodel zijn er zeven berekeningen gebruikt voor de GEM berekeningen en de lange termijn zoutberekeningen (zie 3.12).

**Tabel 3.12:**

Gehanteerde hydrodynamische situaties.

Simulatie	Spui-afvoer	Getij	Run code
Huidig	laag, gemiddeld en hoog	Gemiddeld	yg01,yg02,yg03
Variant 1-A	gemiddeld en hoog	Gemiddeld	ag01,ag02
Variant 1-B	gemiddeld en hoog	Gemiddeld	bg01,bg02

---

### 3.5.3 Verificatie

De resultaten van de GEM toepassing westelijke Waddenzee worden beschreven in paragraaf 5.4. In deze paragraaf worden de resultaten van de lange termijn zoutberekeningen (1976-1996) gepresenteerd voor de huidige situatie. Door deze te vergelijken met beschikbare metingen kan een indruk worden verkregen van de validiteit van het model. De resultaten voor de locatievarianten 1A en 2A worden gepresenteerd in paragraaf 5.3.

Het resultaat van de saliniteitsberekeningen voor de huidige situatie wordt geïllustreerd door langjarige tijdreeksen voor de stations 'Doove Balg West' en 'Doove Balg Oost' (figuur 3.21 en 3.22). De ligging van deze stations staat aangegeven in figuur 3.1. De figuren tonen dat vanaf ca. 10 ppt het model de metingen heel behoorlijk reproduceert. De periodes waarin langdurig wordt gespuid en de periodes waarin juist niet of nauwelijks wordt gespuid, hetgeen zich uit in een systematische daling of stijging van het zoutgehalte in de metingen, komen vaak goed terug in het modelsignaal. Meetwaarden lager dan 10 ppt worden regelmatig overschat door het model.

### 3.6 Conclusies

#### Conclusies ten aanzien van TRIWAQ-berekeningen

Niet alle berekeningsresultaten van de 38 doorgerkende scenario's zijn bruikbaar, omdat ze onderling niet vergelijkbaar zijn. Dit wordt veroorzaakt door een andere berekeningswijze voor het spuidebiet en verschillen in de grootte van het spuidebiet. Ook is in een aantal sommen het moment van spuien in de tijd verschoven. Kort samengevat de doortij-sommen kunnen niet gebruikt worden, maar de gemiddeld getij en springtij-sommen redelijk tot goed.

#### Conclusies ten aanzien van DELWAQ\_berekeningen

Door aggregatie van de hydrodynamische berekeningsresultaten en vervolgens te interpoleren tussen verschillende afvoersituaties is het mogelijk gebleken een volledig jaar met GEM of een reeks van jaren voor alleen zout door te rekenen. De methodiek leidt tot bevredigende resultaten zoals bleek uit het vergelijk met de zoutmetingen uit het RWS MWTL monitoringsprogramma.

Toch kunnen er kanttekeningen worden geplaatst bij de gevolgde methodiek. Zo wordt bij aggregatie een deel van de variabiliteit in menging uit het hydrodynamische signaal gefilterd. Veranderde mengingscondities over een springtij-doodtijcyclus en verandering van mengingscondities door variatie in windcondities zijn niet meegenomen. Verder wordt in het transportmodel een onnauwkeurigheid geïntroduceerd omdat de spuiafvoer van de spuumiddelen in het model volgens een vaste onderlinge verhouding plaatsvindt, terwijl in werkelijkheid deze verhouding kan en zal variëren. Echter bij (middel)hoge spuidebieten is de verhouding tussen de spuumiddelen sterk vergelijkbaar met verhoudingen zoals die door de hydrodynamica worden opgelegd, zodat de hierdoor geïntroduceerde onnauwkeurigheid naar verwachting acceptabel is.

De monitoringlocaties liggen in de geulen. Wanneer hoge spuiafvoeren worden gerealiseerd kunnen de geulen nabij de Afsluitdijk gestratificeerd raken. Aangezien de metingen aan het oppervlak plaatsvinden en het model dieptegemiddeld rekent, zal bij hoge afvoeren het model de gemeten saliniteit aan het oppervlak overschatten in de nabijheid van het spuumiddel. De saliniteit

---

bij de bodem wordt daarentegen onderschat. Dit is een belangrijk gegeven bij de doorvertaling naar effecten op de bodemfauna

#### **Hydraulische effecten nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk**

Hoewel niet alle berekeningen met elkaar vergeleken mogen worden als gevolg van de verschillen in de wijze van spuien en de hoeveelheden die gespuid worden [lit. 3 en lit. 9], is een vergelijking tussen de T0 situatie en de locatiealternatieven 1A en 2A goed mogelijk door alleen de sommen met dezelfde randvoorwaardenset (wind en spuidebiet) met elkaar te vergelijken.

In het algemeen kan gesteld worden dat de vergelijkingen tussen de huidige situatie en de locatiealternatieven 1A en 2A laten zien dat het noordoostelijk deel van de Waddenzee als gevolg van een nieuwe spuisluis iets zoeter wordt en het zuidwestelijk deel iets zouter. De saliniteitsveranderingen zijn van de orde grootte van 0 tot +3 psu in het zuidwestelijke deel van de westelijke Waddenzee en 0 tot -3 psu in het noordoostelijke deel.

Door de nieuwe sluis (op locatie 1A of 2A) zullen de ebsnelheden in de Doove Balg, en Vlieter iets toenemen, de vloedsnelheden nemen hier marginaal af.

#### **Vergelijking locatiealternatief 1A en 2A**

De verschillen in saliniteiten tussen locatiealternatief 1A en 2A zijn marginaal. De verschillen in stroomsnelheden zijn orde grootte 4 à 5 cm/s, hetgeen ook marginaal is. De verschillen in waterstanden zijn in de nabijheid van de spuilocaties soms maximaal 2 cm, maar zijn overal elders kleiner. **Conclusie:** er is op grond van hydraulische overwegingen geen voorkeur voor een van de twee alternatieven te geven.

### **3.7 Aanbevelingen**

Uit de simulaties blijkt dat de inspeeltijden van deze modellen vooral wat betreft zout significant zijn. Voor een aantal berekeningen bleek de saliniteit na het inspelen nog niet op de eindwaarde terechtgekomen te zijn. Aanbevolen wordt om e.e.a. bij volgende modelruns voortdurend te controleren.

Ook kan gesteld worden dat de keuze om een specifieke situatie met een periode van 24,5 uur cyclisch te herhalen voor 18 perioden een aantal nadelen heeft. Zo bleken niet alle modelresultaten voor de analyse bruikbaar. In werkelijkheid zorgt de variabiliteit van wind en spuidebiet voor een ander verspreidingspatroon van zoet water in de Waddenzee. Wel geeft de gevolgde methode een beeld van de te verwachten effecten in de opgetreden situatie, waarin de 18-daags gemiddelde wind en afvoer overeenkomen met de berekening.

Aanbevolen wordt in een volgende fase een betrouwbaarheids- en gevoeligheidsanalyse uit te voeren. Het doel van de betrouwbaarheids- en gevoeligheidsanalyse is:

- de toepassingsmogelijkheden en beperkingen van de huidige berekeningsmethodiek en -resultaten vast te stellen.
- de beste aanpak voor vervolgberekeningen (het bepalen van de effecten van mitigatiemaatregelen ten opzichte van de huidige situatie) te bepalen. Hierbij staat de vraag centraal of 2D rekenen voldoende nauwkeurig is om de effecten in beeld te brengen.
- Indien zou blijken uit het onderzoek dat 3D rekenen aan te bevelen is, maar besloten wordt 2D te rekenen, hoort bekend te zijn wat de nauwkeurigheid van de 2D simulaties is en op welke wijze de 2D resultaten beoordeeld moeten worden.



---

Ook verdient het aanbeveling om zoutmetingen in de verticaal uit te voeren onder de huidige condities, gedurende de periode tot de bouw van de spuisluis en in de periode na de aanleg, zodat een goede T0 meting beschikbaar is en latere veranderingen objectief aan de T0 situatie getoetst kunnen worden.



---

## 4 Morfologie

---

### 4.1 Inleiding

Door de hydraulische veranderingen [lit. 10, 11 en 12], die optreden door het in gebruik nemen van een nieuw spuicomples, wordt de sedimentologie en morfologie van de Waddenzee beïnvloed. Op basis van hydraulische modelleringen en expertjudgement is in fase 1 geconcludeerd dat de volgende morfologische/sedimentologische effecten mogelijk verwacht kunnen worden:

- 1) Verandering van de import van slib
- 2) Verandering van de gravitatiecirculatiepatronen
- 3) Verandering van de sedimentatiepatronen van slib
- 4) Uitschuring van erosiekuilen
- 5) Geringe uitschuring of opvulling van geulen door een verandering in de stroomsnelheden
- 6) Resulterende afslag van platen
- 7) Verandering van de plaathoogte t.g.v. waterstandsveranderingen
- 8) Verandering van de grootte van de buitendelta's
- 9) Verandering van de sedimentaire ontwikkeling van de kwelders

### 4.2 Aanpak

Bovenstaande effecten zijn bestudeerd aan de hand van de voorspellingen van de hydraulische veranderingen en met behulp van afgeleide morfologische parameters en morfologische modellen. Dit werk is voornamelijk gedaan door WL en Alkyon, aangevuld met expertjudgement. Daarnaast zijn er door RIKZ nog studies uitgevoerd. Voor morfologie is gekeken naar slib en zand.

Voor slib is de weg van de bron tot en met de bezinkplaats gevolgd. Achtereenvolgens is beschouwd:

- 1) de import van slib via het zeegat;
- 2) de concentratie van slib door gravitatiecirculatie (zie figuur 4.1);
- 3) de kans op lokale bezinking door afname van de stroomsnelheid;
- 4) de kans op permanente bezinking door overdiepte van geulen.

Op basis van de resultaten van deze studie is ook gekeken of de slibtoevoer naar de kwelders zou kunnen veranderen. Verder is op basis van de waterstanden bij gemiddeld getijcondities gekeken of rekening moet worden gehouden met een significante diepteverandering van de plaat ten opzichte van de waterstand. Ook is gekeken naar de buitendelta die eventueel van volume zou kunnen veranderen onder invloed van de veranderingen (ook hier weer voor gemiddeld tij).

De morfologische voorspellingen berusten op de vergelijking tussen 1A en de huidige situatie en 2A met de huidige situatie voor gemiddeld tij met een lage afvoer en een hoge afvoer.

Door de twijfel die momenteel wordt uitgesproken over de kwaliteit van de hydraulica kunnen alle onderstaande conclusies pas als definitief worden beschouwd als de betrouwbaarheids- en gevoeligheidsanalyse van de hydraulische berekeningen afgerond is.

---

### 4.3 Slib

#### 4.3.1 Slibimport

Het voorkomen van slib in de bodem en de waterlaag in de Waddenzee wordt bepaald door drie bronnen:

1. Slib afkomstig van de Noordzee (externe bron); deze bron is relatief groot.
2. Slib dat wordt geloosd met het spuiwater (externe bron); deze bron is relatief klein.
3. Slib dat via de bodem-water uitwisseling in de Waddenzee wordt herverdeeld (interne bron); deze is hoogstwaarschijnlijk het grootst gezien de enorme hoeveelheid die zich in de loop van duizenden jaren heeft kunnen opstapelen. Een eerste schatting is dat hieruit jaarlijks hoeveelheden vrijkomen die vergelijkbaar zijn met de jaarlijkse netto sedimentatie.

Bij de analyse of er iets verandert aan de import van slib in de westelijke Waddenzee en in deelgebieden van de westelijke Waddenzee is ervan uitgegaan dat het zoutgehalte een tracer is voor zeeslib. Met andere woorden: er is van uit gegaan dat het zeeslib evenredig in de waterkolom verdeeld zit. Dit veronderstelt tevens dat er geen uitwisseling is tussen water en bodem. De saliniteit is daarmee een indicator voor de suspensieconcentratie van zeeslib. Deze eerste orde benadering levert een ruwe schatting op van de hoeveelheden sediment die worden aangevoerd en deels tot bezinking komen. Uit expert-workshops kwam wel naar voren dat een veel nauwkeurigere inschatting van sedimentaanvoer naar de Wadden toe vooralsnog op modeltechnische problemen stuit.

In die gebieden waar de saliniteit voor locatiealternatief 1A of 2A groter is geworden ten opzichte van de huidige situatie wordt de slibconcentratie in de waterlaag in grotere mate dan oorspronkelijk bepaald door de slibconcentratie in het zeewater en in mindere mate door de slibconcentratie in zoetwater. Indien de saliniteitsverandering én de gemiddelde slibconcentratie in zoet water en in zeewater bekend zijn dan kan ook de slibconcentratieverandering berekend worden.

Uit de hydraulische 3D modelberekeningen (TRIWAQ) blijkt dat in het algemeen de saliniteit toe neemt in het zuidwestelijke Waddengebied (hier wordt het iets zouter) en afneemt in het noordoostelijke Waddengebied (hier wordt het iets zoeter). Hetzelfde patroon kwam uit de GEM-berekeningen (zie paragraaf 5.3) naar voren. De saliniteitsveranderingen zijn van de orde grootte van 0 tot +3 psu in het zuidwestelijke deel van de Westelijke Waddenzee en 0 tot -3 psu in het noordoostelijke deel.

De jaarlijks gemiddelde slibgehalten van het zoete spuiwater variëren tussen 29-37 mg/l (1985-1994). De jaarlijks gemiddelde slibgehalten van het zeewater variëren tussen 20-45 mg/l (1980-2001). De verschillen in slibgehalte van zoetwater en zoutwater kunnen daarom variëren tussen +16 mg/l en -17 mg/l. Op grond daarvan kan dus een toename in het aandeel zeewater resulteren in een toename of een afname in de hoeveelheid slib in het zeewater. Hetzelfde geldt voor een afname in het aandeel zeewater.

Op grond van de saliniteitsverandering kan berekend worden dat deze saliniteitsveranderingen leiden tot een jaargemiddelde maximale verandering in het slibaanbod van -1,5 tot + 1,5 mg/l (enkele procenten) bij ingebruikneming

---

van 1A of 2A. Dit kan van jaar tot jaar variëren tussen een negatief of een positief slibaanbod.

### Conclusie

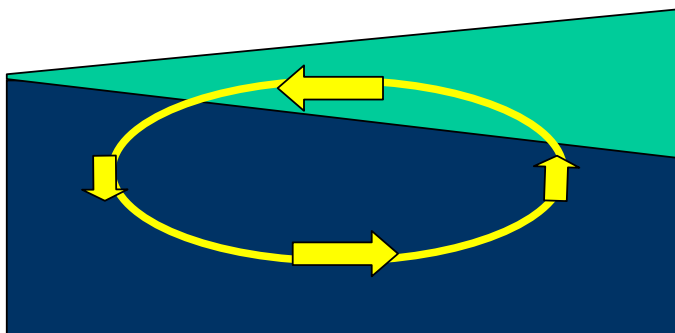
Derhalve is, ook al gezien de enorme buffervoorraden in de Waddenzee, op grond van deze grofstoffelijke benadering niet te verwachten dat er effecten merkbaar zullen worden van een lokale vergroting of verkleining van het aandeel zeewater. Wel kunnen nog effecten optreden ten gevolge van de gravitatiecirculatie.

### 4.3.2 Slibconcentratie

Onder invloed van dichtheidsverschillen tussen zoet en zout ontstaat een oppervlaktestroming van zoet- naar zoutwater en een retourstroming over de bodem: de zogeheten gravitatiecirculatie. Het slib bezinkt uit het uitstromende zoete water aan de oppervlakte in de zoutere retourstroming over de bodem. Door menging van het zoute water met het zoete water aan het oppervlak wordt dit slib voor een deel weer teruggevoerd naar de bovenliggende oppervlaktestroming. Dit mechanisme zorgt er voor dat ter plekke van deze wervel een concentratie aan slib kan ontstaan (turbiditeitsmaximum). Waar de circulatie in kracht toeneemt lopen slibdeeltjes een grotere kans om "gevangen" te raken in de wervel. Zodoende kan aanrijking plaatsvinden en neemt de kans toe dat het ter plekke slibrijker wordt. Gravitatiecirculatie kan op grond van de uitstroom van zoetwater worden bepaald. Naarmate er meer zoetwater wordt gespuid zal ook de gravitatiecirculatie sterker worden. In figuur 4.1 wordt dit mechanisme uitgelegd.

**Figuur 4.1:**

Gravitatiecirculatie. Zoet of brak water met een lager soortelijk gewicht dan zeewater stroomt uit aan het oppervlak. Hierbij komt een retourstroming op gang van zeewater (+ zwevend materiaal) over de bodem. Doordat beide watermassa's zich deels mengen ontstaat een wervel van oppervlak naar bodem en terug. Zwevend materiaal kan in deze wervel gevangen raken en zodoende geconcentreerd raken.



De verschillen in gravitatiecirculatie van spuivarianten A en B ten opzichte van de huidige situatie zijn met name in de geulen (waar enige verticale gradatie mogelijk is) van belang. Dit geldt met name voor de zones bij de spuipunten en de overgang Texelstroom/Doove Balg (ter hoogte van Robbenzand). De verschillen tussen alternatief 1A en 2A zijn gering. Figuur 4.2 geeft deze verschillen weer. De toename in gravitatiecirculatie kan lokaal leiden tot een sterkere concentratie en daarmee sedimentatie van slib. De toename in gravitatiecirculatie bij 2A via het Marsdiep is relatief sterk bij gemiddeld getij en een lage afvoer. Een toename in gravitatiecirculatie via het Vlie werd voor 2A niet teruggezien bij grotere afvoer van zoet water, maar wel voor 1A. Of het slib daadwerkelijk bezinkt hangt af van andere factoren, bijvoorbeeld de kritische transportsnelheid (zie paragraaf 4.3.3).

### 4.3.3 Kans op slibbezinking

De kans dat een slibdeeltje gaat bezinken wordt voor een belangrijk deel bepaald door de kans dat de kritische stroomsnelheid voor sedimentatie van slib wordt overschreden. Bij verwaarlozing van de bodemschuifspanning ten gevolge van golven geeft de duur van overschrijding van de kritische stroomsnelheid in principe de kans weer dat een deeltje tot bezinking komt. Voor een grotere debiet via het spui zijn de gevolgen duidelijker dan voor een kleiner debiet. Voor die situaties is bij gemiddeld getij gekeken wat de overschrijdingsduur van de kritische stroomsnelheid voor sedimentatie van slib is gedurende een getij. Ook hier zijn de verschillen (zie figuur 4.3) tussen alternatief 1A en 2A gering.

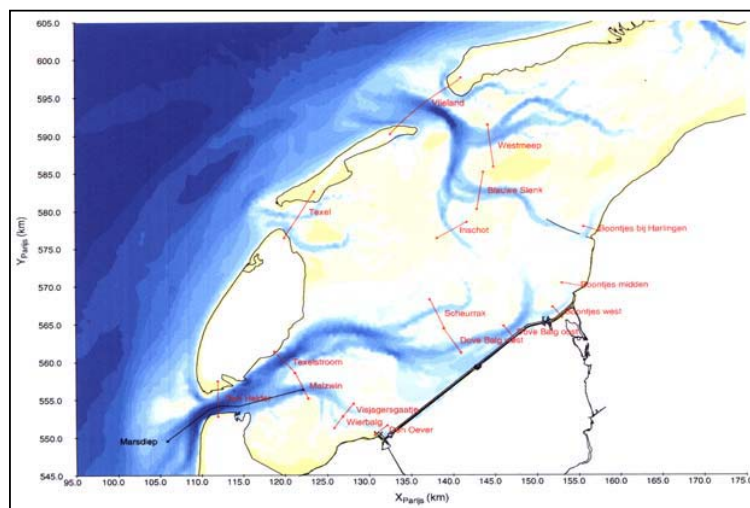
De toename van de overschrijdingsduur treedt vooral op zuidelijk van Lutjeswaard voor de Afsluitdijk (halverwege tussen het Monument en de spuisluizen van Den Oever. De berekeningen suggereren sterk dat dit met name voor de Vlieter (een bestaande slibsedimentatiezone) betekent dat daar gemakkelijker slib tot bezinking kan komen. Het nu al modderige sedimentaire milieu zal door een dergelijke ontwikkeling niet noemenswaardig veranderen t.o.v. de huidige situatie.

### 4.3.4 Kans op permanente depositie: dwarsdoorsnede geulen

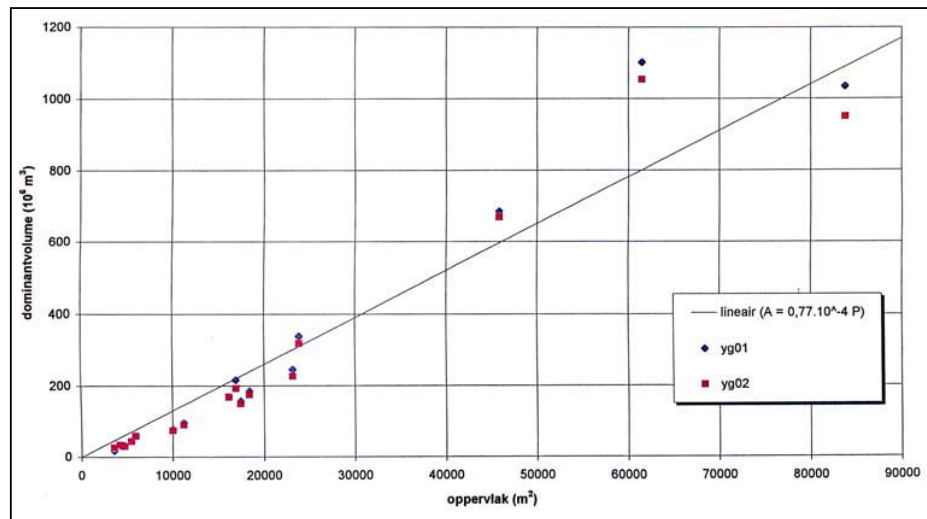
Om na te gaan of er nog plaatsen zijn in de geulen waar permanente depositie kan plaatsvinden van slib of zand is gekeken waar de geuldoorsneden veranderen. Daarvoor zijn op een groot aantal plaatsen de dominante vormende getijden en de veranderingen daarin doorgerekend. Deze plaatsen zijn aangegeven in figuur 4.4.

De ontwikkeling van het oppervlak van de natte dwarsdoorsnede is ook bepalend voor de plaatsen waar zand en slib tot bezinking kunnen komen. Ontwikkeling van de dwarsdoorsnede van een geul is afhankelijk van hoeveelheid water die er doorheen stroomt. De dwarsdoorsnede van de geul kan berekend worden aan de hand van een betrekkelijk eenvoudige formule waarbij het natte oppervlak van de doorsnede lineair afhankelijk is van de grootte van het dominant getijvolume. Figuur 4.5 laat het doorstroomoppervlak en het bijbehorende getijprisma zien voor Yg01 en Yg02.

**Figuur 4.4:**  
Ligging van raaien in het modelgebied.



Figuur 4.5:  
Doorstroomoppervlak en getijprisma.



De conclusies getrokken op grond daarvan zijn:

1. Er treedt een afname van de geuldoorsnede op in de orde van 10% van de doorsnede bij Den Oever (raai 5). Dit zou gezien de huidige korrelgrootten (lokaal: 10-50% slib; mediaan 60-120 mu; Geodan/RIKZ, 1998) hier en daar een potentiële bezinkplaats kunnen worden voor slib.
2. Er treedt een toename van de geuldoorsnede op in de orde van enkele procenten voor Doove Balg, (Doove Balg Oost en West voor locatiealternatief 1A en Doove Balg West voor 2A).
3. In de overige doorsneden is geen verandering waar te nemen.

#### 4.3.5 Conclusies slib

Op basis van een eerste ruwe benadering mag verwacht worden dat er gemiddeld geen belangrijke netto verandering van de grootschalige slibimporten optreden. De variatie in de slibconcentratie in zoet en zout water is zodanig dat nettoslibimport zowel (licht) toe als af kan nemen.

De ontwikkeling van de gravitatiecirculatie kan echter wel van belang zijn. De hydraulische berekeningen geven duidelijk extra gravitatiecirculatie te zien voor de gemiddelde situatie bij de spuispunten en ter hoogte van Robbenzand. Hier zou dus een versterking kunnen optreden van de concentratie van het slib in de waterkolom. Deze ontwikkeling is iets sterker voor Robbenzand bij 2A dan 1A.

De vraag of het slib ook tot bezinking kan komen wordt weergegeven door de verandering in de kritische stroomsnelheid voor sedimentatie van slib. Langere onderschrijdingen van deze stroomsnelheid treden echter op in de voormalige geul Vlieter; hetgeen al een slibdepositieplek is. Uit berekende afname in geuldimensies blijkt dat de enige andere kans waar slib mogelijk permanent zou kunnen blijven liggen, zich voordoet in de geulen bij Den Oever. Dit is waarschijnlijk gezien de her en der in de geul relatief geringe korrelgrootten.

---

Uit expert-workshops en discussies komt verder duidelijk naar voren dat over de exacte mate van slibsedimentatie op platen met de huidige stand van kennis niet te zeggen is hoe deze mogelijk zal veranderen. Lokaal moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid van extra slibsedimentatie, met name in de buurt van de plekken met een versterkte gravitatiecirculatie zoals de spuispunten en nabij Robbezand. Of deze effecten aangetoond kunnen worden in het veld is echter de vraag omdat dit ook nu al plekken zijn waar sterke slibsedimentatie in nabijgelegen gebieden optreedt die nu ook al als slibbron zullen fungeren (bijvoorbeeld de mond van de Vlieter nabij Robbenzand).

Opgemerkt moet worden dat deze conclusies gebaseerd zijn op een beperkt aantal, maar maatgevende, hydraulische omstandigheden. De werkelijke netto situatie kan daar van afwijken.

#### **4.4 Kwelders**

Op de kwelders, die zich vanaf Gemiddeld Hoog Water tot aan het stormvloedniveau uitstrekken zullen de nieuwe spuisluizen geen directe invloed uitoefenen. Het enige dat zou kunnen veranderen is indirect via de aanvoer van slib. Hierdoor zouden de kwelders slibrijker of zandiger worden, al naar gelang. In de zeegeten worden echter geen belangrijke veranderingen in de gravitatiecirculatie verwacht, noch in de mengverhouding zoet en zout, zodat de slibaanvoer nauwelijks zal veranderen. De conclusie is dan ook dat ook de aanvoer van slib naar kwelders gemiddeld niet sterk wordt beïnvloed en er weinig zal veranderen.

De enige kwelders in de westelijke Waddenzee aanwezig zijn de Balgzandkwelders. Deze bestaan nu al bij de gratie van veel menselijke ingrepen, dit met uitzondering van een nieuwe opslibingszone aan het eind van het Amsteldiep. Deze opslibbing kan dus iets minder slibbig of iets slibbiger worden afhankelijk van de slibconcentratie in het zeewater ten opzichte van de concentratie in het spuiwater. Wel is het de vraag of de zeer geringe verandering in slibimport überhaupt merkbaar zal zijn op de kwelders, aangezien veranderingen in de jaarlijkse slibimport klein zijn ten opzichte van de aanwezige slibvoorraden binnen de Waddenzee. Deze slibvoorraden zijn de resultante van een ontwikkeling van tenminste 1000 jaar voor het Marsdiepgebied en ca. 5000 jaar voor het Vliegebied. De jaarlijkse import bedraagt ordegrootte 0,2-1 promille van de totale voorraden aan slib in dit gebied.

#### **4.5 Plaatontwikkeling**

De plaathoogte is afhankelijk van de waterhoogte en het geuloppervlak. Er vinden geen significante veranderingen plaats in de geulen en derhalve ook niet met het geuloppervlak. Volgens de hydraulische 3-D modelstudie worden de waterpeilen lokaal:

- 1) maximaal 0 – 1,5 cm hoger voor hoogwater bij gemiddeld getij (bij spuisluizen 1,5 tot 3 cm hoger).
- 2) Maximaal 0 - 2 cm lager voor laagwater bij gemiddeld getij, rond spui Den Oever is dit zelfs 2 à 3 cm lager.

Rekening moet worden gehouden met de mogelijkheid dat dit artefacten zijn als gevolg van het opleggen van een blokfunctie voor de lozing. Indien het geen artefacten zijn dan zullen de platen vermoedelijk beperkt volgen en worden hoge platen <0,5 cm hoger en lage platen <1 cm lager. Dergelijke veranderingen zijn in praktijk insignificant en onmeetbaar.



---

#### 4.6 Buitendelta's

De buitendelta's zijn lobvormige zandlichamen die zeewaarts van het zeegat liggen. De grootte van de buitendelta is direct gerelateerd aan het dominante getij.

De veranderingen zijn over het algemeen verwaarloosbaar klein te noemen voor alle varianten bij dominant getij voor hoge en lage afvoer. Absoluut gezien gaat het bij Vlie en Marsdiep om veranderingen (bij 2A) van de orde grootte +1000 m<sup>3</sup>, voor Eierlandsche gat tot (1A) +200 m<sup>3</sup>; resp. 0,4-0,5% verschil. Dit is niet significant.

#### 4.7 Eindconclusie morfologie

Er is vrijwel geen onderscheid te maken tussen locatiealternatief 1A en 2A voor wat betreft de morfologische veranderingen. Immers: de grootste veranderingen doen zich voor bij Den Oever, die in beide gevallen ruwweg in gelijke mate een spuidebiet vermindering ondergaat. De overige veranderingen betreft met name de effecten bij Robbezand. De daar verwachte gravitatiecirculatie is naar verwachting iets sterker voor 2A dan 1A. Dit kan leiden tot een iets hogere slibconcentratie in de waterkolom; onwaarschijnlijk is dat dit verder leidt tot significante effecten voor de bodem.



---

## 5 Ecologische effecten

---

### 5.1 Inleiding

De deelstudie ecologie heeft zich in fase 1 en 2a toegespitst op de bodemfauna van de Waddenzee vanwege hun sleutelrol in het ecosysteem van de Waddenzee. Bodemdieren profiteren van de hoge productie van de algen in de waterfase en op de bodem. Vogels en vissen leven op hun beurt van de rijke bodemfauna. Bovendien zijn voor de visserij de kokkel en de mossel van groot belang. Een goede beschrijving van de effecten van een extra spuumiddel op de ecologie van de westelijke Waddenzee kan derhalve alleen plaatsvinden wanneer de effecten op de bodemfauna goed in kaart zijn gebracht.

Het voorkomen van bodemfauna wordt door een groot aantal factoren bepaald. Deze betreffen ondermeer de saliniteit, de sedimentsamenstelling, de stroomsnelheid van het water en de diepteligging. Ook klimatologische factoren spelen een rol. Een strenge winter kan leiden tot massale sterfte. Verder zijn de beschikbaarheid van voedsel en predatie door andere organismen belangrijke biotische factoren. Voor sommige soorten is ook de mens een factor van belang. De winning van mosselzaad ten behoeve van de mosselcultuur en de kokkelvisserij zijn hiervan goede voorbeelden.

De deelstudie ecologie heeft zich geconcentreerd op de factoren waarvan mag worden verwacht dat deze worden beïnvloed door de aanleg van een extra spuumiddel. Deze betreffen de saliniteit, de stroomsnelheid, de sedimentsamenstelling en de bathymetrie. De deelstudies hydraulica en morfologie hebben de effecten op deze factoren in kaart gebracht. De ecologische doorvertaling wordt in dit hoofdstuk verzorgd.

### 5.2 Aanpak

#### *Huidig effect van de spuisluisen op de bodemfauna*

Allereerst is getracht het huidige effect van de spuisluisen op de bodemfauna in kaart te brengen op basis van bestaande inventarisaties. Verder zijn in het najaar van 2001 enkele bemonsteringen van de bodemfauna uitgevoerd op de platen in de directe omgeving van de huidige spuisluisen.

#### *Effecten door veranderingen van de saliniteit*

Door het spuumiddel zullen de saliniteitspatronen in de westelijke Waddenzee wijzigen. Dit is met TRIWAQ doorgerekend. De resultaten van de TRIWAQ 3D berekeningen zijn gebruikt om in een GIS-omgeving ruimtelijke relaties te leggen tussen a-biotische factoren en de verspreiding van een tiental bodemfaunasoorten (HABIMAP). De relaties die zijn gebruikt zijn afgeleid uit monitoringsgegevens van de Westerschelde. De a-biotische factoren van de westelijke Waddenzee die zijn gebruikt betreffen de TRIWAQ modelresultaten voor saliniteit, uit metingen afgeleide kaarten van de bathymetrie, de sedimentsamenstelling en uit (andere) hydrodynamische modelberekeningen afgeleide kaarten van overstromingsduur en stroomsnelheden. Helaas leverde deze aanpak onrealistische resultaten.

---

Op basis van de TRIWAQ 3D berekeningen van de hydrodynamica is met DELWAQ voor de periode 1976-1996 de saliniteit van de westelijke Waddenzee met en zonder extra spuumiddel gesimuleerd. Deze berekening is gebruikt om het effect van een extra spuumiddel op de bodemfauna van de westelijke Waddenzee in te schatten door de kokkel als indicatororganisme te gebruiken. Op basis van een literatuuronderzoek zijn criteria afgeleid om het effect van een verandering van de saliniteitspatronen te kunnen bepalen. De lange termijnberekeningen zijn tevens gebruikt om een indruk te krijgen van het effect van verzoeting/verzouting op de soortenrijkdom van de bodemfauna.

#### *Effecten door veranderingen van het voedselaanbod*

Met het spuiwater wordt een grote hoeveelheid voedingsstoffen, plankton en dood organisch materiaal meegevoerd waardoor het water en het wadsediment wordt verrijkt met organisch materiaal. Dit organisch materiaal heeft een hoge voedingswaarde en vormt lokaal een belangrijke voedingsbron voor organismen op en in het sediment. Om te onderzoeken in hoeverre het voedselaanbod zal wijzigen als gevolg van de aanleg van een extra spuumiddel is een toepassing van het Generiek Estuarium Model (GEM) voor de westelijke Waddenzee opgezet. Het model beschrijft het gedrag van nutriënten, organische stof, en primaire producenten in estuariene zones en kan worden gebruikt voor advisering en onderzoek naar de aanvoer, retentie en recycling van organische stof, effecten op primaire productie en effecten van verandering in transport en turbiditeit.

#### *Effecten door de vorming van een erosiekuil*

De effecten op de morfologie en sedimentologie van de westelijke Waddenzee zijn binnen de deelstudie morfologie onderzocht. Afgezien van de vorming van een erosiekuil in de onmiddellijke nabijheid van het spuumiddel treden er, zoals het zich nu laat aanzien, geen effecten op die (meetbaar) van invloed zijn op de morfologie van het systeem. Hierbij moet worden gedacht aan zaken als een verdieping van de geulen, verandering van het onderwaterlichtklimaat, verslibbing en ophoging of afkalving van intergetijdeplaten. Om deze reden is bij het in kaart brengen van de ecologische effecten door morfologische veranderingen alleen de vorming van een erosiekuil meegenomen.

In het vervolg van dit hoofdstuk worden de effecten door veranderingen van het zoutgehalte beschreven in paragraaf 5.3, de effecten door veranderingen in de beschikbaarheid van voedsel in paragraaf 5.4 en de effecten door de vorming van een erosiekuil in paragraaf 5.5. De conclusies van fase 2 van de studie worden gegeven in paragraaf 5.6 en in paragraaf 5.7 worden de aanbevelingen voor nadere invulling van fase 3 gegeven.

### **5.3 Effecten door veranderingen van saliniteit**

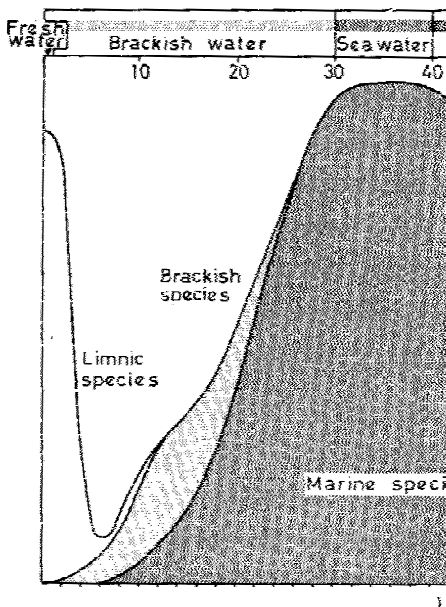
#### *Inleiding*

Van de a-biotische factoren is de saliniteit een zeer belangrijke bepalende factor voor het voorkomen van soorten. Er wordt een minimum aan soorten gevonden bij een saliniteit van 5 - 8 promille. Het aantal soorten neemt toe bij zowel hogere als lagere saliniteitswaarden, met een optimum aan soorten in het volledig zoete water en in zeewater van 30-40 promille (Figuur 5.1) [lit.13] en [lit. 14]. Deze waarneming is gebaseerd op gemiddelde saliniteiten over langere periodes. Minstens zo belangrijk als de gemiddelde saliniteit zijn echter de fluctuaties in saliniteit.

Bij een afname van de fluctuaties neemt het aantal soorten toe, waarbij het vooral gaat om soorten met een mariene achtergrond [lit. 15].

**Figuur 5.1:**

De relatie tussen soortendiversiteit (niet aantallen individuen!) en het zoutgehalte op grond van gegevens uit de Oostzee. Bron:

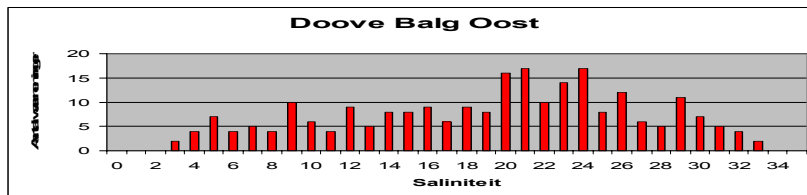


#### Huidige effecten in de geulen

In de directe omgeving van de spuisluizen kan de saliniteit incidenteel sterk dalen als gevolg van langdurige spui van IJsselmeerwater. Dit wordt geïllustreerd door metingen van Rijkswaterstaat in de westelijke Waddenzee (Figuur 3.2). In de buurt van de spuisluizen van Kornwerderzand zijn geregeld zoutgehalten gemeten lager dan 10 ppt (Figuur 5.2).

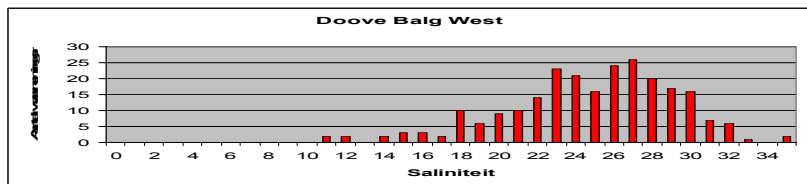
**Figuur 5.2:**

Voorkomen van saliniteiten in Doove Balg Oost.

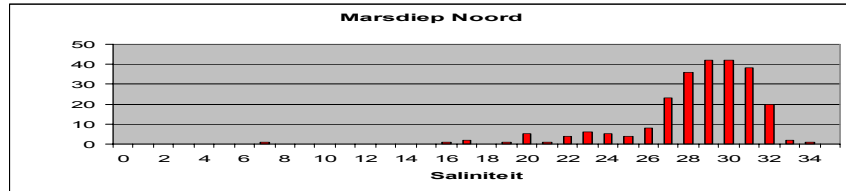


**Figuur 5.3:**

Voorkomen van saliniteiten in Doove Balg West.



**Figuur 5.4:**  
Voorkomen van saliniteiten in Marsdiep.

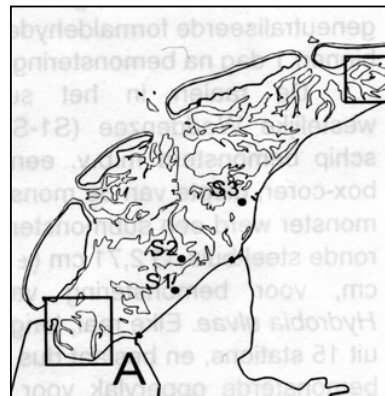


Verderop in de Doove Balg zijn de gemeten saliniteiten nooit lager dan 10 ppt (Figuur 5.3) en weer verderop in Marsdiep zijn de gemeten saliniteiten op een enkele waarnemingen na nooit lager dan 20 ppt (Figuur 5.4).

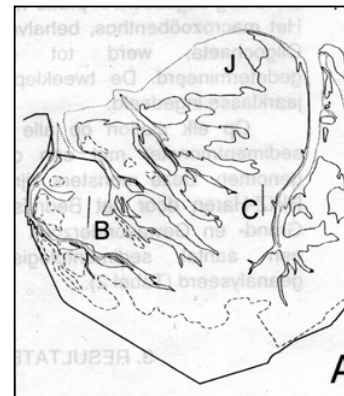
Alle metingen zijn verricht op ca. 1 meter diepte en bij lage spuiafvoeren representatief voor de gehele waterkolom aangezien dan de geulen homogeen gemengd zijn over de verticaal. Bij hoge spuiafvoeren kunnen de geulen stratificeren waarbij (lichter) zoet water over het (zwaardere) zoute water uitstroomt. Het zoutgehalte bij de bodem is dan echter altijd lager dan bij het oppervlak. De metingen suggereren dan ook een hoofdzakelijk lokaal effect op de bodemfauna in de geulen door verzoeting.

In overeenstemming hiermee zijn er geen duidelijke aanwijzingen dat de huidige verzoeting van het Waddenzee water de bodemfauna in de geulen daadwerkelijk beïnvloedt. Uit een eerste analyse, waarbij de gespuide debieten van voorafgaande perioden werden vergeleken met de gegevens van het MWTL-monitoringsprogramma van 1989-2000 (Figuur 5.5 en Figuur 5.6) bleek dat, ook voor gevoelig geachte soorten, er geen verband kon worden aangetoond [lit. 16].

**Figuur 5.5:**  
De plaatsen in het sublitoraal van de Westelijke Waddenzee waar elk jaar de bodemfauna wordt bemonsterd.  
Bron: Dekker, 1992.



**Figuur 5.6:**  
De raaien op het Balgzand waar elk jaar de bodemfauna wordt bemonsterd in het kader van het monitoringsprogramma voor de Rijkswateren. Bron: Dekker, 1992.



Maar ook de bodemfaunagegevens uit de omgeving van Kornwerderzand, op verschillende afstanden van het spuipunt [lit. 17], wijzen niet op duidelijke effecten van zoetwaterspui op de bodemfauna. Alle dicht bij Kornwerderzand aangetroffen soorten behoren tot de gewone waddenzeefauna die ook elders kan worden aangetroffen. Voor het Nonnetje (*Macoma Baltica*) en het Wadslakje (*Hydrobia Ulvae*) is aangetoond dat zelfs dicht bij de spui punten in de westelijke Waddenzee geen groeivertraging waarneembaar was, terwijl deze diersoorten bij experimenten met lage zoutgehaltes (< 7 ‰) niet meer groeiden [lit. 18]. Voor de bodemfauna van het sublittoraal is dan ook de voorlopige conclusie dat deze niet aantoonbaar wordt beïnvloed door de afwatering van IJsselmeerwater.

**Figuur 5.7:**  
Positie van bemonsterde platen bij Den Oever. In rood zijn de bemonsterde transecten weergegeven.

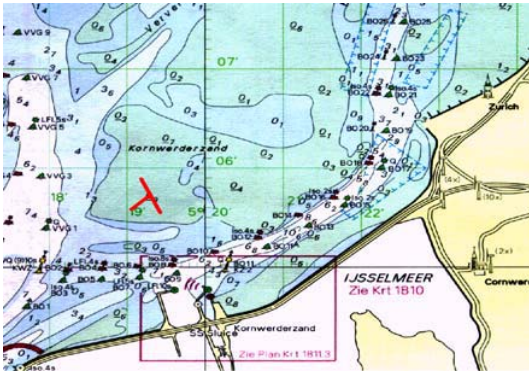


#### *Huidige effecten op de platen*

Aan de start van de studie waren geen gegevens beschikbaar van de bodemfauna op de wadplaten in de nabijheid van de spuisluizen. Daarom zijn in het najaar van 2001 een aantal platen bemonsterd die dicht in de buurt van de spuisluizen liggen [lit.19]. Er is bemonsterd op een tweetal platen bij Den Oever (Figuur 5.7), een plaat bij Kornwerderzand (Figuur 5.8), en in een referentiegebied op de Waardgronden (Figuur 5.9). Tevens is de Breehorn bemonsterd [lit. 20] (Figuur 5.10). De opnamegegevens worden in fase 3 van de studie nader geanalyseerd. Een verkennende analyse laat zien dat het zoutgehalte, en daarmee de spui van IJsselmeerwater niet of nauwelijks een effect heeft op de soortensamenstelling van de bodemfauna, maar dat het zoutgehalte wel een factor is die mede van invloed is op de abundantie van een aantal van de aangetroffen soorten.

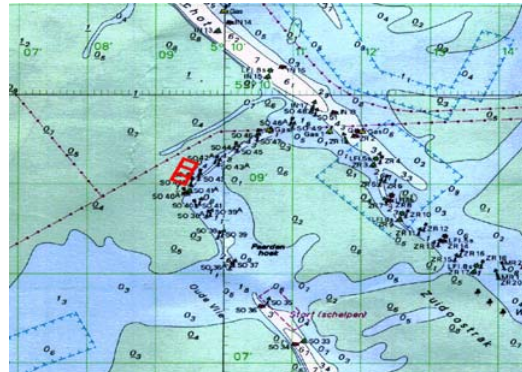
**Figuur 5.8:**

Positie van de bemonsterde plaat bij Kornwerderzand. In rood zijn de bemonsterde transecten weergegeven.



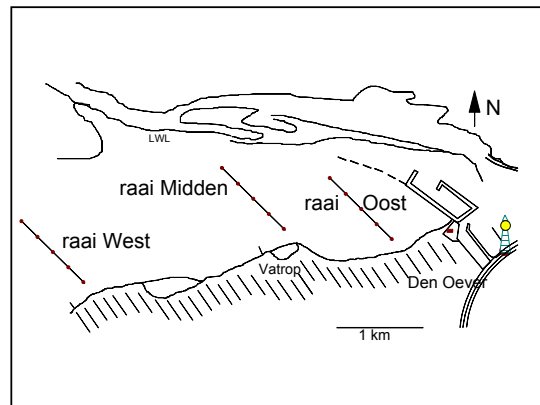
**Figuur 5.9:**

Positie van de monsterroutes op de Waardgronden. In rood is het bemonsterde grid weergegeven.



**Figuur 5.10:**

Ligging van de drie raaien met de 15 locaties, bemonsterd op het droogliggende wad van de Breehorn (westelijke Waddenzee) op 12 en 14 november 2001.



### *Effecten van een extra spuisluis*

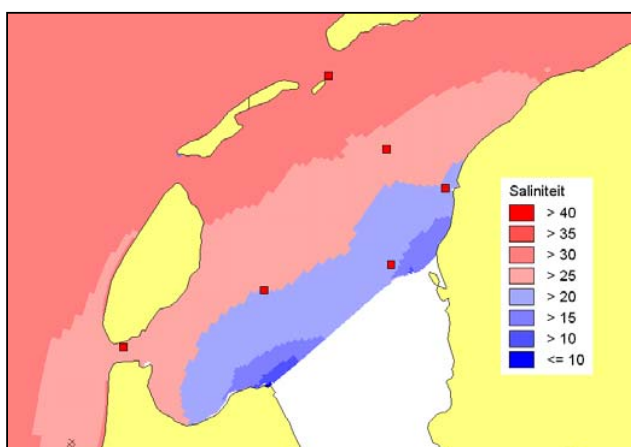
Om een beter inzicht te verkrijgen in de ruimtelijke gradiënten van het zoutgehalte en de temporele dynamiek daarvan, zijn lange termijn saliniteitsberekeningen uitgevoerd. De huidige situatie en de twee locatievarianten 1A en 2A zijn doorgerekend voor de periode 1976-1996 [lit. 21]. De berekeningsmethodiek en de verificatie van de berekeningen zijn beschreven in hoofdstuk 3. De berekeningsresultaten zijn gebruikt om



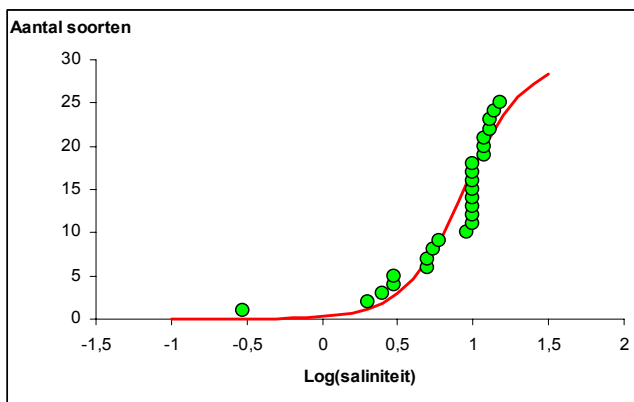
ruimtelijke kaartbeelden samen te stellen van het meerjarig gemiddelde zoutgehalte over de periode januari t/m april voor de huidige situatie en de twee locatievarianten.

Voor de huidige situatie lopen de isohalienen evenwijdig aan de Afsluitdijk, met kleine uitstulpingen bij de spuisluizen in de Afsluitdijk (Figuur 5.11). Op enkele kleine gebieden na zijn de gehalten overall groter dan 20 promille, een belangrijke ecologische grenswaarde waarboven voor de meeste Waddenzee-organismen geen saliniteitsstress optreedt. In de nieuwe situatie wordt er meer water gespuid in de omgeving van Kornwerderzand en bijgevolg minder bij Den Oever. Het gevolg is een verzouting bij Den Oever en verzoeting bij Kornwerderzand (Figuur 5.12, 5.13 en 5.14). Bij variant 2A wordt het water direct in de Doove Balg gespuid. Dit heeft tot gevolg dat het gebied ten westen van Kornwerderzand minder verzoet. De verschillen zijn echter zeer gering zoals wordt geïllustreerd door figuur 5.15 waarin het verschil in zoutgehalte tussen de beide varianten staat aangegeven.

**Figuur 5.11:**  
Ruimtelijk beeld van het meerjarig gemiddelde zoutgehalte over de periode januari t/m april voor de huidige situatie.



**Figuur 5.16:**  
Verband tussen de saliniteit en de in de literatuur gerapporteerde saliniteitsondergrens waarbij de waargenomen soorten nog kunnen voorkomen.



---

Om een eerste indruk te krijgen van het effect van verzoeting/verzouting op de diversiteit van de bodemfauna is van de soorten die zijn gevonden bij de bemonstering van de platen bij Den Oever en Kornwerderzand een responscurve geconstrueerd op basis van hun saliniteitsondergrens waarbij ze nog worden aangetroffen (Figuur 5.16). Deze responscurve is toegepast op de saliniteitskaarten voor de huidige situatie en de toekomstige situatie met extra spuimiddel. Dit geeft als resultaat dat bij Kornwerderzand een geringe verarming (minder soorten) van de bodemfauna zal optreden en bij Den Oever een geringe verrijking (Figuur 5.17).

De resultaten van de TRIWAQ 3D berekeningen zijn gebruikt om in een GIS-omgeving (HABIMAP) ruimtelijke relaties tussen a-biotische factoren en de verspreiding van een tiental bodemfaunasoorten die gelden voor de Westerschelde [lit. 22] te extrapoleren naar de westelijke Waddenzee. De resultaten gaven voor de huidige situatie een onrealistische verspreiding van de tien onderzochte soorten. Om toch de effecten van een verandering van het zoutgehalte op de bodemfauna in te kunnen schatten is een recht-toe recht-aan methodiek ontwikkeld die rechtstreeks aansluit op de resultaten van de lange termijn saliniteitsberekeningen. De methodiek gebruikt de kokkel als indicatororganisme omdat van de kokkel relatief veel bekend is over zijn tolerantie voor zout(fluctuaties), deze gevoelig is voor tijdelijk verlaging van de saliniteit en er veel kennis is over de verspreiding van de kokkel in de westelijke Waddenzee.

De lange termijn saliniteitsberekeningen zijn gebruikt om ruimtelijke figuren te construeren waarin het aantal keer per jaar dat een bepaald saliniteitsniveau voor een bepaalde tijdsduur wordt overschreden staat aangegeven. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk een kaartbeeld te contrueren waarin kan worden afgelezen in welke zone het zoutgehalte vaker dan 5 keer per jaar gedurende een week lager is dan 10 ppt. Op basis van inventarisatiegegevens van de kokkel in de westelijke Waddenzee en een literatuuronderzoek [lit. 23] naar de zouttolerantie van de kokkel is gezocht naar een combinatie van zoutgehalte, tijdsduur en frequentie die voor de huidige situatie een realistisch beeld geeft van het gebied waar kokkels niet kunnen voorkomen. Dit leidde tot het volgende criterium:

1. *'Wanneer de saliniteit vaker dan 2 keer per jaar langer dan 7 dagen achtereen lager is dan 10 ppt, is blijvende vestiging van de kokkel niet langer mogelijk.'*

Buiten dit gebied is er een overgangsgebied waar de kokkel wel kan voorkomen maar waar zijn groei en reproductie door de spui negatief wordt beïnvloed. Omdat kokkelpopulaties zich veelal binnen enkele jaren herstellen wordt is besloten de frequentie van voorkomen te verlagen naar eens in de vier jaar.

2. *'Wanneer de saliniteit eens in de 4 jaar langer dan 7 dagen achtereen lager is dan 10 promille S, dan wordt de groei en reproductie van de kokkel negatief beïnvloed, maar niet in die mate dat blijvende vestiging moet worden uitgesloten.'*

Figuur 5.18 en 5.19 geven de onderschrijdingsfrequentie bij 10 promille S gedurende 7 dagen voor de huidige situatie en locatievariant 1A. Vergelijking van de figuren leert dat het gebied waar kokkels niet kunnen voorkomen (criterium 1) zich in de onmiddellijke nabijheid van de spuiwerken bevindt en in

---

de toekomstige situatie kleiner is, maar zich verplaatst naar de omgeving van Kornwerderzand.

Vergelijking van de figuren leert verder dat het gebied waar de groei van kokkels negatief wordt beïnvloed (criterium 2) zich in de huidige situatie uitstrekt over een ca. 3 km breed gebied dat loopt van de Breehorn tot aan de Javaruggen bij Den Oever en een gebied van circa 3 km breed rondom de Boontjes bij Kornwerderzand, zich in de toekomstige situatie uitbreidt naar alle platen van rondom het Kornwerderzand maar bij Den Oever zich beperkt tot de directe omgeving van de spuisluisen.

De criteria en de resultaten zijn voorgelegd aan bodemfauna-experts van Alterra, NIOZ, RIVO, RIKZ, NIOO-CEMO en RUG. Er was overeenstemming over criterium 1 en het daaruit volgende gebied waar kokkels niet kunnen overleven. Criterium 2 leverde verschillende gezichtspunten op. Een aantal konden zich op pragmatische gronden vinden in het criterium en achtten gebied waar volgens dit criterium de kokkel door saliniteitsstress in zijn groei wordt belemmerd realistisch. Anderen gaven aan dat deze benadering alleen kan worden gebruikt om gebieden te identificeren waar de kokkel niet kan voorkomen (criterium 1).

Op basis van deze bevindingen worden de volgende voorlopige conclusies geformuleerd:

- effecten van verzoeting op kokkels zullen zich alleen bij Kornwerderzand voordoen omdat door aanleg van een extra spuumiddel minder verzoeting zal optreden bij Den Oever (wanneer het huidige operationele beheer van de spuisluisen wordt gecontinueerd).
- het gebied waar de kokkel niet voorkomt is klein en beperkt zich tot de directe omgeving van de spuisluisen.
- het gebied waar de groei van de kokkel wordt beperkt door verzoeting verplaatst zich van de omgeving van Den Oever naar het Kornwerderzand en zijn directe omgeving. Aangezien de kokkel vanwege zijn gevoeligheid voor verzoeting is geselecteerd als indicatororganisme zal voor andere bodemorganismen (bijvoorbeeld de mossel) het beïnvloedingsgebied naar verwachting kleiner zijn.

#### **5.4 Effecten door verandering van het voedselaanbod**

##### *Inleiding*

Met het spuiwater worden grote hoeveelheden nutriënten, zoetwaterplankton en detritus (dood organisch materiaal) aangevoerd naar de westelijke Waddenzee. Daarnaast worden met de getijdestromen nutriënten, plankton en detritus via het Marsdiep en de Vliestroom aangevoerd vanuit de Noordzee. Het gespuide zoetwaterplankton sterft vrijwel ogenblikkelijk af en gaat over in detritus. Dit detritus levert lokaal een bijdrage aan de voedselvoorziening van de bodemfauna in de westelijke Waddenzee. Het wordt aan de waterkolom onttrokken door organismen zoals de mossel en de kokkel die het bovenstaande water filteren en het bezinkt op rustiger locaties waar het wordt benut door organismen die sediment innemen en het daarin aanwezige voedsel eruit opnemen zoals bijvoorbeeld wadpieren.

De bodemfauna is voor zijn voedselvoorziening niet alleen afhankelijk van de aanvoer via de zeegaten en de spuisluisen, maar ook afhankelijk van de lokale productie van organisch materiaal in het bekken zelf. Hierbij worden voedingstoffen (nutriënten) benut voor groei van het microfytobenthos (algen

---

op de platen) en het fytoplankton (algen zwevend in het water). De winterconcentraties van de nutriënten zijn sterk (negatief) gecorreleerd met de saliniteit omdat met het zoete water veel nutriënten worden aangevoerd. Deze worden slechts beperkt opgenomen door algen omdat er 's winters weinig algengroei plaatsvindt. Deze nutriënten komen dan ook grotendeels in het kustwater terecht. De nutriënten die worden gespuid, worden in de loop van het voorjaar en tijdens de zomer, afhankelijk van de temperatuur en de hoeveelheid beschikbaar licht, vastgelegd in algenbiomassa (primaire productie). Wijzigingen in saliniteitspatronen door de aanleg van een extra spuisluis zal leiden tot wijzigingen van de nutriëntconcentraties en mogelijk, wanneer het aanbod van nutriënten de groei beperkt, tot wijzigingen van de primaire productie. Om te onderzoeken in hoeverre het voedselaanbod zal wijzigen als gevolg van de aanleg van een extra spuisluis is een toepassing van het Generiek Estuarium Model (GEM) voor de westelijke Waddenzee opgezet [lit. 24].

#### *Operationalisatie GEM westelijke Waddenzee*

Gelet op de hoeveelheid beschikbare data is besloten GEM te operationaliseren voor het jaar 1998. De transportmodellering is gebaseerd op de TRIWAQ berekeningsresultaten uit de deelstudie hydraulica en staat beschreven in hoofdstuk 3. De randvoorwaarden zijn afgeleid uit een GEM berekening op het Noordzeerooster met het Flyland instrumentarium [lit. 8]. Voor de beschrijving van het lichtklimaat is gebruik gemaakt van de resultaten van het Flyland slibmodel [lit. 25]. De meteorologische forcing (instraling, temperatuur, windrichting en snelheid) is gebaseerd op metingen van het KNMI en temperatuurmetingen uit het MWTL meetprogramma van Rijkswaterstaat. Om een zo nauwkeurig mogelijk schatting te verkrijgen van de aanvoer van nutriënten en organische stof vanuit het IJsselmeer is deze gebaseerd op resultaten van de DBS<sup>1</sup>-IJsselmeer toepassing. GEM is vervolgens gecalibreerd op basis van metingen uit het MWTL-meetprogramma van Rijkswaterstaat.

#### *Resultaten en conclusies*

Er zijn drie scenario's doorgerekend met het gecalibreerde instrumentarium. Deze betreffen 'Referentie 2008', 'Locatievariant 1A' en 'Locatievariant 2A'. Algemeen kan uit de scenarioberekeningen worden geconcludeerd dat de verschillen tussen variant 1A en 2A zeer gering zijn. Ten opzichte van de referentiesituatie zijn de verschillen wat groter. Toch zijn de effecten van een extra spuisluis op het chlorofyl gehalte, een maat voor de biomassa van het fytoplankton, gering (Figuur 5.20). Ook de hoeveelheid detritus in het sediment wijzigt nauwelijks (Figuur 5.21). De effecten van een extra spuisluis op het aanbod van voedsel voor de bodemfauna zullen dan ook gering zijn. Bovendien wordt een daling van de voedselbeschikbaarheid bij Den Oever gecompenseerd door een stijging bij Kornwerderzand.

---

<sup>1</sup> DBS (DELWAQ-BLOOM-SWITCH) is een sterk met GEM vergelijkbaar stofstroommodel, operationeel voor het IJsselmeer. Een eerste versie is in 1997 ontwikkeld door WLIDelft Hydraulics in opdracht van RIZA, betaald door RDIJ. In deze versie zijn de transporten afgeleid van een rechthoekige WAQUA schematisatie met een resolutie van 1 bij 1 km. Het model simuleert de jaren 1988, 1989 en 1993. In het kader van een BCRS project (Beleids Commissie Remote Sensing) is het model overgezet naar een curvi-lineair grid van het IJsselmeer en is het model geactualiseerd voor de situatie van 1998.)

---

## 5.5 Effecten door de vorming van een erosiekuil

Bij het nieuwe spuumiddel zal zich een erosiekuil vormen waarvan de diepte en de vorm worden bepaald door de gemiddelde afvoeren. Bij lagere afvoeren fungeert de erosiekuil als een bezinkput van slib en organisch materiaal. Door microbiële afbraak van het organisch materiaal in het sediment van de erosiekuil is het niet uitgesloten dat er tijdens de zomer zuurstofloze condities optreden. De combinatie van een slibrijk sediment, het regelmatig optreden van een sterke verzoeting van het water en mogelijk zuurstofloze condities maakt dat er naar verwachting in de erosiekuil nauwelijks bodemleven mogelijk zal zijn. Dit wordt bevestigd door een bemonstering van de bodemfauna in de spuikom van de huidige spuumiddelen in het najaar van 2001 [lit. 26]. In de monsters werd geen macrofauna van betekenis aangetroffen.

## 5.6 Conclusies

De belangrijkste conclusie van het onderzoek luidt dat de verschillen in ecologisch effect tussen variant 1A en 2A verwaarloosbaar zijn, behoudens lokale effecten in de directe omgeving van het spuumiddel, bijvoorbeeld als gevolg van de vorming van een erosiekuil en het voorkomen van extreem lage saliniteiten.

Ten opzicht van de huidige situatie worden wat betreft de effecten op de ecologie de volgende (voorlopige) conclusies getrokken:

- De soortensamenstelling van de bodemfauna zal nauwelijks wijzigen.
- Het gebied waar de kokkel, een voor verzoeting gevoelig organisme, niet voorkomt is minimaal en beperkt zich tot de directe omgeving van de spuisluisen.
- Het gebied waar de groei van de kokkel wordt beperkt door verzoeting verplaatst zich van de omgeving van Den Oever naar het Kornwerderzand en zijn directe omgeving.
- De meeste andere aanwezige bodemorganismen zijn minder gevoelig voor verzoeting (bijvoorbeeld de mossel). Voor deze organismen zal het beïnvloedingsgebied naar verwachting kleiner zijn.
- Het voedselaanbod in het sediment en de waterkolom zal iets wijzigen: een geringe verarming in de omgeving van Den Oever en een geringe verrijking in de omgeving van Kornwerderzand. Tegelijkertijd vormt het zoete water een stress-factor die afneemt bij Den Oever en toeneemt bij Kornwerderzand. Het uiteindelijke effect op het voedselaanbod is daardoor naar verwachting gering.
- In de erosiekuil zal geen bodemfauna van betekenis voorkomen.

## 5.7 Aanbevelingen

### *Inleiding*

In fase 2a van de studie is de meeste aandacht uitgegaan naar de effecten op het fytoplankton en de bodemfauna. Aanbevolen wordt de effectbeschrijving van een extra spuumiddel te completeren tot een effectbeschrijving voor het gehele ecologische systeem. In het vervolg van deze paragraaf wordt dit verder uitgewerkt. Eerst wordt nader ingegaan op de beoordeling van de ecologische effecten en de beschrijving van het nulalternatief en de autonome ontwikkeling.

---

### *Beoordeling ecologische effecten*

Tot op heden zijn er aan de aspecten en criteria die worden genoemd in het Beoordelingskader geen normen verbonden. De normen zullen moeten aangeven welke veranderingen als significant wordt beschouwd. Wanneer een verandering significant is zal voor de beoordeling moeten worden vastgesteld of de verandering als positief of negatief wordt beschouwd. Voor de vogelsoorten staat in het Beoordelingskader bijvoorbeeld aangegeven dat voor de effectbepaling de verandering van het aantal individuen moet worden bepaald. Er is niet vastgesteld wanneer een verandering als significant moet worden beschouwd. Is een verandering van de populatiegrootte van 10% significant? Deze aspecten moeten worden beschouwd in samenhang met de (grote) natuurlijke variabiliteit van het systeem op de diverse tijdschalen, de meetfouten (vogeltellingen zijn binnen een marge van 30% betrouwbaar) en het simpelweg ontbreken van ecologische gegevens. Al met al lastige materie waar ruim de tijd voor moet worden genomen en waar, lopende het onderzoek maar in ieder geval voordat de ecologische eindrapportage ter hand wordt genomen, een standpunt over moet worden ingenomen.

### *Nulalternatief en autonome ontwikkeling*

De huidige situatie (T0) staat beschreven in het rapport 'Ecosysteembeschrijving IJsselmeer en Waddenzee'. Het rapport legt de nadruk op een beschrijving van de 'gemiddelde' situatie. Er wordt weinig aandacht besteed aan het dynamische karakter van het systeem en extreme situaties. De autonome ontwikkeling van de ecologie is nog niet in kaart gebracht. Aanbevolen wordt de bestaande rapportage uit te breiden met een beschouwing over de variabiliteit van het Waddenzee-ecosysteem en een beschrijving van de autonome ontwikkeling van de ecologie.

### *Nutriëntenhuishouding, plankton en primaire productie*

Er is een toepassing van GEM geoperationaliseerd om de effecten op de nutriëntenhuishouding, de productiviteit van fytoplankton en daaruit voortvloeiend het aanbod van voedsel aan bodemfauna en visfauna in te schatten. GEM biedt een voldoende uitgangspunt om de effecten van de spuivarianten op de nutriëntenhuishouding en het fytoplankton te bepalen.

### *Bodemfauna*

Zoals vermeld is er een HABIMAP toepassing opgezet om de effecten op de bodemfauna in te schatten. Deze toepassing maakte gebruik van statistische relaties tussen a-biotiek (onder meer saliniteit) en het voorkomen van een tiental soorten bodemfauna. De relaties waren afgeleid op basis van monitoringdata van de Westerschelde. De a-biotiek van de westelijke Waddenzee is ingebracht vanuit modelresultaten (saliniteit) en meetresultaten (bathymetrie en sedimentsamenstelling). De resultaten zijn door experts getoetst tijdens een workshop. Hieruit kwam als belangrijkste resultaat naar voren dat de Westerschelde-relaties niet overdraagbaar zijn naar de westelijke Waddenzee. Er wordt dan ook aanbevolen om Waddenzee-specifieke input-output relaties af te leiden op basis van opnamedata van bodemfauna van de westelijke Waddenzee, deze relaties te implementeren in HABIMAP. Aanbevolen wordt gebruik te maken van de surveyresultaten van fase 2a, de survey resultaten van de Breehorn (RIKZ tbv de ontwerpstudie), surveyresultaten van Alterra en surveyresultaten van RIVO (mosselen en kokkels) en te onderzoeken in hoeverre in deze opnamebestanden saliniteit een belangrijke verklarende factor is voor het voorkomen van macrobenthos.

---

#### *Kwelders*

'Kwelders worden morfologisch niet significant beïnvloed.' luidt een van de conclusies van de deelstudie morfologie. Er is nog niet onderzocht in hoeverre een verandering van de saliniteit van het incidenteel overstromende water de soortensamenstelling van de kwelderflora en -fauna kan veranderen. Aanbevolen wordt hier aandacht aan te besteden.

#### *Zeegras*

Momenteel komen er geen zeegrasvelden voor in de westelijke Waddenzee. In het Beoordelingskader wordt dan ook aangegeven dat moet worden vastgesteld in hoeverre het areaal met een zekere 'potentie' voor toekomstige ontwikkeling van zeegrasvelden veranderd. In de HABIMAP toepassing van de westelijke Waddenzee is ten behoeve van de ontwerpstudie een input-output relatie ingebracht waarmee de potentie voor zeegrasontwikkeling in kaart wordt gebracht. Aanbevolen wordt om met behulp van HABIMAP de effecten zijn van de aanleg van een nieuw spuumiddel op de mogelijkheden voor herintroductie van zeegras in de westelijke Waddenzee in te schatten.

#### *Visfauna*

Er is een onderzoek uitgevoerd naar het voorkomen van vissoorten (en garnaal) in relatie tot het zoutgehalte en andere habitiatvariabelen. Aanbevolen wordt dit onderzoek aan te wenden voor de effectbepaling voor de visfauna.

#### *Vogels en zeezoogdieren*

Wanneer de effecten op de het fytoplankton, de bodemfauna en de visfauna in kaart zijn gebracht kunnen de effecten op vogels en zeezoogdieren in kaart worden gebracht.





---

## 6 Conclusies

---

### 6.1 Gevolgen aanleg nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk

#### Hydraulische effecten

In het algemeen kan gesteld worden dat de vergelijkingen tussen de huidige situatie en de locatiealternatieven 1A en 2A laten zien dat het noordoostelijk deel van de Waddenzee als gevolg van een nieuwe spuisluis iets zoeter wordt en het zuidwestelijk deel iets zouter. De saliniteitsveranderingen zijn van de orde grootte van 0 tot +3 psu in het zuidwestelijke deel van de Westelijke Waddenzee en 0 tot -3 psu in het noordoostelijke deel. Door de nieuwe sluis (op locatie 1A of 2A) zullen de ebsnelheden in de Doove Balg, en Vlieter iets toenemen, de vloednelheden nemen hier marginaal af.

#### Morfologische effecten

Er worden als gevolg van het nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk geen effecten op de plaatontwikkeling (hoogte van de platen), kwelders en buitendelta's verwacht.

Het is met de huidige kennis niet te zeggen hoe de slibsedimentatie op de platen zal veranderen. Lokaal moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid van extra slibsedimentatie, met name in de buurt van de plekken met een versterkte gravitatiecirculatie zoals de spuipunten en nabij Robbezand. Of deze effecten aangetoond kunnen worden in het veld is echter de vraag omdat dit ook nu al plekken zijn waar sterke slibsedimentatie in nabijgelegen gebieden optreedt die nu ook al als slibbron zullen fungeren (bijvoorbeeld de mond van de Vlieter nabij Robbezand).

#### Ecologische effecten

De volgende ecologische effecten worden als gevolg van de aanleg van een nieuwe spuisluis in de Afsluitdijk verwacht:

- De soortensamenstelling van de bodemfauna zal nauwelijks wijzigen.
- Het gebied waar de kokkel, een voor verzoeting gevoelig organisme, niet voorkomt is minimaal en beperkt zich tot de directe omgeving van de spuisluizen.
- Het gebied waar de groei van de kokkel wordt beperkt door verzoeting verplaatst zich van de omgeving van Den Oever naar het Kornwerderzand en zijn directe omgeving.
- De meeste andere aanwezige bodemorganismen zijn minder gevoelig voor verzoeting (bijvoorbeeld de mossel). Voor deze organismen zal het beïnvloedingsgebied naar verwachting kleiner zijn.
- Het voedselaanbod in het sediment en de waterkolom zal iets wijzigen: een geringe verarming in de omgeving van Den Oever en een geringe verrijking in de omgeving van Kornwerderzand. Tegelijkertijd vormt het zoete water een stress-factor die afneemt bij Den Oever en toeneemt bij Kornwerderzand. Het uiteindelijke effect op het voedselaanbod is daardoor naar verwachting gering.
- In de erosiekuil zal geen bodemfauna van betekenis voorkomen.

---

## 6.2 Verschil in effecten voor locatiealternatief 1A en 2A

### Hydraulische effecten

Op grond van hydraulische overwegingen is geen voorkeur voor een van de twee alternatieven te geven, omdat:

- de verschillen in saliniteiten tussen locatiealternatief 1A en 2A marginaal zijn.
- de verschillen in stroomsnelheden zijn orde grootte 4 à 5 cm/s, hetgeen ook marginaal is.
- de verschillen in waterstanden zijn in de nabijheid van de spuilocaties soms maximaal 8 cm, maar zijn overal elders in de westelijke Waddenzee kleiner (variërend tussen 0 en 2 cm).

### Morfologische effecten

Voor wat betreft de morfologische veranderingen is vrijwel geen onderscheid te maken tussen variant 1A en 2A. De grootste veranderingen doen zich voor bij Den Oever, waar in beide gevallen ruwweg in gelijke mate een spuidebiet vermindering plaats vindt. De overige veranderingen betreft met name de effecten bij Robbezand. De daar verwachte gravitatiecirculatie is naar verwachting iets sterker voor 2A dan 1A. Dit kan leiden tot een iets hogere slibconcentratie in de waterkolom; onwaarschijnlijk is dat dit verder leidt tot significante effecten voor de bodem.

### Ecologische effecten

Ook de verschillen in ecologisch effect tussen variant 1A en 2A zijn verwaarloosbaar, behoudens lokale effecten in de directe omgeving van het spuumiddel, zoals als gevolg van de vorming van een erosiekuil en het voorkomen van extreem lage saliniteiten.

### Conclusie

Er is geen verschil tussen locatiealternatief 1A of 2A in far field hydraulische, morfologische en ecologische effecten op de westelijke Waddenzee. Derhalve wordt op basis van deze effecten geen voorkeur voor een van beide locatiealternatieven uitgesproken.

## 6.3 Fase 3

Na het bestuderen van de resultaten uit fase 2 bleken er op diverse onderdelen vragen te ontstaan. Voorbeelden hiervan op het gebied van hydraulica zijn onzekerheden over de toepasbaarheid van sommige TRIWAQ-berekeningen. Voor ecologie was dit bijvoorbeeld de gebruikte relaties in HABIMAP. In april 2002 is daarom een plan van aanpak opgesteld om deze vragen te onderzoeken [lit. 27]. De vragen staan in voorliggend rapport ook genoemd bij de aanbevelingen in paragraaf 3.7 en 5.7.

---

## Verklarende woordenlijst

---

*Abiotische factoren:* patronen en processen, die te maken hebben met niet-levende factoren zoals wind, water, bodemvorming, etc.

*Activiteit:* geheel van handelingen, ingrepen en dergelijke bedoeld ter realisatie van bepaalde doelstellingen of ter oplossing van bepaalde problemen. Een activiteit kan zowel datgene zijn, wat de initiatiefnemer zich voorstelt te gaan doen (voorgenomen activiteit = het voornemen) als een alternatief daarvoor, dat eveneens bedoeld is ter realisatie van deze doelstellingen of ter oplossing van deze problemen.

*Alternatief:* andere wijze dan de voorgenomen activiteit om (in aanvaardbare mate) tegemoet te komen aan de doelstelling(en). De Wet Milieubeheer schrijft voor, dat in een MER alleen alternatieven moeten worden beschouwd, die redelijkerwijs in de besluitvorming een rol kunnen spelen. De richtlijnen geven mede richting aan dat begrip 'redelijkerwijs'.

*Autonome ontwikkeling:* veranderingen, die zich naar verwachting in het milieu zullen voltrekken als noch de voorgenomen activiteit noch een van de alternatieven wordt uitgevoerd.

*Commissie voor de m.e.r.:* commissie van onafhankelijke deskundigen die het bevoegd gezag adviseert over de inhoud van het milieueffectrapport en in een latere fase over de kwaliteit van het milieueffectrapport.

*Doodtij:* getijfase waarin de invloed van de zon die van de maan verzwakt met als gevolg een lagere hoogwaterstand en hogere laagwaterstand.

*Ecologie:* de wetenschap van de betrekkingen tussen organismen onderling en tussen organismen en groepen van organismen en hun omgeving.

*Ecologische hoofdstructuur (EHS):* netwerk van kerngebieden, natuurontwikkelingsgebieden en verbindingszones waarbinnen flora en fauna zich kunnen handhaven en uitbreiden.

*Ecosysteem:* een ruimtelijk begreemd systeem bestaande uit (groepen) van organismen en abiotische elementen in een bepaalde ruimte, inclusief alle onderlinge relaties.

*Estuariene circulatie:* ook wel gravitatiecirculatie genoemd. Door het uitstromen van zoet water ontstaat een horizontale saliniteitsgradiënt met een specifieke estuariene 3D drukverdeling. Hierdoor ontstaat er aan het oppervlak een stromingscomponent die vanuit de bron van het zoete water af is gericht en aan de bodem een stromingscomponent naar de bron van het zoet water toe. Aan de bodem kunnen deze stromingscomponenten snelheden tot 10 cm/s hebben.

*Evaluatie:* het onderzoeken of in een concreet geval de daadwerkelijk optredende gevolgen bij aanleg en gebruik van een activiteit binnen de grenzen blijven van de gevolgen die mede op basis van het

---

milieueffectrapport ten tijde van het besluit werden verwacht en van de voorwaarden die deel uitmaken van het mede op basis van het milieueffectrapport genomen besluit.

*Expert-judgement:* het oordeel van deskundigen, dat gebaseerd is op kennis en ervaring.

*Gemiddeld getij:* getijfase waarin de invloed van de zon op die van de maan neutraal is met als gevolg een gemiddelde hoogwaterstand en laagwaterstand.

*Getijprisma:* volume water tussen gemiddeld laag- en hoogwater (=1/2 getijvolume).

*Gravitielcirculatie:* ook wel estuariene circulatie genoemd. Zie bij estuariene circulatie.

*Habitat:* kenmerkende woon- of verblijfplaats van een planten- of diersoort.

*Hoogwater:* hoogste waterstand, het ogenblik dat de vloed op zijn hoogst is.

*Hydraulica:* de wetenschap van het evenwicht en de beweging der vloeistoffen.

*Initiatiefnemer:* een natuurlijk persoon, dan wel een privaat- of publiekrechtelijk rechtspersoon (een particulier, bedrijf, instelling of overheidsorgaan) die een bepaalde activiteit wil (doen) ondernemen en daarover een besluit vraagt.

*Intergetijdegebied:* gebied tussen de hoog- en laagwaterlijn.

*Isohalienen:* lijnen die een gelijke saliniteit aangeven.

*Stratificatie:* Het voorkomen of de vorming van duidelijke, onderling gescheiden lagen in een waterbekken, gekarakteriseerd door temperatuur- en dichtheidsverschillen over de waterkolom. In de bovenlaag overheersen opbouwprocessen, en in de onderlaag afbraakprocessen. Laatstbedoelde processen kunnen in de onderlaag gepaard gaan met onder meer zuurstoftekorten.

*Komberging:* watervolume tussen twee vaste peilen (hoogwater en laagwater).

*Kombergingsgebied:* het gebied wat als gevolg van getijdenwisselingen afwisselend vol en dan weer leegloopt. Deze kombergingsgebieden kunnen ten aanzien van de waterbeweging worden gekarakteriseerd als bergingsgebieden, dit in tegenstelling tot de stroomvoerende geulen.

*Kritische stroomsnelheid voor sediment:* Dit is de stroomsnelheid waarbij bodemsediment opgewerveld wordt en in de waterkolom terecht komt, waar het in horizontale richting verder wordt getransporteerd.

---

*Kwelder*: land dat alleen bij verhoogd hoogwater onder water komt te staan (wordt gekarakteriseerd door een specifiek ecosysteem). Onder normale omstandigheden staat een kwelder droog.

*Laagwater*: laagste waterstand, het ogenblik dat de eb op zijn laagst is.

*M.e.r.*: milieueffectrapportage; een hulpmiddel bij de besluitvorming, dat bestaat uit het maken, beoordelen en gebruiken van een milieueffectrapport en het evalueren achteraf van de gevolgen voor het milieu van de uitvoering van een mede op basis van dat milieueffectrapport genomen besluit, een en ander met inachtneming van de voorgeschreven procedurele uitgangspunten.

*MER*: milieueffectrapport (het product van een m.e.r.).

*Macrobenthos*: macrofauna die op of in de bodem leven en te scheiden zijn met een zeef van 0,5 mm tot 1 mm.

*Morfologie*: de wetenschap van de (ontwikkeling van) sedimentaire vormen in een bepaald gebied.

*PKB*: Planologische Kernbeslissing.

*PKB-Waddenzeegebied*: dat gebied dat begrensd wordt door de PKB. Dit komt overeen met het gebied 'waar water kan komen'. Hoge duinen en dijken behoren niet tot het PKB-gebied.

*PSU*: Practical Salinity Units: zeewater met een PSU van 35 heeft een geleidendheid verhouding van 1 (bij 15° en 1 atmosfeer) ten opzichte van een (standaard) KCl oplossing met een massa van 32.4356 gram KCl per kg vloeistof. Deze verhouding is dimensieloos; vandaar het begrip PSU. Praktisch gezien is 1 PSU ongeveer gelijk aan 1 ppt (parts pro thousand or ‰). Het zoutgehalte wordt uitgedrukt in PSU of saliniteit.

*Richtlijnen*: de door het bevoegd gezag na het vooroverleg te bepalen wenselijke inhoud van het op te stellen milieueffectrapport.

*Saliniteit*: het totale gewicht aan vaste stof per gewichtseenheid zeewater, als alle carbonaten zijn omgezet in oxyden, alle organische stof is geoxydeerd en alle broom- en jodium-ionen zijn vervangen door equivalente hoeveelheden chloor-ionen. Het zoutgehalte wordt uitgedrukt in PSU of saliniteit.

*Springtij*: getijfase waarin de invloed van de zon die van de maan versterkt met als gevolg een hogere hoogwaterstand en een lagere laagwaterstand.

*Subgetijde*: onder de gemiddelde waterlijn.

*Supragetijde*: boven de gemiddelde hoogwaterlijn.

*Verversingstijd*: dat is niet de tijd die nodig is voordat al het water in een gedeelte van de Waddenzee vervangen is door vers (Noordzee-)water, want dat duurt oneindig lang. Het is bij benadering de tijd die nodig is om ongeveer 66% van het water in een bepaald compartiment te vervangen.

---

*Wadgeulen:* aan- en afvoergeulen van de waddeneilanden, de Noordzeekustzone en de Waddenzee.

*Wantij:* verticaal getij dat niet of nauwelijks met stroming gepaard gaat, als gevolg van de toetreding van de getijgolf vanuit twee (tegengestelde) richtingen of hoger gelegen gebied als scheidung tussen twee geulstelsels (vergelijkbaar met stroomscheiding van rivieren), waar dit verticale getij zonder stroming optreedt.

*Wetland:* waterrijk natuurgebied.

---

## Literatuurlijst

---

- [lit. 1] NIOZ, Netherlands Institute for Sea Research, Zimmerman, J.T.F., *Mixing and flushing of tidal embayments in de Western Dutch Waddensea, Part I: Distribution of salinity and calculation of mixing time scales*, Netherlands Journal of Sea Research, 10(2): 149 – 191, 1976
- [lit. 2] *Monitoring rijkswateren jaarboek 1998 kentallen*, 1999
- [lit. 3] Alkyon, *Afsluitdijk effectenstudies hydrologie, Toetsing en simulaties westelijke Waddenzee 3D model studie, rapport fase 1 en 2*, rapportnummer A822R1r2, April 2002
- [lit. 4] RIZA, *Definitiestudie Spui Afsluitdijk, fase 2: Bepaling spuilocatie en capaciteit*, werkdocument RIZA 2001.078X, mei 2001
- [lit. 5] Alkyon, *IJsselmeermodeel, bouw en afregeling*, rapport A626, Augustus 2000
- [lit. 6] Ridderinkhof, H., *Residual currents and mixing in the Wadden Sea*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht, mei 1990
- [lit. 7] *Langjarige Saliniteitsberekeningen Waddenzee*, Rapport Z3250
- [lit. 8] MARE, 2001a, *Description and model representation to situation, part 2: transport, nutrients and primary production. Perceel 3, Deelprodukt 2*, Rapport Z3030.10
- [lit. 9] Alkyon, *Afsluitdijk effectenstudies hydrologie, Toetsing en simulaties westelijke Waddenzee 3D model studie, rapport fase 3*, rapportnummer A822R2r2, Juli 2002
- [lit. 10] Adema, J. & Banning G. van, *Effecten locaties spui; Modelsimulaties*, Rapport A760R1, April 2001
- [lit. 11] Banning, G., van,; *Effecten locaties spui; Aanvullende simulaties Concept rapport deel 2*, A760R2, mei 2001
- [lit. 12] Banning, G., van, *Effecten locaties spui Aanvullende modelsimulaties; Alternatief nabij Den Oever Rapport deel 3a*, A760R3a, mei 2002
- [lit. 13] Kinne, O., *Marine Ecology*. Vol. I, Part 2 (Environmental factors). Wiley-interscience, London, New York, 1971
- [lit. 14] Remane, A., *Die Brackwasserfauna*. Verh. Deutsch, Ges.36: 34-74, 1934
- [lit. 15] De Jonge, *Classification of brackish coastal inland waters*. Hydrobiological Bulletin Vol. 8 (1/2), 29-39, 1974

- 
- [lit. 16] Stoutjesdijk, M. en de Vlas J., *Verkenning effecten zoetwaterspui op bodemdieren*, Werkdocument RIKZ/AB/2001.607x, 2001
- [lit. 17] Essink, K., Kleef, H.L., Tydeman, P., Jungman, J., Duyts, O., Bargerbos, H., *Ecologische inventarisatie Waddenzee nabij Kornwerderzand: bodemfauna en visserijkundige effecten*, Rapport RIKZ-99.010, 1999
- [lit. 18] Kleef, H.L., *De invloed van de IJsselmeerspui op de groei van Macoma baltica en Hydrobia ulvae in de westelijke Waddenzee*. Rapport AOB-86.152, Dienst Getijdewateren, 1986
- [lit. 19] Aquasense, 2001a, [ES]2-Afsluitdijk: Survey bodemfauna, hoofdrapport. Rapportnummer 1757-3
- [lit. 20] RIKZ, *De bodemfauna van de Breehorn (westelijke Waddenzee): een kwantitatieve survey in november 2001*, Werkdocument RIKZ/2001/OS.611x, 2001
- [lit. 21] WLI Delft Hydraulics, *Effect van een extra spuisluis in de Afsluitdijk op de waterkwaliteit en de ecologie in de Waddenzee*, Rapport Z3046, 2002A
- [lit. 22] Ysebaert, T., *Macrozoobenthos and waterbirds in the estuarine environment: spatio-temporal patterns at different scales*, PhD thesis, University of Antwerp, Communications of the Institute of Nature Conversation 16, Brussel, Belgium, 2000
- [lit. 23] Royal Haskoning, *Zouttolerantie bij mosselen en kokkels*, Rapport 26814/R00002/THIE/Gron, 2002
- [lit. 24] WLI Delft Hydraulics, *GEM, a Generic Ecological Model for estuaries*. Rapport T2087, 2001a, 1997
- [lit. 25] MARE 2002A, *Description and model representation to situation, part 1: transport of fine grained sediments in the southern North Sea. Perceel 3, Deelprodukt 2*, Rapport Z3030.10
- [lit. 26] Aquasense, 2002A, [ES]2-Afsluitdijk: Survey bodemfauna, bemonstering van de spuikokers, Rapportnummer 1765
- [lit. 27] RIKZ, *Plan van Aanpak Fase 2-vervolg, Mitigatie en Compensatie*, werkdocument RIKZ/AB/2002.602x, April 2002



---

## Lijst van tabellen

---

Tabel 3.1 (deels ook in de tekst opgenomen)  
Simulatieoverzicht met per scenario de gebruikte spuihoeveelheden

Tabel 3.2 deels ook in in de tekst opgenomen)  
Simulatieoverzicht met per scenario het getij en wind

Tabel 3.3  
Maximum saliniteit aan de oppervlakte

Tabel 3.4  
Minimum saliniteit aan de oppervlakte

Tabel 3.5  
Minimum saliniteit op de bodem

Tabel 3.6  
Maximum saliniteit op de bodem

Tabel 3.7  
Maximum vloodsnelheden aan de oppervlakte

Tabel 3.8  
Maximum ebsnelheden aan de oppervlakte

Tabel 3.9  
Maximum vloodsnelheden aan de bodem

Tabel 3.10  
Maximum ebsnelheden aan de bodem

Tabel 3.11  
Laagste waterstand in m

Tabel 3.12  
Hoogste waterstand in m

Tabel 3.13 (in de tekst opgenomen)  
Gehanteerde afvoer- en windgegevens in hydrodynamische berekeningen voor de huidige situatie bij gemiddeld getij (YG05, YG01 en YG02)

Tabel 3.14 (in de tekst opgenomen)  
Gehanteerde hydrodynamische situaties



---

## Lijst van figuren

---

Figuur 1.1 (opgenomen in de tekst):  
De locatiealternatieven

Figuur 3.1 (opgenomen in de tekst):  
Rekenroosters IJsselmeer model en Kuststrook model: Samenhang modellen

Figuur 3.2 (opgenomen in de tekst):  
Ligging stations in de westelijke Waddenzee

Figuur 3.3:  
Verificatie: waterstanden in stations Vlieland-haven en West Terschelling januari 1983

Figuur 3.4:  
Verificatie: waterstanden in stations Vlieland-haven en West Terschelling december 1982

Figuur 3.5:  
Verificatie: waterstanden in stations Den Oever en Kornwerderzand januari 1983

Figuur 3.6:  
Verificatie: waterstanden in stations Den Oever en Kornwerderzand december 1982

Figuur 3.7:  
Verificatie: waterstanden in stations Eierland en Harlingen januari 1983

Figuur 3.8:  
Verificatie: waterstanden in stations Eierland en Harlingen december 1982

Figuur 3.9 (ook opgenomen in de tekst):  
Verificatie: snelheden en saliniteiten in station Doove Balg Oost

Figuur 3.10:  
Verificatie: snelheden en saliniteiten in station Vliestroom

Figuur 3.11 (ook opgenomen in de tekst):  
Saliniteiten per scenario (maximum en minimum saliniteit aan de bodem en de oppervlakte) in Den Oever

Figuur 3.12 (ook opgenomen in de tekst):  
Saliniteiten per scenario (maximum en minimum saliniteit aan de bodem en de oppervlakte) in Kornwerderzand

Figuur 3.13 (ook opgenomen in de tekst):  
Saliniteiten per scenario (maximum en minimum saliniteit aan de bodem en de oppervlakte) in Marsdiep Noord

---

Figuur 3.14 (ook opgenomen in de tekst):  
Saliniteiten per scenario (maximum en minimum saliniteit aan de bodem en de oppervlakte) in Zeegat van het Vlie

Figuur 3.15 (ook opgenomen in de tekst):  
Saliniteiten per scenario (maximum en minimum saliniteit aan de bodem en de oppervlakte) in Doove Balg West

Figuur 3.16 (ook opgenomen in de tekst):  
Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloedssnelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Den Oever

Figuur 3.17 (ook opgenomen in de tekst):  
Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloedssnelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Kornwerderzand

Figuur 3.18 (ook opgenomen in de tekst):  
Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloedssnelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Marsdiep Noord

Figuur 3.19 (ook opgenomen in de tekst):  
Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloedssnelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Zeegat van het Vlie

Figuur 3.20 (ook opgenomen in de tekst):  
Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloedssnelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Doove Balg West

Figuur 3.21:  
DELWAQ: Langjarige tijdreeks voor station Doove Balg West

Figuur 3.22:  
DELWAQ: Langjarige tijdreeks voor station Doove Balg Oost

Figuur 4.1 (opgenomen in tekst):  
Gravitatie circulatie

Figuur 4.2:  
Verschillen in verwachte gravitatiesnelheid op basis van stroomsnelheden variant 1A tegenover huidige situatie

Figuur 4.3:  
Verschil onderschrijdingsduur kritieke snelheid variant 1A tegenover huidige situatie

Figuur 4.4 (opgenomen in de tekst):  
Ligging van raaien in het modelgebied

Figuur 4.5 (opgenomen in de tekst):  
Doorstroomoppervlak en getijprisma

Figuur 5.1 (in de tekst opgenomen):  
De relatie tussen soortendiversiteit (niet aantallen individuen!) en het zoutgehalte op grond van gegevens uit de Oostzee. Bron: Remane, 1934.

---

Figuur 5.2 (in de tekst opgenomen):  
Indeling van de zoutmetingen in klassen over de periode 1976-1996 op locatie Doove Balg Oost.

Figuur 5.3 (in de tekst opgenomen):  
Indeling van de zoutmetingen in klassen over de periode 1976-1996 op locatie Blauwe Slenk Oost (wordt Doove Balg West).

Figuur 5.4 (in de tekst opgenomen):  
Indeling van de zoutmetingen in klassen over de periode 1976-1996 op locatie Vliestroom (wordt Marsdiep).

Figuur 5.5 (in de tekst opgenomen):  
De plaatsen in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee waar elk jaar de bodemfauna wordt bemonsterd in het kader van het monitoringprogramma voor de Rijkswateren. Bron: Dekker, 1992.

Figuur 5.6 (opgenomen in de tekst):  
De raaien op het Balgzand waar elk jaar de bodemfauna wordt bemonsterd in het kader van het monitoringprogramma voor de Rijkswateren. Bron: Dekker, 1992.

Figuur 5.7 (opgenomen in de tekst):  
Positie van de bemonsterde platen bij Den Oever. In rood zijn de bemonsterde transecten weergegeven.

Figuur 5.8 (opgenomen in de tekst):  
Positie van de bemonsterde plaat bij Kornwerderzand. In rood zijn de bemonsterde transecten weergegeven.

Figuur 5.9 (opgenomen in de tekst):  
Positie van de monsterpunten op de Waardgronden. In rood is het bemonsterde grid aangegeven.

Figuur 5.10 (opgenomen in de tekst):  
Ligging van de drie raaien met de vijftien locaties, bemonsterd op het droogvallende wad van de Breehorn (westelijke Waddenzee) op 12 en 14 november 2001.

Figuur 5.11 (ook opgenomen in de tekst):  
Ruimtelijk beeld van het meerjarig gemiddelde zoutgehalte over de periode januari t/m april voor de huidige situatie.

Figuur 5.12:  
Ruimtelijk beeld van het meerjarig gemiddelde zoutgehalte over de periode januari t/m april voor locatievariant 1A.

Figuur 5.13:  
Ruimtelijk beeld van het meerjarig gemiddelde zoutgehalte over de periode januari t/m april voor locatievariant 2A.

Figuur 5.14:  
Ruimtelijk beeld van het verschil in saliniteit tussen variant 1A en de huidige situatie.

---

Figuur 5.15:  
Ruimtelijk beeld van het verschil in saliniteit tussen variant 1A en 2A.

Figuur 5.16 (in de tekst opgenomen):  
Verband tussen de saliniteit en de in de literatuur gerapporteerde saliniteitsondergrens waarbij de waargenomen soorten nog kunnen voorkomen.

Figuur 5.17:  
Ruimtelijk beeld van de verandering van de soortenrijkdom van de bodemfauna als gevolg van de aanleg van een extra spuumiddel (locatievariant 1A).

Figuur 5.18:  
Saliniteit onderschrijdingsvoorkomen per jaar van  $\leq 10$  promille S gedurende 7 dagen voor de huidige situatie.

Figuur 5.19:  
Saliniteit onderschrijdingsvoorkomen per jaar van  $\leq 10$  promille S gedurende 7 dagen voor de locatievariant 1A.

Figuur 5.20:  
Zomergemiddelde chlorofylconcentratie voor de het referentiejaar 2008 en locatievariant 1A.

Figuur 5.21:  
Zomergemiddelde detritusconcentratie in het sediment voor het referentiejaar 2008 en locatievariant 1A.

---

## Bijlage 1: Tabellen

---





Tabel 3.1:

Simulatieoverzicht met per scenario de gebruikte spuihoeveelheden.

smcode	Layout	afvoer	debiet (cum.)	debiet (gem.)	debiet (DO)	debiet (KWZ)	debiet (Nieuw)	niveau	getij	windsnelh.	windrichting	autonoom	start
[-]	[-]	[-]	[m <sup>3</sup> × 10 <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m]	[-]	[m/s]	[graden N]	[-]	yyyy-mm-dd hh:mm
YD01	heden	laag	25	285	118	167	nvt	0,00	doodtij	7,9	270	nee	1998-okt-14 14:30
AD01	Var 1-A	laag	13	147	1	73	73	0,00	doodtij	7,9	270	nee	1998-okt-14 14:30
BD01	Var 1-B	laag	8	89	3	68	19	0,00	doodtij	7,9	270	nee	1998-okt-14 14:30
CD01	Den Oever	laag	0	1	1	nvt	nvt	0,00	doodtij	7,9	270	nee	1998-okt-14 14:30
DD01	Var 1-A	laag	20	226	nvt	nvt	226	0,00	doodtij	7,9	270	nee	1998-okt-14 14:30
YD02	heden	hoog	181	2049	953	1059	nvt	0,00	doodtij	8,2	170	nee	1998-nov-12 16:00
AD02	Var 1-A	hoog	176	1999	495	503	1000	0,00	doodtij	8,2	170	nee	1998-nov-12 16:00
BD02	Var 1-B	hoog	179	2034	537	527	969	0,00	doodtij	8,2	170	nee	1998-nov-12 16:00
CD02	Den Oever	hoog	44	495	495	nvt	nvt	0,00	doodtij	8,2	170	nee	1998-nov-12 16:00
DD02	Var 1-A	hoog	175	1982	nvt	nvt	1982	0,00	doodtij	8,2	170	nee	1998-nov-12 16:00
YD03	over 50 jr.	laag -10%	23	257	107	150	nvt	0,22	doodtij	7,9	270	ja	1998-okt-14 14:30
YD04	over 50 jr.	hoog +10%	199	2254	1049	1205	nvt	0,22	doodtij	8,2	170	ja	1998-nov-12 16:00
YG01	heden	laag	37	420	233	188	nvt	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30
AG01	Var 1-A	laag	33	369	72	113	182	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30
BG01	Var 1-B	laag	37	414	85	145	183	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30
CG01	Den Oever	laag	6	72	72	nvt	nvt	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30
DG01	Var 1-A	laag	37	420	nvt	nvt	420	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30
YG02	heden	hoog	141	1595	922	674	nvt	0,00	gemiddeld	3,5	300	nee	1998-nov-18 00:00
AG02	Var 1-A	hoog	142	1614	400	418	796	0,00	gemiddeld	3,5	300	nee	1998-nov-18 00:00
BG02	Var 1-B	hoog	142	1615	426	427	761	0,00	gemiddeld	3,5	300	nee	1998-nov-18 00:00
CG02	Den Oever	hoog	35	400	400	nvt	nvt	0,00	gemiddeld	3,5	300	nee	1998-nov-18 00:00
DG02	Var 1-A	hoog	128	1455	nvt	nvt	1455	0,00	gemiddeld	3,5	300	nee	1998-nov-18 00:00
YG03	over 50 jr.	laag -10%	33	378	209	169	nvt	0,22	gemiddeld	7,3	290	ja	1998-okt-19 14:30
YG04	over 50 jr.	hoog +10%	155	1755	1014	741	nvt	0,22	gemiddeld	3,5	300	ja	1998-nov-18 00:00
YG05	heden	minimaal	2	20	11	9	nvt	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30
YG07	over 50 jr.	minimaal	2	18	10	8	nvt	0,22	gemiddeld	7,3	290	ja	1998-okt-19 14:30
YS01	heden	laag	64	721	387	334	nvt	0,00	springtij	11,1	210	nee	1998-okt-22 02:00
AS01	Var 1-A	laag	58	663	147	199	317	0,00	springtij	11,1	210	nee	1998-okt-22 02:00
BS01	Var 1-B	laag	53	598	175	200	223	0,00	springtij	11,1	210	nee	1998-okt-22 02:00
CS01	Den Oever	laag	13	147	147	nvt	nvt	0,00	springtij	11,1	210	nee	1998-okt-22 02:00
DS01	Var 1-A	laag	55	628	nvt	nvt	628	0,00	springtij	11,1	210	nee	1998-okt-22 02:00
YS02	heden	hoog	303	3432	2061	1372	nvt	0,00	springtij	7,0	185	nee	1998-nov-07 09:30
AS02	Var 1-A	hoog	271	3074	861	724	1488	0,00	springtij	7,0	185	nee	1998-nov-07 09:30
BS02	Var 1-B	hoog	278	3150	894	754	1502	0,00	springtij	7,0	185	nee	1998-nov-07 09:30
CS02	Den Oever	hoog	76	861	861	nvt	nvt	0,00	springtij	7,0	185	nee	1998-nov-07 09:30
DS02	Var 1-A	hoog	230	2610	nvt	nvt	2610	0,00	springtij	7,0	185	nee	1998-nov-07 09:30
YS03	over 50 jr.	laag -10%	57	649	348	301	nvt	0,22	springtij	11,1	210	ja	1998-okt-22 02:00
YS04	over 50 jr.	hoog +10%	333	3776	2267	1509	nvt	0,22	springtij	7,0	185	ja	1998-nov-07 09:30

.....  
**Tabel 3.2:**  
 Simulatieoverzicht met per scenario het getij  
 en wind.

simcode [-]	Layout [-]	afvoer [-]	debiet (cum) [m <sup>3</sup> * 10 <sup>3</sup> ]	niveau [m]	getij [-]	windsnelh. [m/s]	windrichting [degr. N]	autonoom [-]	start yyyy-mmm-dd hh:mm	stop yyyy-mmm-dd hh:mm
YD01	heden	laag	25,16	0,00	doodtij	7,9	270	nee	1998-okt-14 14:30	1998-okt-15 15:00
AD01	Var 1-A	laag	10,76	0,00	doodtij	7,9	270	nee	1998-okt-14 14:30	1998-okt-15 15:00
BD01	Var 1-B	laag	7,85	0,00	doodtij	7,9	270	nee	1998-okt-14 14:30	1998-okt-15 15:00
CD01	Den Oever	laag	0,10	0,00	doodtij	7,9	270	nee	1998-okt-14 14:30	1998-okt-15 15:00
DD01	Var 1-A	laag	19,94	0,00	doodtij	7,9	270	nee	1998-okt-14 14:30	1998-okt-15 15:00
YD02	heden	hoog	180,68	0,00	doodtij	8,2	170	nee	1998-nov-12 16:00	1998-nov-13 16:30
AD02	Var 1-A	hoog	176,28	0,00	doodtij	8,2	170	nee	1998-nov-12 16:00	1998-nov-13 16:30
BD02	Var 1-B	hoog	179,38	0,00	doodtij	8,2	170	nee	1998-nov-12 16:00	1998-nov-13 16:30
CD02	Den Oever	hoog	43,70	0,00	doodtij	8,2	170	nee	1998-nov-12 16:00	1998-nov-13 16:30
DD02	Var 1-A	hoog	174,83	0,00	doodtij	8,2	170	nee	1998-nov-12 16:00	1998-nov-13 16:30
YD03	over 50 jr.	laag -10%	22,65	0,22	doodtij	7,9	270	ja	1998-okt-14 14:30	1998-okt-15 15:00
YD04	over 50 jr.	hoog +10%	198,78	0,22	doodtij	8,2	170	ja	1998-nov-12 16:00	1998-nov-13 16:30
YG01	heden	laag	37,08	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30	1998-okt-20 15:00
AG01	Var 1-A	laag	32,51	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30	1998-okt-20 15:00
BG01	Var 1-B	laag	36,50	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30	1998-okt-20 15:00
CG01	Den Oever	laag	6,35	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30	1998-okt-20 15:00
DG01	Var 1-A	laag	37,02	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30	1998-okt-20 15:00
YG02	heden	hoog	140,70	0,00	gemiddeld	3,5	300	nee	1998-nov-18 00:00	1998-nov-19 00:30
AG02	Var 1-A	hoog	142,34	0,00	gemiddeld	3,5	300	nee	1998-nov-18 00:00	1998-nov-19 00:30
BG02	Var 1-B	hoog	142,42	0,00	gemiddeld	3,5	300	nee	1998-nov-18 00:00	1998-nov-19 00:30
CG02	Den Oever	hoog	35,29	0,00	gemiddeld	3,5	300	nee	1998-nov-18 00:00	1998-nov-19 00:30
DG02	Var 1-A	hoog	128,34	0,00	gemiddeld	3,5	300	nee	1998-nov-18 00:00	1998-nov-19 00:30
YG03	over 50 jr.	laag -10%	33,38	0,22	gemiddeld	7,3	290	ja	1998-okt-19 14:30	1998-okt-20 15:00
YG04	over 50 jr.	hoog +10%	154,80	0,22	gemiddeld	3,5	300	ja	1998-nov-18 00:00	1998-nov-19 00:30
YG05	heden	minimaal	1,72	0,00	gemiddeld	7,3	290	nee	1998-okt-19 14:30	1998-okt-20 15:00
YG07	over 50 jr.	minimaal	1,55	0,22	gemiddeld	7,3	290	ja	1998-okt-19 14:30	1998-okt-20 15:00
YS01	heden	laag	63,58	0,00	springtij	11,1	210	nee	1998-okt-22 02:00	1998-okt-23 02:30
AS01	Var 1-A	laag	58,44	0,00	springtij	11,1	210	nee	1998-okt-22 02:00	1998-okt-23 02:30
BS01	Var 1-B	laag	52,76	0,00	springtij	11,1	210	nee	1998-okt-22 02:00	1998-okt-23 02:30
CS01	Den Oever	laag	12,99	0,00	springtij	11,1	210	nee	1998-okt-22 02:00	1998-okt-23 02:30
DS01	Var 1-A	laag	55,41	0,00	springtij	11,1	210	nee	1998-okt-22 02:00	1998-okt-23 02:30
YS02	heden	hoog	302,74	0,00	springtij	7,0	185	nee	1998-nov-07 09:30	1998-nov-08 10:00
AS02	Var 1-A	hoog	271,09	0,00	springtij	7,0	185	nee	1998-nov-07 09:30	1998-nov-08 10:00
BS02	Var 1-B	hoog	277,84	0,00	springtij	7,0	185	nee	1998-nov-07 09:30	1998-nov-08 10:00
CS02	Den Oever	hoog	75,97	0,00	springtij	7,0	185	nee	1998-nov-07 09:30	1998-nov-07 10:00
DS02	Var 1-A	hoog	230,18	0,00	springtij	7,0	185	nee	1998-nov-07 09:30	1998-nov-07 10:00
YS03	over 50 jr.	laag -10%	57,23	0,22	springtij	11,1	210	ja	1998-okt-22 02:00	1998-okt-23 02:30
YS04	over 50 jr.	hoog +10%	333,05	0,22	springtij	7,0	185	ja	1998-nov-07 09:30	1998-nov-08 10:00

tabel 3.3: maximum saliniteit aan de oppervlakte

MAXIMUM SALINITEIT OPPERVLAKTE IN PSU						VERANDERING DOOR AANLEG EXTRA SPUISLUIS					
	DO	KWZ	DBW	MDN	ZvhV	DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH	
YG01	2,6	10,4	18,5	25	28,1						
AG01	4,1	6,5	18,7	25,1	28,1	YG01-AG01	1,5	-3,9	0,2	0,1	0
BG01	3,6	6,5	18,4	25,2	28,1	YG01-BG01	1	-3,9	-0,1	0,2	0
YG02	0,3	0,9	12,9	21,5	27,5						
AG02	0,3	0,3	12,8	21,9	27,5	YG02-AG02	0	-0,6	-0,1	0,4	0
BG02	0,3	0,3	12,5	21,5	27,4	YG02-BG02	0	-0,6	-0,4	0	-0,1
YS01	29,5	23,2	32,5	32,7	32,1						
AS01	32,1	22,9	32,5	32,7	32,2	YS01-AS01	2,6	-0,3	0	0	0,1
BS01	29,9	21,8	32,5	32,7	32,2	YS01-BS01	0,4	-1,4	0	0	0,1
YS02	0,3	0,3	9,2	20,9	25						
AS02	0,3	0,3	11	22,3	25,4	YS02-AS02	0	0	1,8	1,4	0,4
BS02	0,3	0,3	10,6	21,8	25,4	YS02-BS02	0	0	1,4	0,9	0,4
<b>VERSCHIL 1A EN 1B ABSOLUUT</b>											
BG01-AG01	-0,5	0	-0,3	0,1	0						
BG02-AG02	0	0	-0,3	-0,4	-0,1						
BS01-BA01	-2,2	-1,1	0	0	0						
BS02-AS02	0	0	-0,4	-0,5	0						

DO: Den Oever  
 KWZ: Kornwerderzand  
 DBW: Doove Balg West  
 MDN: Marsdiep Noord  
 ZWVH: zeegat van het Vlie

tabel 3.4: minimum saliniteit aan de oppervlakte in psu

MINIMUM SALINITEIT OPPERVLAKTE						VERANDERING DOOR AANLEG EXTRA SPUISLUIS					
	DO	KWZ	DBO	MDN	ZvhV		DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH
YG01	0,3	0	10,6	18,3	24,4	YG01-AG01	0	0,2	3,5	0,6	-0,8
AG01	0,3	0,2	14,1	18,9	23,6	YG01-BG01	0	0	2,6	0,9	-0,7
BG01	0,3	0	13,2	19,2	23,7						
YG02	0,3	0,2	5,6	13,1	20,4	YG02-AG02	0	0,1	-2,2	-1,2	-1,2
AG02	0,3	0,3	3,4	11,9	19,2	YG02-BG02	0	0,1	-2,4	-1,4	-0,7
BG02	0,3	0,3	3,2	11,7	19,7						
YS01	0	0	25,3	32,6	25	YS01-AS01	0	0,7	3,2	0	0,7
AS01	0	0,7	28,5	32,6	25,7	YS01-BS01	0	0,3	2,8	0	1
BS01	0	0,3	28,1	32,6	26						
YS02	0,3	0,3	3	9,6	13,1	YS02-AS02	-0,1	0	0,4	0,4	0,3
AS02	0,2	0,3	3,4	10	13,4	YS02-BS02	-0,1	0	0	-0,1	0,5
BS02	0,2	0,3	3	9,5	13,6						

VERSCHIL 1A EN IB ABSOLUUT					
BG01-AG0	0	-0,2	-0,9	0,3	0,1
BG02-AG0	0	0	-0,2	-0,2	0,5
BS01-BA0	0	-0,4	-0,4	0	0,3
BS02-AS0	0	0	-0,4	-0,5	0,2

DO: Den Oever  
 KWZ: Kornwerderzand  
 DBW: Doove Balg West  
 MDN: Marsdiep Noord  
 ZWVH: zeegat van het Vlie

tabel 3.5: minimum saliniteit op de bodem in psu

MINIMUM SALINITEIT BODEM						VERANDERING DOOR AANLEG EXTRA SPUISLUIS					
	DO	KWZ	DBW	MDN	ZvhV		DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH
YG01	0,3	0,6	16,4	20,3	24,8	YG01-AG01	0	0,3	-0,2	0,1	-0,4
AG01	0,3	0,9	16,2	20,4	24,4	YG01-BG01	0	0,1	-0,7	-0,1	0,8
BG01	0,3	0,7	15,7	20,2	25,6						
YG02	0,3	0,3	8,4	16,6	22,5	YG02-AG02	0	0	-0,7	0,4	-0,6
AG02	0,3	0,3	7,7	17	21,9	YG02-BG02	0	0	-1	0,1	-0,4
BG02	0,3	0,3	7,4	16,7	22,1						
YS01	0	6,5	30,3	32,6	25,2	YS01-AS01	17,6	3,4	0,3	0	0,8
AS01	17,6	9,9	30,6	32,6	26	YS01-BS01	12,7	3,1	0,1	0	1
BS01	12,7	9,6	30,4	32,6	26,2						
YS02	0,3	0,3	4,1	14,2	15,1	YS02-AS02	-0,1	0	0,3	2,1	0,5
AS02	0,2	0,3	4,4	16,3	15,6	YS02-BS02	-0,1	0	-0,3	1,7	0,6
BS02	0,2	0,3	3,8	15,9	15,7						

**VERSCHIL 1A EN IB ABSOLUUT**

BG01-AG0	0	-0,2	-0,5	-0,2	1,2
BG02-AG0	0	0	-0,3	-0,3	0,2
BS01-BA0	-4,9	-0,3	-0,2	0	0,2
BS02-AS0	0	0	-0,6	-0,4	0,1

DO: Den Oever  
 KWZ: Kornwerderzand  
 DBW: Doove Balg West  
 MDN: Marsdiep Noord  
 ZWVH: zeegat van het Vlie

tabel 3.6: maximum saliniteit op de bodem in psu

**MAXIMUM SALINITEIT BODEM**

	DO	KWZ	DBW	MDN	ZvhV
YG01	4,8	12,8	20,5	28,2	28,8
AG01	6,1	8,9	20,2	28,2	28,7
BG01	5,9	8,6	19,8	28,2	28,8
YG02	0,3	2,6	15,7	27	28,3
AG02	1	0,3	16	27,3	28,3
BG02	0,5	0,3	15,7	27,2	28,3
YS01	32,2	24,8	32,5	32,7	32,7
AS01	32,2	25,7	32,5	32,7	32,7
BS01	32,2	25,1	32,5	32,7	32,7
YS02	0,3	0,3	13,9	27,3	26,6
AS02	2,3	0,3	15,5	28,3	26,9
BS02	1,4	0,3	15	28	26,8

**VERANDERING DOOR AANLEG EXTRA SPUISLUIS**

	DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH
YG01-AG01	1,3	-3,9	-0,3	0	-0,1
YG01-BG01	1,1	-4,2	-0,7	0	0
YG02-AG02	0,7	-2,3	0,3	0,3	0
YG02-BG02	0,2	-2,3	0	0,2	0
YS01-AS01	0	0,9	0	0	0
YS01-BS01	0	0,3	0	0	0
YS02-AS02	2	0	1,6	1	0,3
YS02-BS02	1,1	0	1,1	0,7	0,2

**VERSCHIL 1A EN 1B ABSOLUUT**

BG01-AG0	-0,2	-0,3	-0,4	0	0,1
BG02-AG0	-0,5	0	-0,3	-0,1	0
BS01-BA0	0	-0,6	0	0	0
BS02-AS0	-0,9	0	-0,5	-0,3	-0,1

DO: Den Oever  
 KWZ: Kornwerderzand  
 DBW: Doove Balg West  
 MDN: Marsdiep Noord  
 ZWVH: zeegat van het Vlie

tabel 3.7: maximum vloedsnelheden aan de oppervlakte

MAXIMUM VLOEDSNELHEDEN						VERANDERING DOOR AANLEG EXTRA SPUISLUIS						
	DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH		DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH	
YG01	0,43	0,36		1,28	1,91	1,6	YG01-AG01	0	-0,09	-0,06	-0,01	0,02
AG01	0,43	0,27		1,22	1,9	1,62	YG01-BG01	0	-0,06	-0,1	0,09	0,02
BG01	0,43	0,3		1,18	2	1,62						
YG02	0,18			1,2	1,88	1,54	YG02-AG02	0,06	0	0,14	-0,04	-0,03
AG02	0,24			1,34	1,84	1,51	YG02-BG02	0,05	0	0,11	-0,05	-0,03
BG02	0,23			1,31	1,83	1,51						
YS01	0,43			1	1,67	1,57	YS01-AS01	0,1		-0,06	0	-0,03
AS01	0,53	0,5		0,94	1,67	1,54	YS01-BS01	0,12	0	-0,06	0	-0,02
BS01	0,55			0,94	1,67	1,55						
YS02				1,39	2,05	1,55	YS02-AS02	0,17	0	0,08	-0,04	0
AS02	0,17			1,47	2,01	1,55	YS02-BS02	0,17	0	0,08	-0,07	0
BS02	0,17			1,47	1,98	1,55						

**VERSCHIL 1A EN IB ABSOLUUT**

BG01-AG0	0	0,03	-0,04	0,1	0
BG02-AG0	-0,01	0	-0,03	-0,01	0
BS01-BA0	0,02	-0,5	0	0	0,01
BS02-AS0	0	0	0	-0,03	0

DO: Den Oever  
 KWZ: Kornwerderzand  
 DBW: Doove Balg West  
 MDN: Marsdiep Noord  
 ZWVH: zeegat van het Vlie

tabel 3.8: maximum ebsnelheden aan de oppervlakte

MAXIMUM EBSNELHEDEN						VERANDERING DOOR AANLEG EXTRA SPUISLUIS					
	DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH		DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH
YG01	0,84	0,97	1,18	2,33	1,5	YG01-AG01	-0,12	-0,2	-0,38	0,01	0,02
AG01	0,72	0,77	0,8	2,34	1,52	YG01-BG01	-0,1	-0,16	-0,34	0,01	0,03
BG01	0,74	0,81	0,84	2,34	1,53						
YG02	1,12	0,9	1,06	2,48	1,68	YG02-AG02	-0,27	-0,27	0,14	-0,03	-0,05
AG02	0,85	0,63	1,2	2,45	1,63	YG02-BG02	-0,26	-0,27	0,12	-0,03	-0,04
BG02	0,86	0,63	1,18	2,45	1,64						
YS01	1,28	1,3	1,04	1,53	1,68	YS01-AS01	-0,29	-0,29	-0,21	0	-0,05
AS01	0,99	1,01	0,83	1,53	1,63	YS01-BS01	-0,26	-0,27	-0,19	0	-0,04
BS01	1,02	1,03	0,85	1,53	1,64						
YS02	1,35	0,91	1,39	2,68	1,94	YS02-AS02	-0,13	-0,14	0,12	-0,02	0
AS02	1,22	0,77	1,51	2,66	1,94	YS02-BS02	-0,12	-0,13	0,15	-0,02	0
BS02	1,23	0,78	1,54	2,66	1,94						

**VERSCHIL 1A EN IB ABSOLUUT**

BG01-AG0	0,02	0,04	0,04	0	0,01
BG02-AG0	0,01	0	-0,02	0	0,01
BS01-BA0	0,03	0,02	0,02	0	0,01
BS02-AS0	0,01	0,01	0,03	0	0

DO: Den Oever  
 KWZ: Kornwerderzand  
 DBW: Doove Balg West  
 MDN: Marsdiep Noord  
 ZWVH: zeegat van het Vlie



tabel 3.9: maximum vloedsnelheden aan de bodem

MAXIMUM VLOEDSNELHEDEN						VERANDERING DOOR AANLEG EXTRA SPUISLUIJ					
	DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH		DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH
YG01	0,27	0,23	0,63	1,2	1,05	YG01-AG01	0,01	0	0	-0,01	0
AG01	0,28	0,23	0,63	1,19	1,05	YG01-BG01	0,01	-0,01	0,01	0,05	0,02
BG01	0,28	0,22	0,64	1,25	1,07						
YG02	0,68	0,5	0,6	1,16	0,95	YG02-AG02	-0,18	-0,11	-0,04	0,02	0,01
AG02	0,5	0,39	0,56	1,18	0,96	YG02-BG02	-0,16	-0,11	-0,05	0,03	-0,01
BG02	0,52	0,39	0,55	1,19	0,94						
YS01	0,41	0,45	0,61	1,23	1,02	YS01-AS01	0		0,01	-0,07	0,02
AS01	0,41	0,39	0,62	1,16	1,04	YS01-BS01	0	-0,08	0	0	0,03
BS01	0,41	0,37	0,61	1,23	1,05						
YS02			0,68	1,27	1,06	YS02-AS02	0	0	-0,12	-0,05	-0,02
AS02			0,56	1,22	1,04	YS02-BS02	0	0	-0,12	-0,05	-0,01
BS02			0,56	1,22	1,05						
<b>VERSCHIL 1A EN 1B ABSOLUUT</b>											
BG01-AG0	0	-0,01	0,01	0,06	0,02						
BG02-AG0	0,02	0	-0,01	0,01	-0,02						
BS01-BA0	0	-0,02	-0,01	0,07	0,01						
BS02-AS0	0	0	0	0	0,01						

DO: Den Oever  
 KWZ: Kornwerderzand  
 DBW: Doove Balg West  
 MDN: Marsdiep Noord  
 ZWVH: zeegat van het Vlie

tabel 3.10: maximum ebsnelheden aan de bodem

MAXIMUM EBSNELHEDEN						VERANDERING DOOR AANLEG EXTRA SPUISLUIS					
	DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH		DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH
YG01	0,18	0,13	0,45	1,16	1,07	YG01-AG01	-0,04	0	0	0	0
AG01	0,14	0,13	0,45	1,16	1,07	YG01-BG01	-0,03	-0,03	0	0	0,01
BG01	0,15	0,1	0,45	1,16	1,08						
YG02	0,2	0,12	0,4	1,05	1,02	YG02-AG02	0	0	-0,05	0,01	-0,02
AG02	0,2	0,12	0,35	1,06	1	YG02-BG02	0	0	-0,05	0	-0,01
BG02	0,2	0,12	0,35	1,05	1,01						
YS01	0,05	0,15	0,43	1,16	1,15	YS01-AS01	0,06	0,02	0	0	-0,01
AS01	0,11	0,17	0,43	1,16	1,14	YS01-BS01	0,05	0,05	0	0	-0,01
BS01	0,1	0,2	0,43	1,16	1,14						
YS02			0,48	1,01	1,16	YS02-AS02	0	0	-0,04	0,01	0
AS02			0,44	1,02	1,16	YS02-BS02	0	0	-0,04	0,01	0
BS02			0,44	1,02	1,16						
<b>VERSCHIL 1A EN IB ABSOLUUT</b>											
BG01-AG0	0,01	-0,03	0	0	0,01						
BG02-AG0	0	0	0	-0,01	0,01						
BS01-BA0	-0,01	0,03	0	0	0						
BS02-AS0	0	0	0	0	0						

DO: Den Oever  
 KWZ: Kornwerderzand  
 DBW: Doove Balg West  
 MDN: Marsdiep Noord  
 ZWVH: zeegat van het Vlie

tabel 3.11: laagste waterstand in m

LAAGSTE WATERSTAND						VERANDERING DOOR AANLEG EXTRA SPUISLUIS					
	DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH		DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH
YG01	-0,6	-0,59	-0,63	-0,72	-0,89	YG01-AG01	0	0,02	-0,01	0	0
AG01	-0,6	-0,57	-0,64	-0,72	-0,89	YG01-BG01	0	0,01	-0,01	-0,01	0
BG01	-0,6	-0,58	-0,64	-0,73	-0,89						
YG02	-0,73	-0,81	-0,85	-0,89	-1,07	YG02-AG02	-0,08	0,02	-0,03	0	0
AG02	-0,81	-0,79	-0,88	-0,89	-1,07	YG02-BG02	-0,07	0,01	-0,03	0	0
BG02	-0,8	-0,8	-0,88	-0,89	-1,07						
YS01	-0,74	-0,64	-0,71	-0,78	-0,9	YS01-AS01	-0,03	-0,02	0	0	0,01
AS01	-0,77	-0,66	-0,71	-0,78	-0,89	YS01-BS01	-0,02	-0,03	0	0	0
BS01	-0,76	-0,67	-0,71	-0,78	-0,9						
YS02	-0,76	-0,9	-0,99	-1,05	-1,24	YS02-AS02	-0,07	0,05	-0,02	-0,03	0
AS02	-0,83	-0,85	-1,01	-1,08	-1,24	YS02-BS02	-0,06	0,03	-0,01	-0,03	0
BS02	-0,82	-0,87	-1	-1,08	-1,24						
<b>VERSCHIL 1A EN IB ABSOLUUT</b>											
BG01-AG0	0	-0,01	0	-0,01	0						
BG02-AG0	0,01	-0,01	0	0	0						
BS01-BA0	0,01	-0,01	0	0	-0,01						
BS02-AS0	0,01	-0,02	0,01	0	0						

DO: Den Oever  
 KWZ: Kornwerderzand  
 DBW: Doove Balg West  
 MDN: Marsdiep Noord  
 ZWVH: zeegat van het Vlie

tabel 3.12: hoogste waterstand in m

HOOGSTE WATERSTAND							VERANDERING DOOR AANLEG EXTRA SPUISLUIS					
	DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH		DO	KWZ	DBW	MDN	ZWVH	
YG01	1,23	1,42	1,22	1,05	1,29	YG01-AG01	0	0	0	0	0	
AG01	1,23	1,42	1,22	1,05	1,29	YG01-BG01	0,01	0,01	0	0	0,01	
BG01	1,24	1,43	1,22	1,05	1,3							
YG02	0,88	1,03	0,86	0,71	0,92	YG02-AG02	0,01	0,01	0,01	0,01	0	
AG02	0,89	1,04	0,87	0,72	0,92	YG02-BG02	0,01	0,01	0,01	0,01	0	
BG02	0,89	1,04	0,87	0,72	0,92							
YS01	1,08	1,33	1,12	0,98	1,29	YS01-AS01	-0,01	-0,01	0	0	0	
AS01	1,07	1,32	1,12	0,98	1,29	YS01-BS01	-0,01	0	0	0	0	
BS01	1,07	1,33	1,12	0,98	1,29							
YS02	0,9	1,12	0,93	0,74	1,02	YS02-AS02	0	-0,01	-0,01	-0,02	0	
AS02	0,9	1,11	0,92	0,72	1,02	YS02-BS02	0	-0,01	0	-0,02	0	
BS02	0,9	1,11	0,93	0,72	1,02							

VERSCHIL 1A EN IB ABSOLUUT					
BG01-AG0	0,01	0,01	0	0	0,01
BG02-AG0	0	0	0	0	0
BS01-BA0	0	0,01	0	0	0
BS02-AS0	0	0	0,01	0	0

DO: Den Oever  
 KWZ: Kornwerderzand  
 DBW: Doove Balg West  
 MDN: Marsdiep Noord  
 ZWVH: zeegat van het Vlie

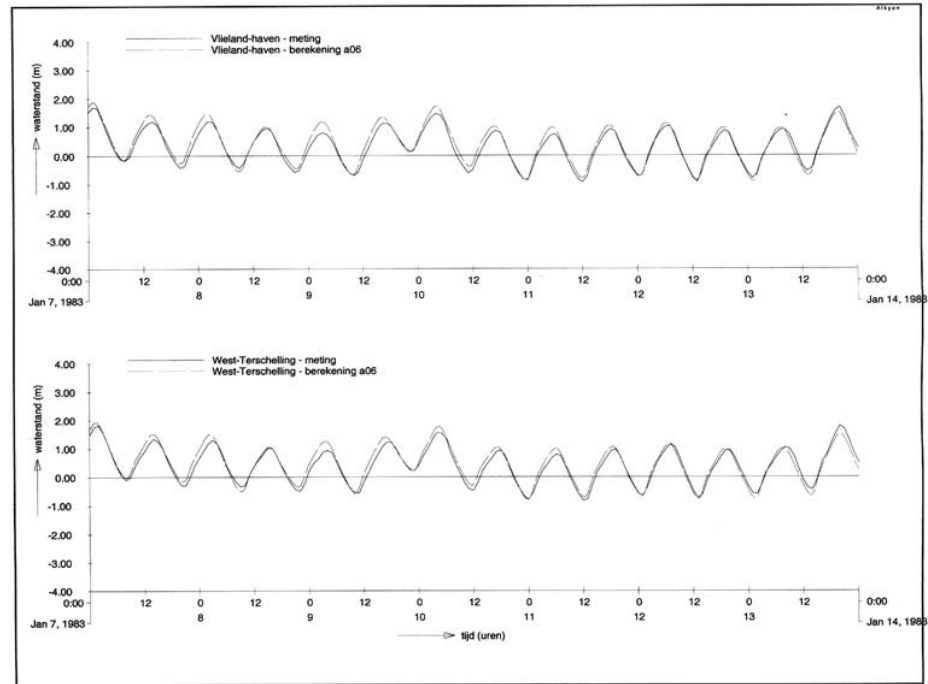
---

## Bijlage 2: Figuren

---



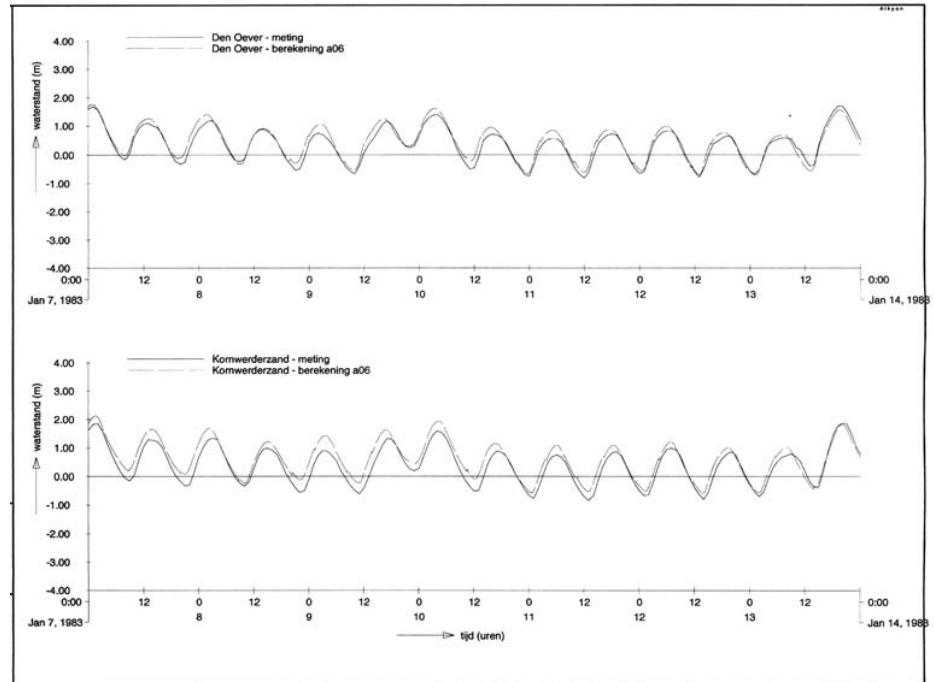
.....  
**Figuur 3.2:**  
Verificatie: waterstanden in stations Vlieland-  
haven en West Terschelling januari 1983.





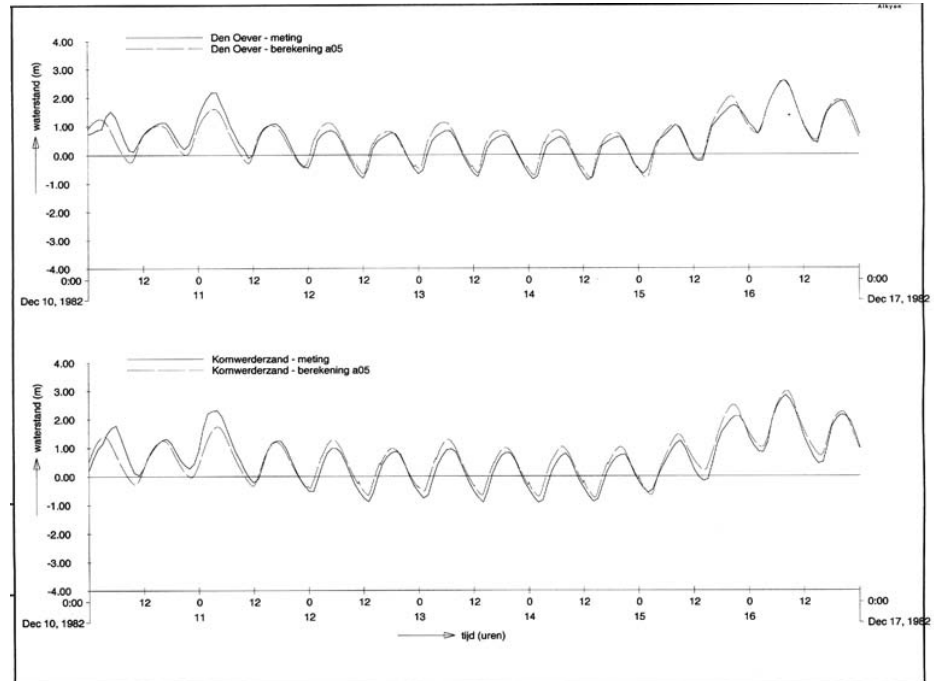


.....  
**Figuur 3.4:**  
Verificatie: waterstanden in stations Den  
Oever en Kornwerderzand januari 1983.

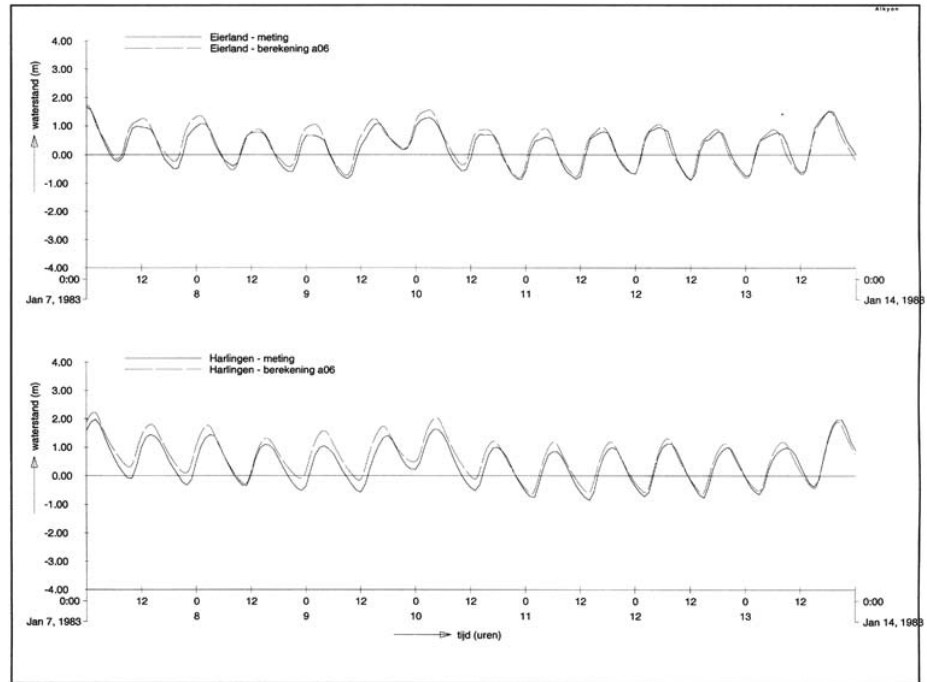


Figuur 3.5

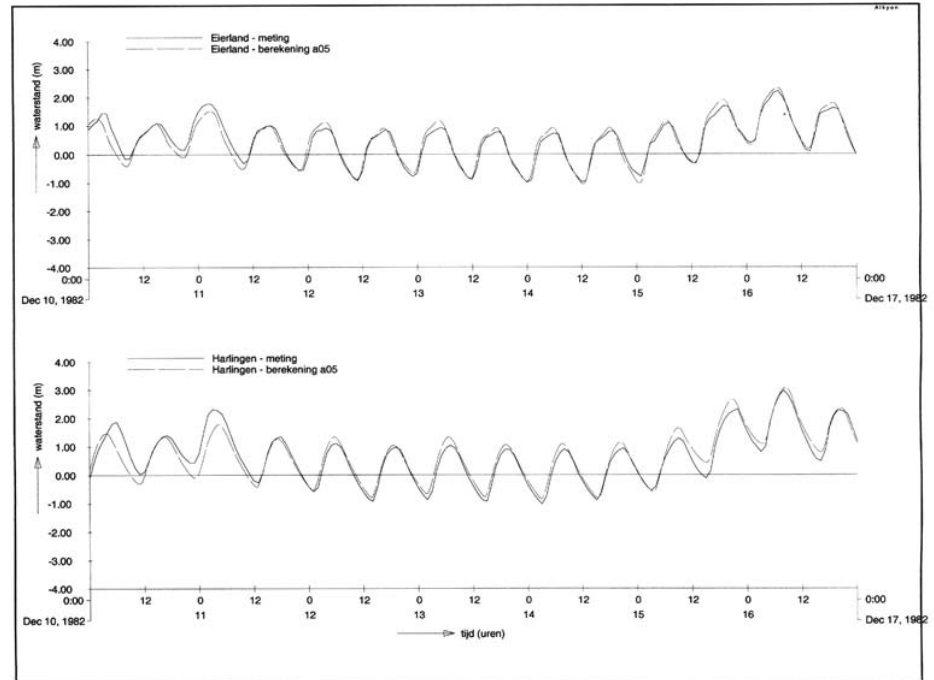
Verificatie: waterstanden in stations Den Oever en Kornwerderzand december 1982.



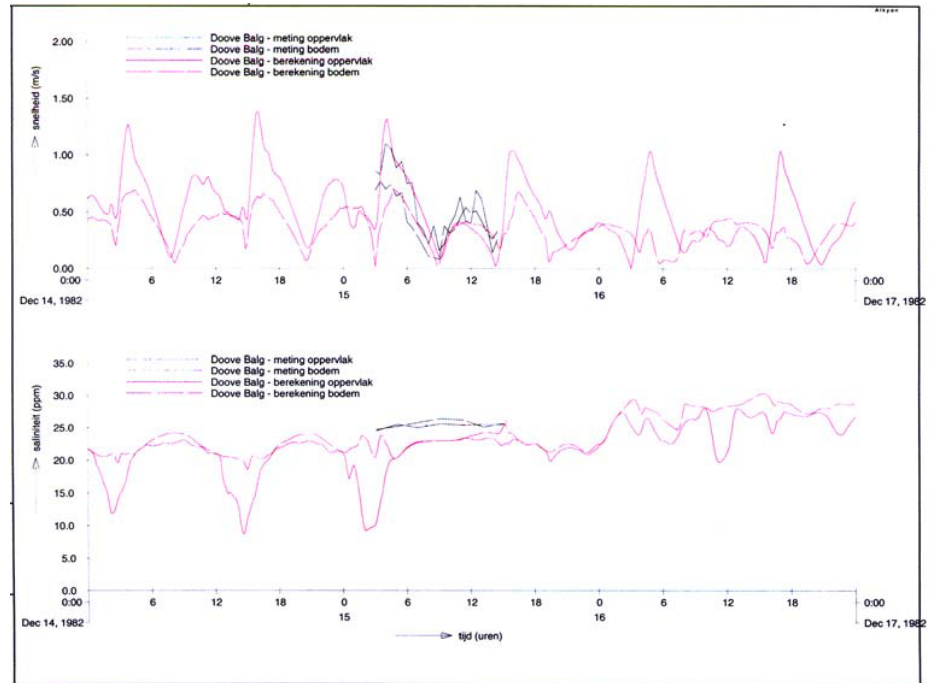
.....  
**Figuur 3.6:**  
Verificatie: waterstanden in stations Eierland  
en Harlingen januari 1983.



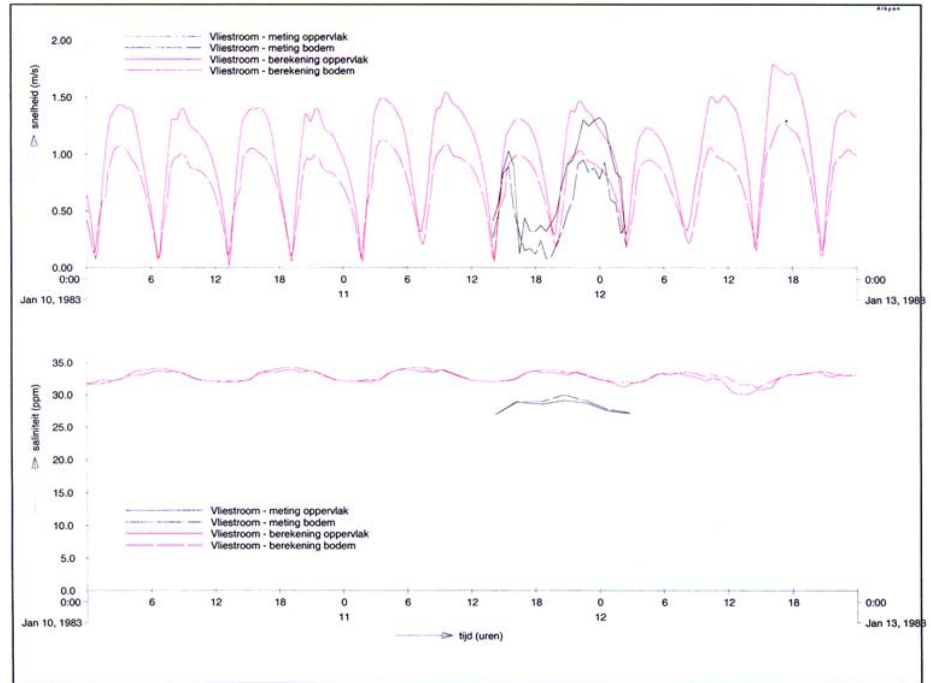
.....  
Figuur 3.7:  
Verificatie: waterstanden in stations Eierland  
en Harlingen.



.....  
**Figuur 3.8:**  
Verificatie: snelheden en saliniteiten in station  
Doove Balg Oost.



.....  
**Figuur 3.9:**  
Verificatie: snelheden en saliniteiten in station  
Vliestroom.

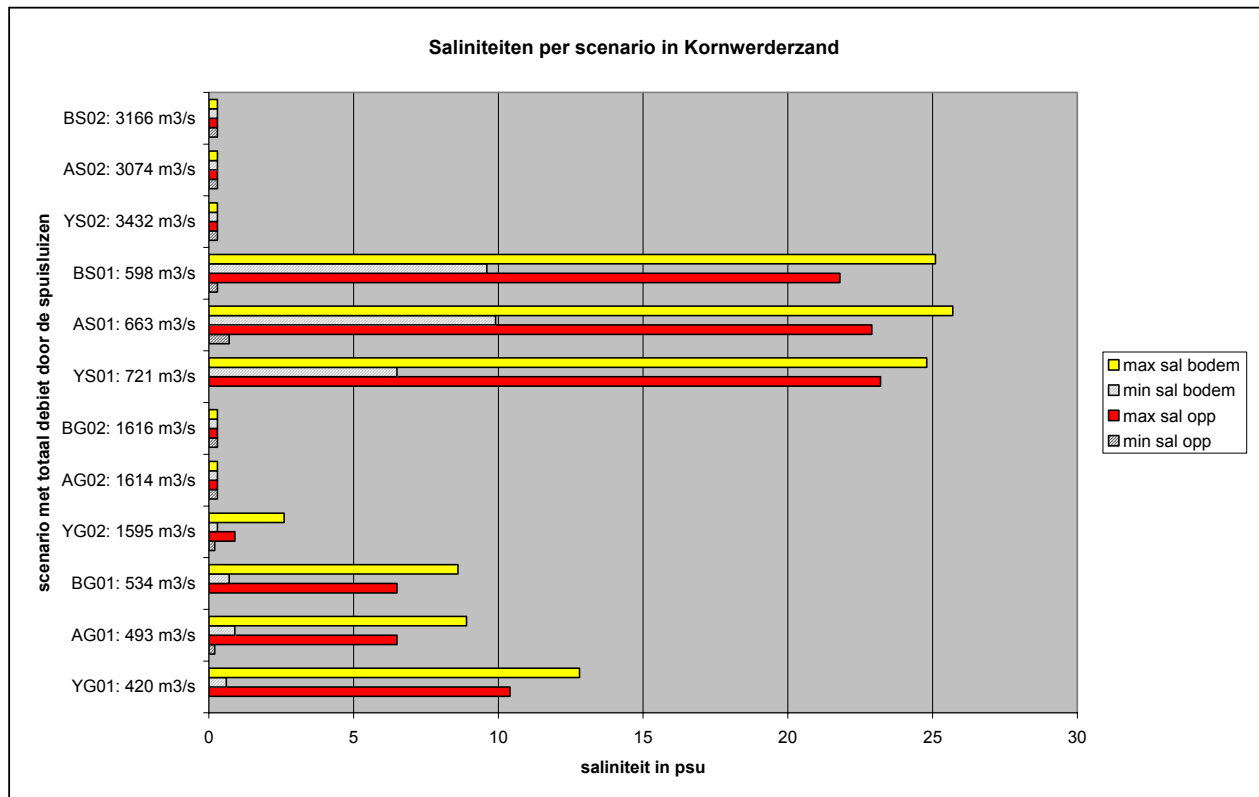


.....  
**Figuur 3.10:**  
 Saliniteiten per scenario (maximum saliniteit  
 aan de bodem en de oppervlakte) in Den  
 Oever.



Figuur 3.11:

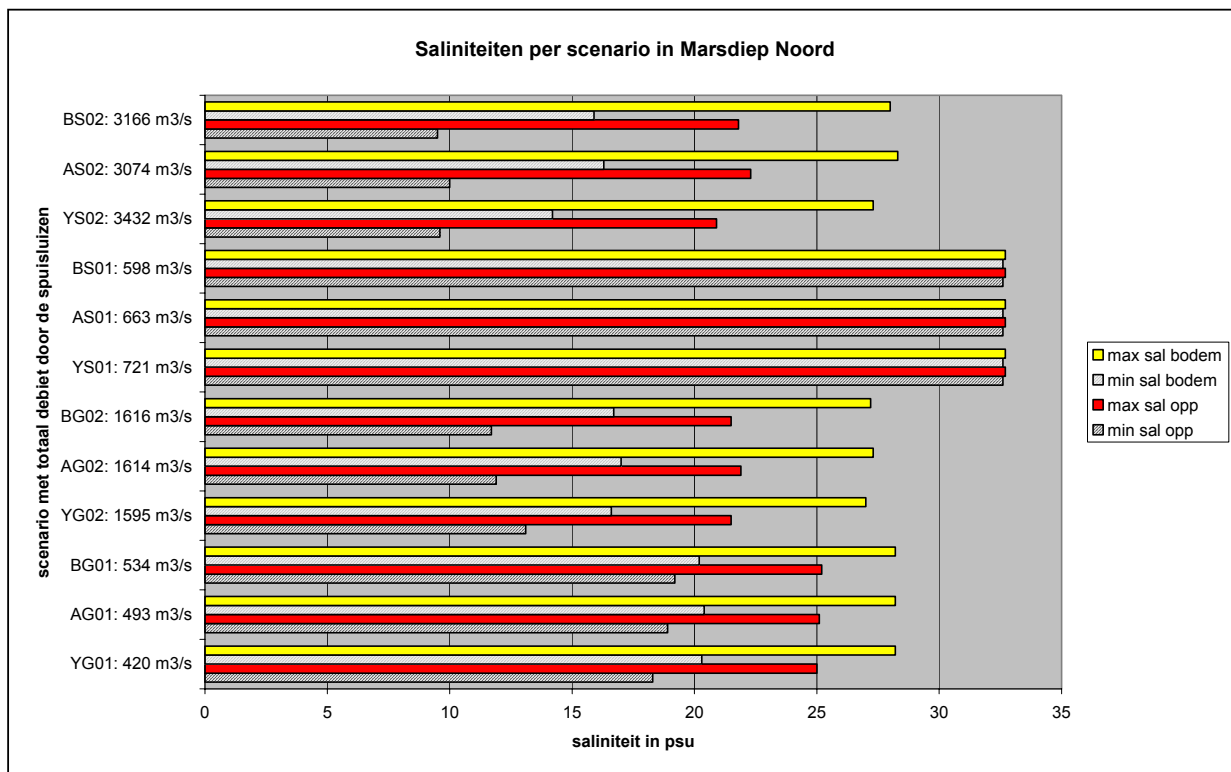
Saliniteiten per scenario (maximum en minimum saliniteit aan de bodem en de oppervlakte) in Kornwerderzand.





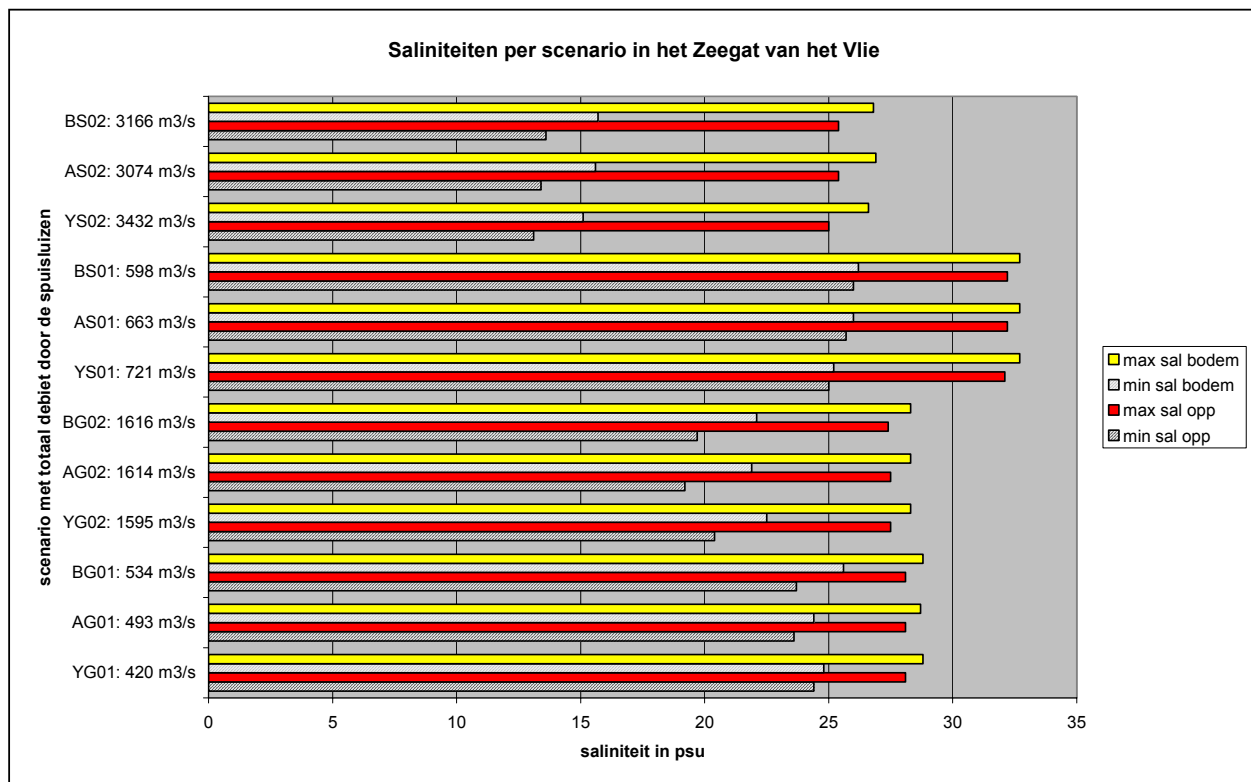
Figuur 3.12:

Saliniteiten per scenario (maximum en minimum saliniteit aan de bodem en de oppervlakte) in marsdiep Noord.



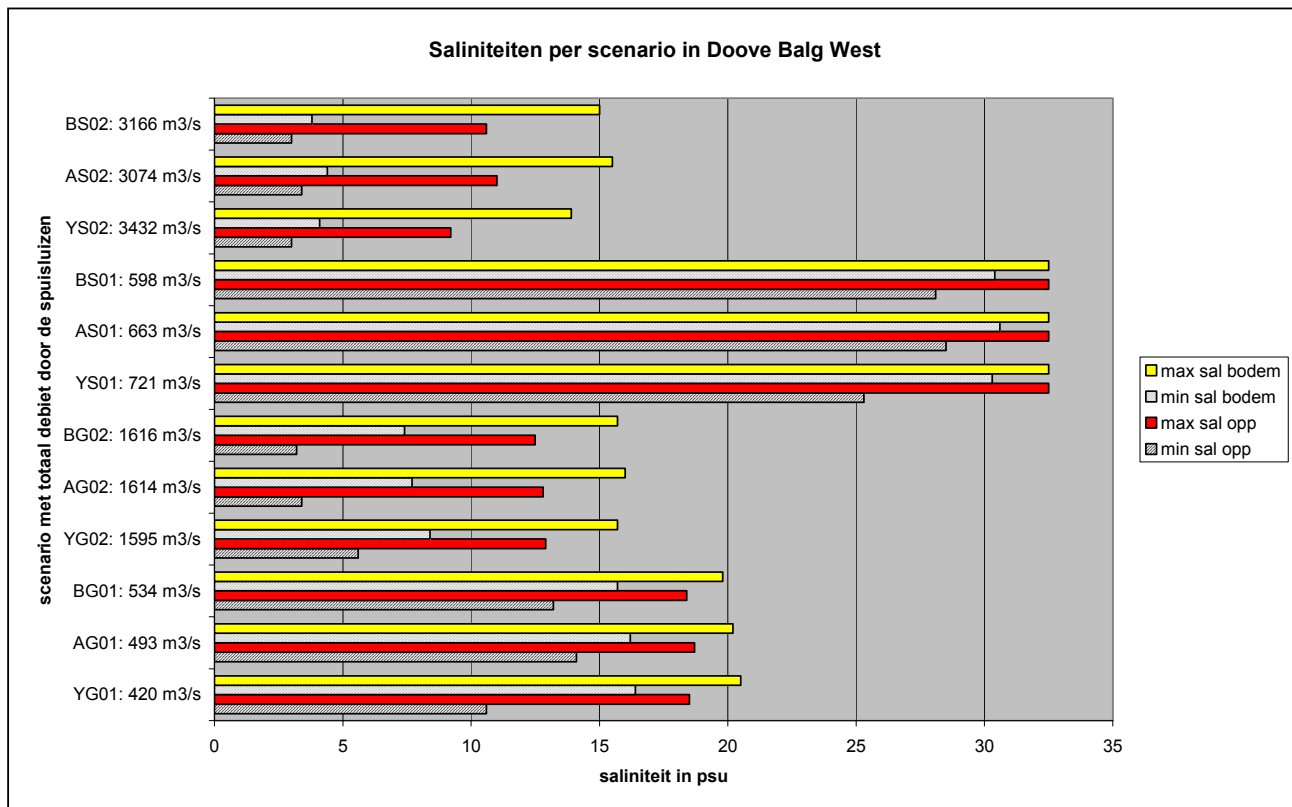
Figuur 3.13:

Saliniteiten per scenario (maximum en minimum saliniteit aan de bodem en de oppervlakte) in Zeegat van het Vlie.



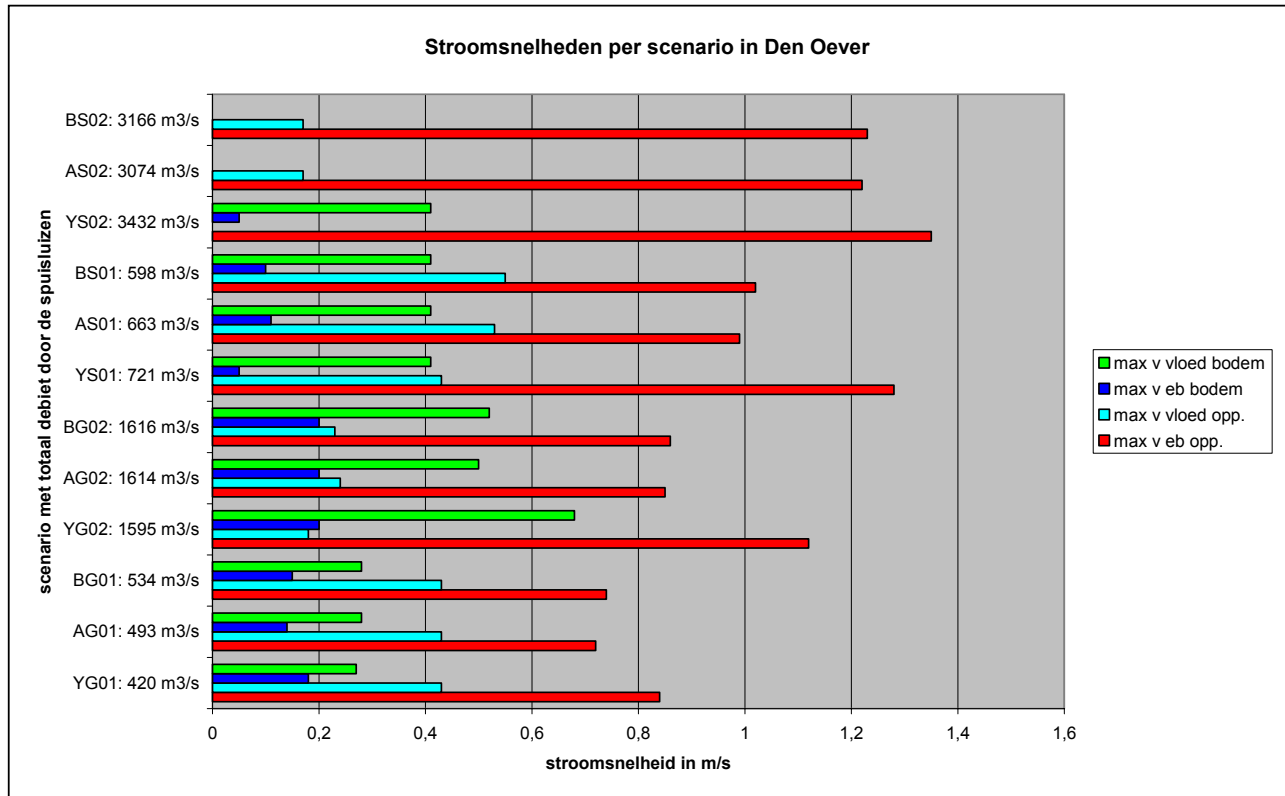
Figuur 3.14:

Saliniteiten per scenario (maximum en minimum saliniteit aan de bodem en de oppervlakte) in Doove Balg West.



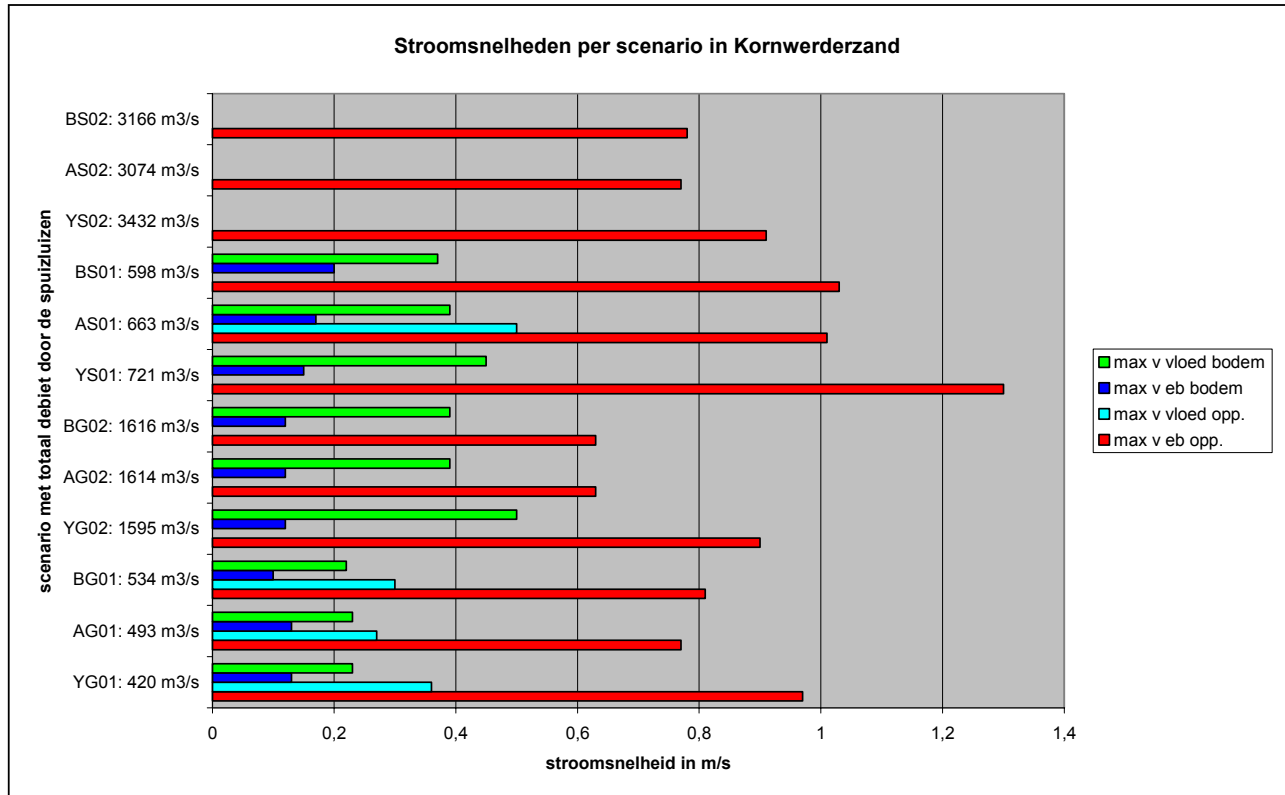
Figuur 3.15:

Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloednelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Den Oever.



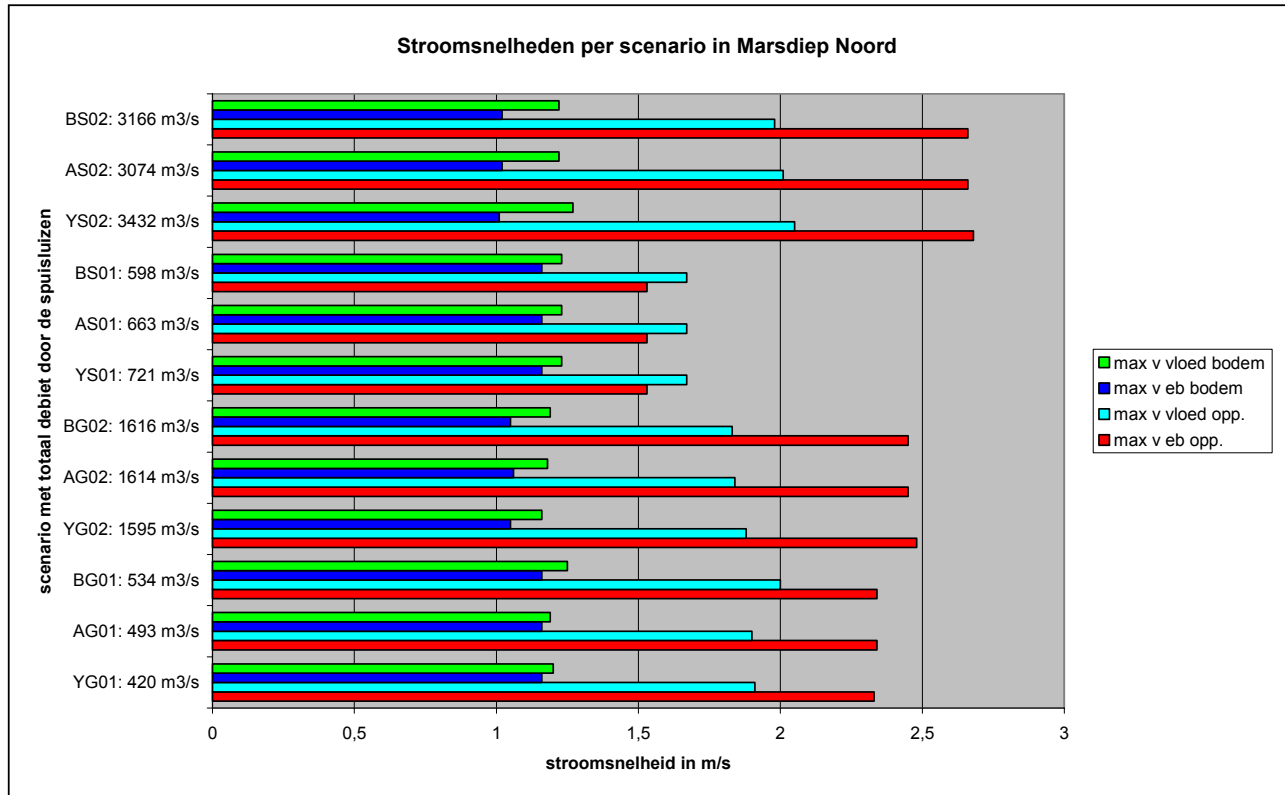
Figuur 3.16:

Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloednelheid aan de bodem en de oppervlakte) in kornwerderzand.



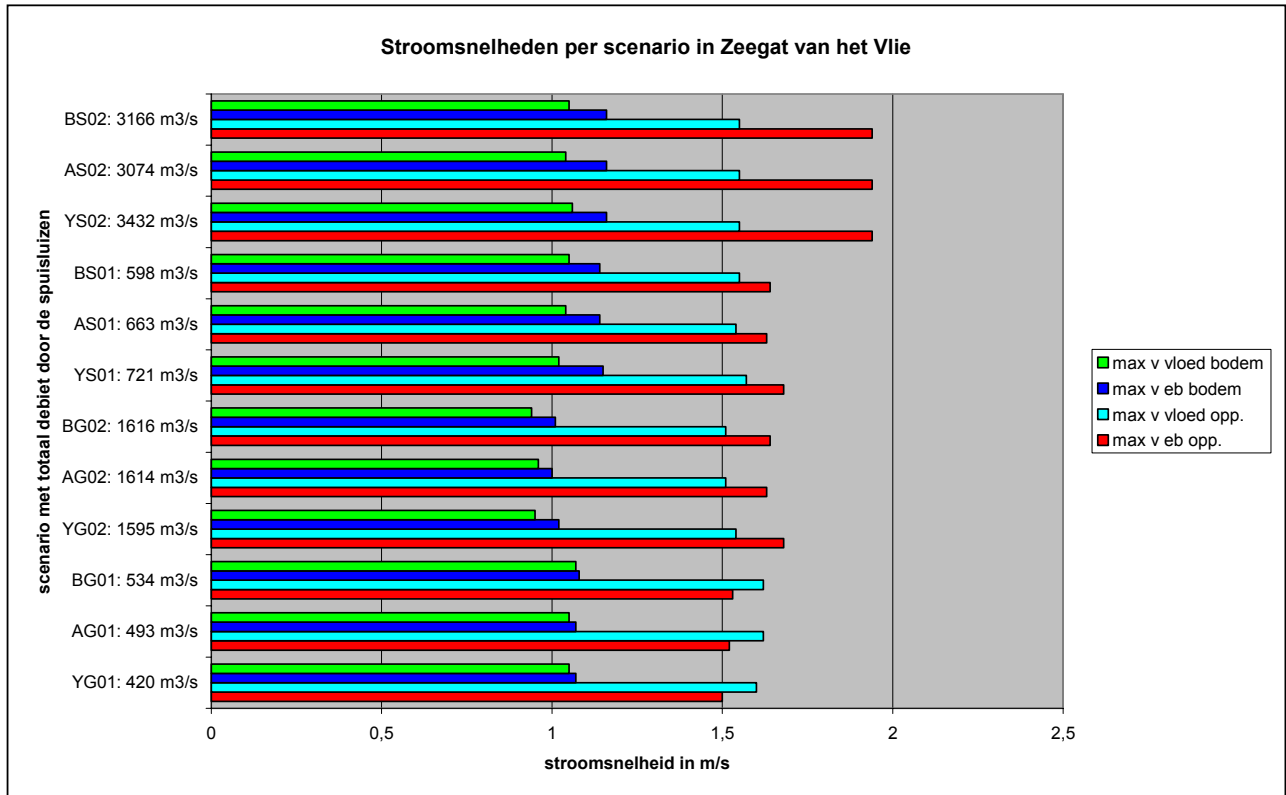
Figuur 3.17:

Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloednelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Marsdiep Noord.



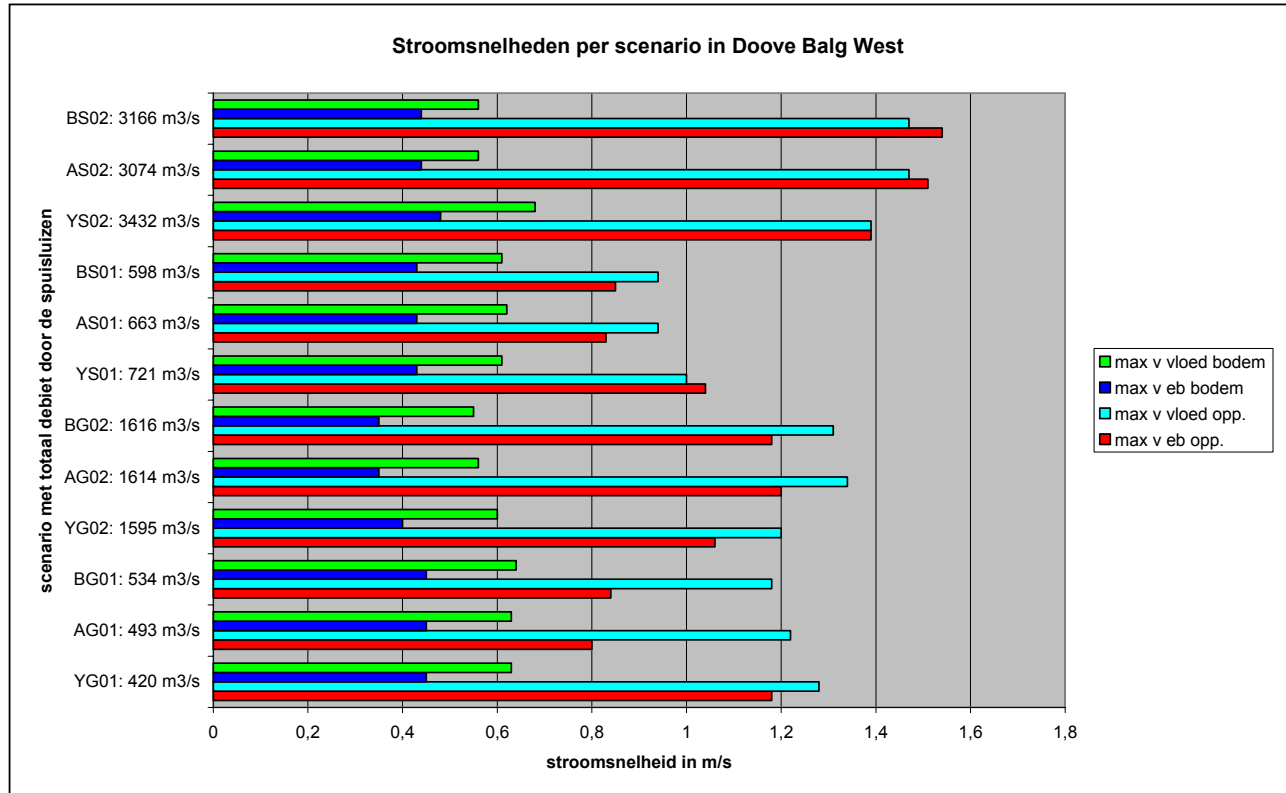
Figuur 3.18:

Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloednelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Zeegat van het Vlie.



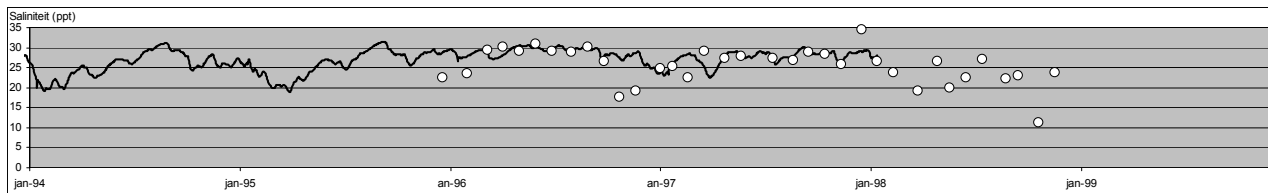
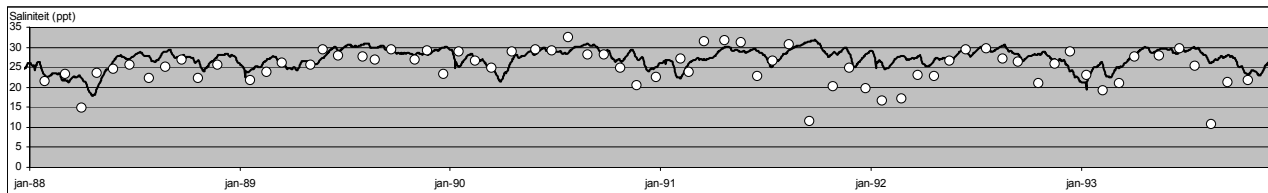
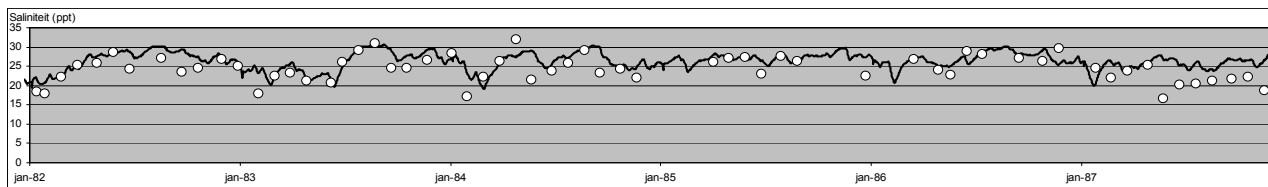
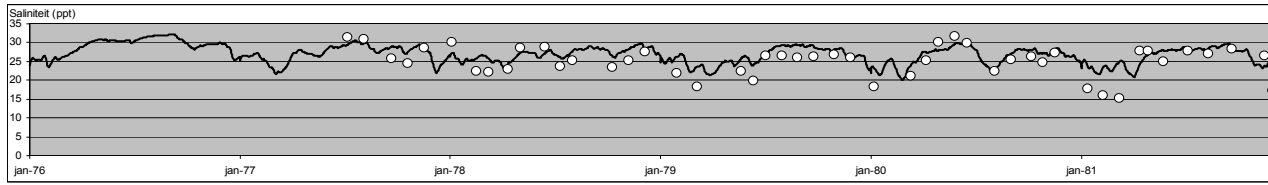
Figuur 3.19:

Stroomsnelheden per scenario (maximum eb- en vloednelheid aan de bodem en de oppervlakte) in Doove Balg West.

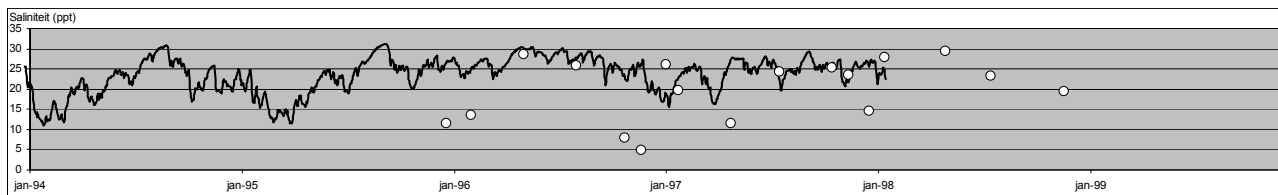
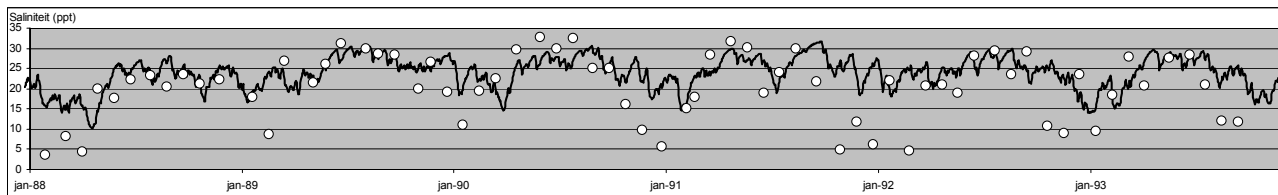
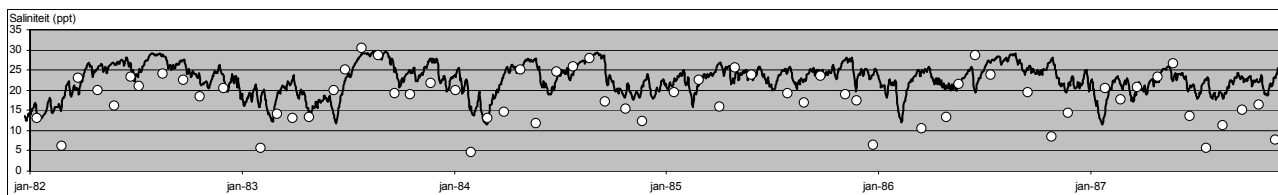
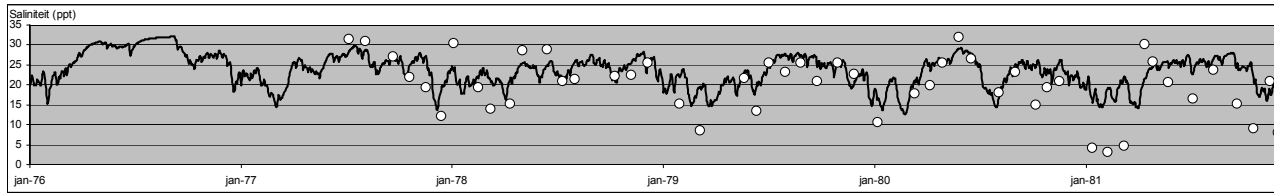




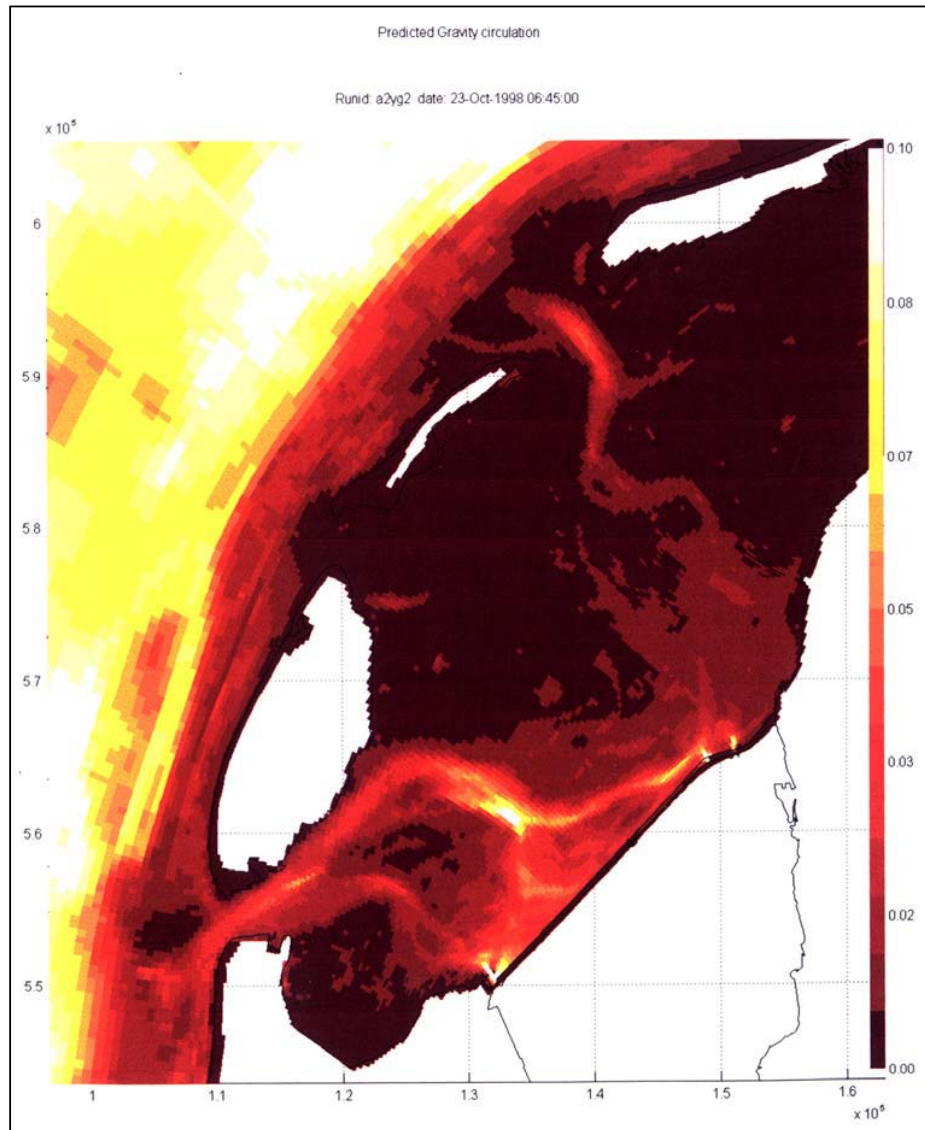
.....  
**Figuur 3.21:**  
DELWAQ: Langjarige tijdreeks voor station  
Doove Balg West.



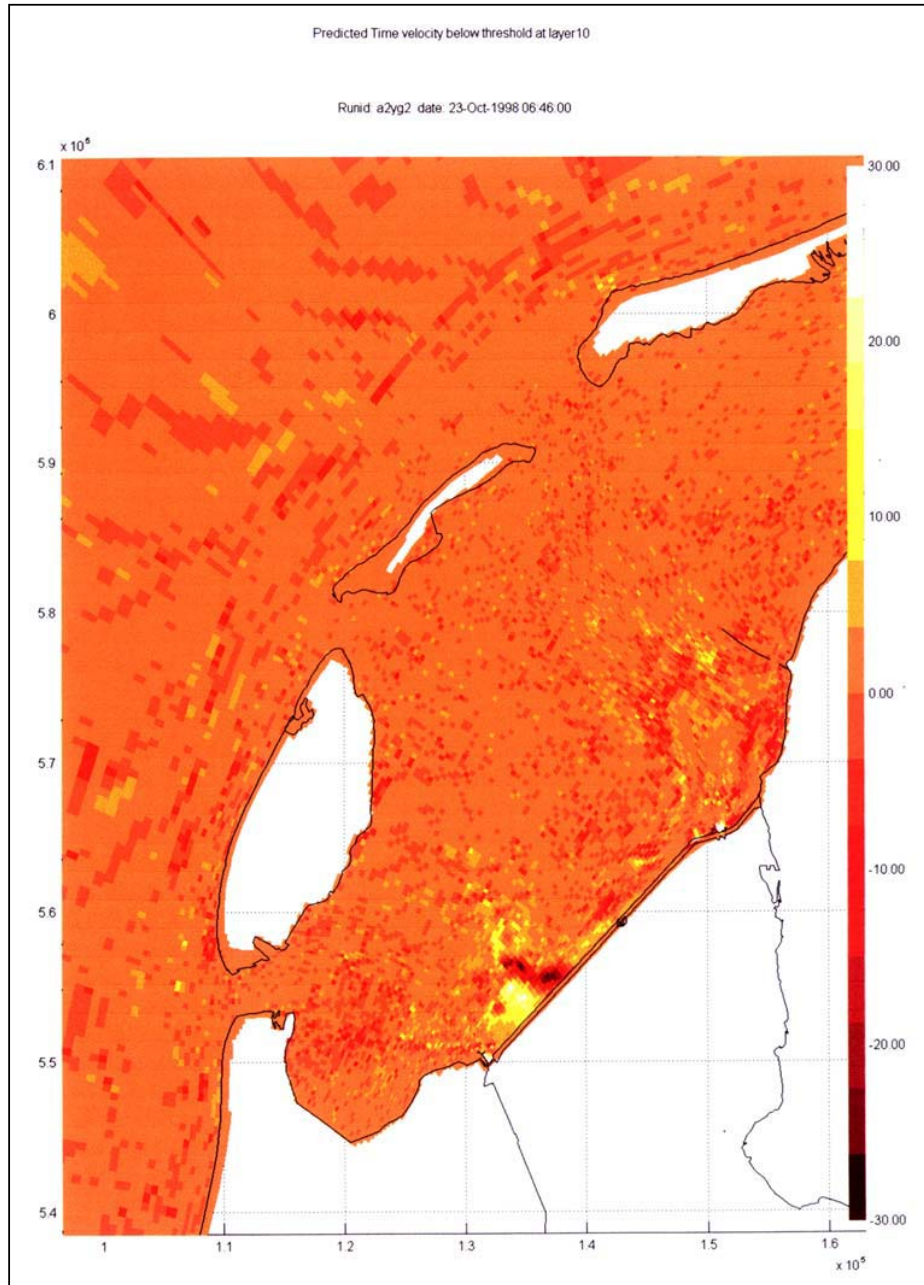
.....  
**Figuur 3.22:**  
DELWAQ: Langjarige tijdreeks voor station  
Doove Balg Oost.



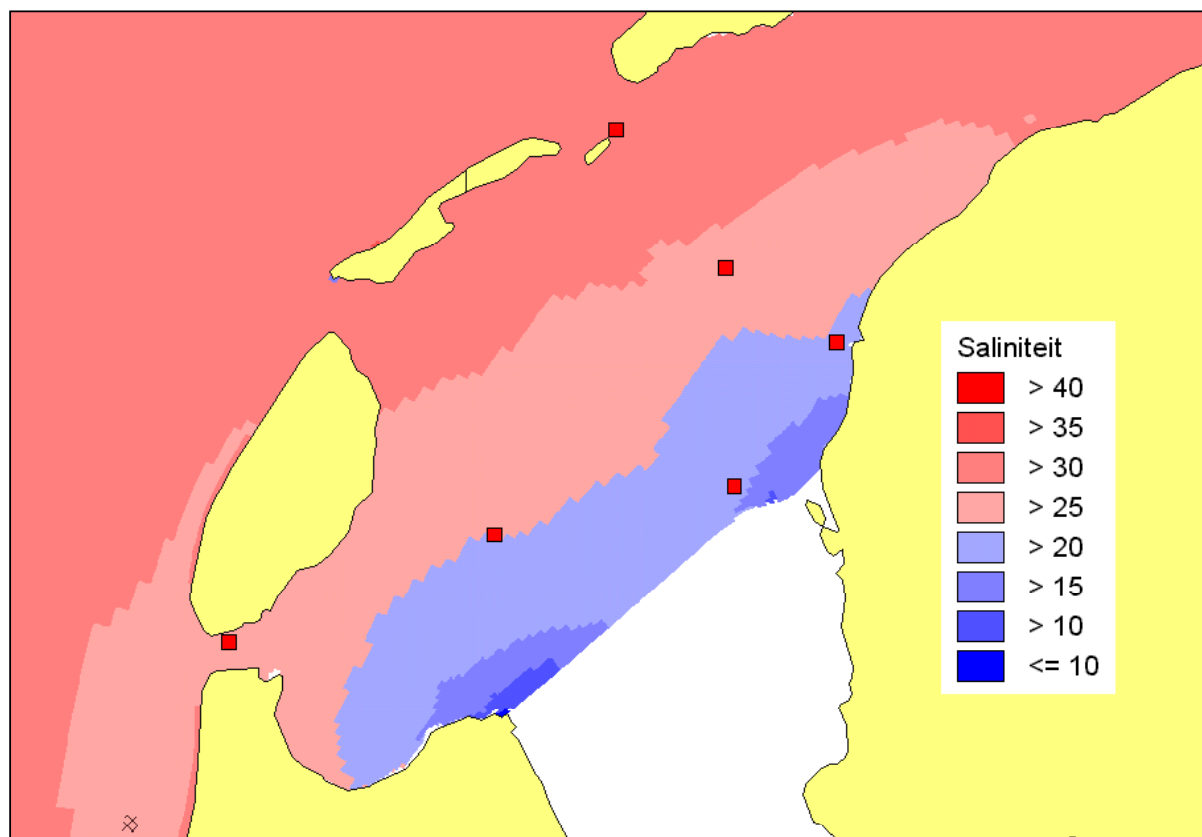
.....  
**Figuur 4.2:**  
Verschillen in verwachte gravitatiesnelheid op  
basis van stroomsnelheden variant 1A  
tegenover huidige situatie.



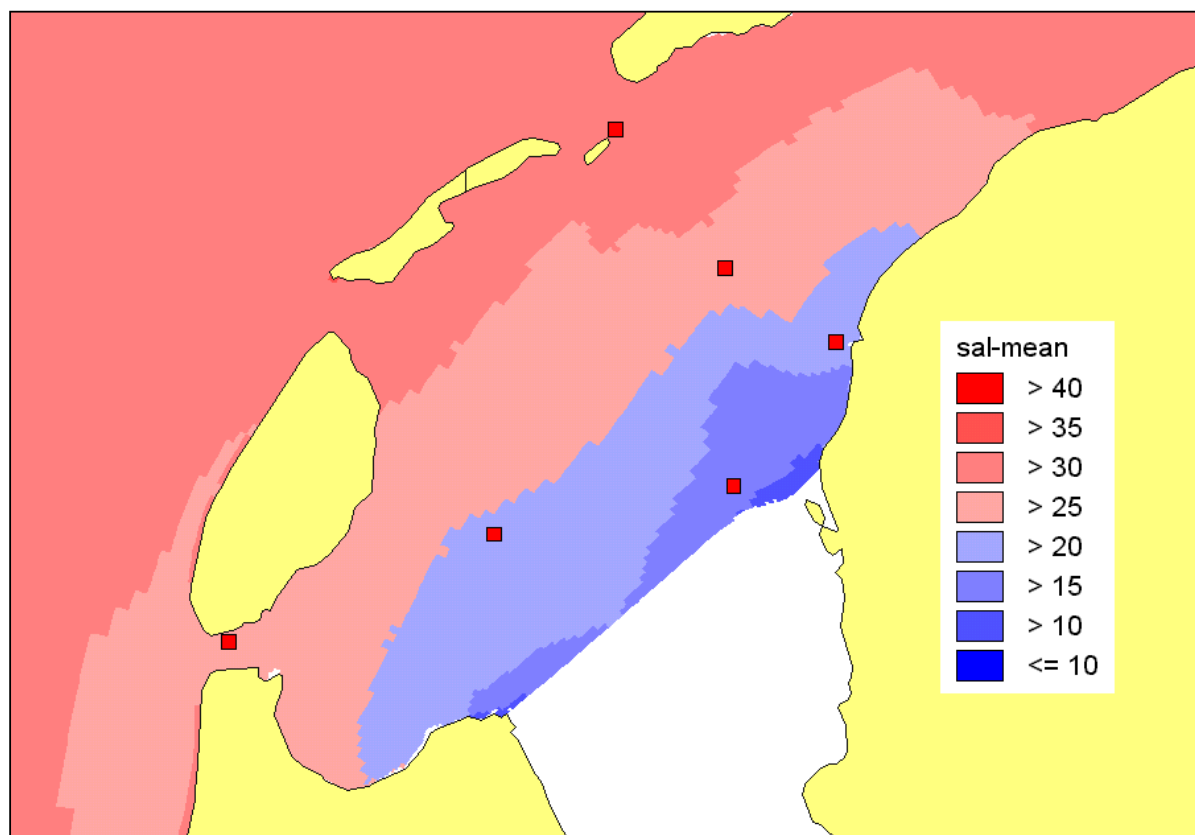
.....  
**Figuur 4.3:**  
Verskil onderschrijdingsduur kritieke snelheid  
variant 1A tegenover huidige situatie.



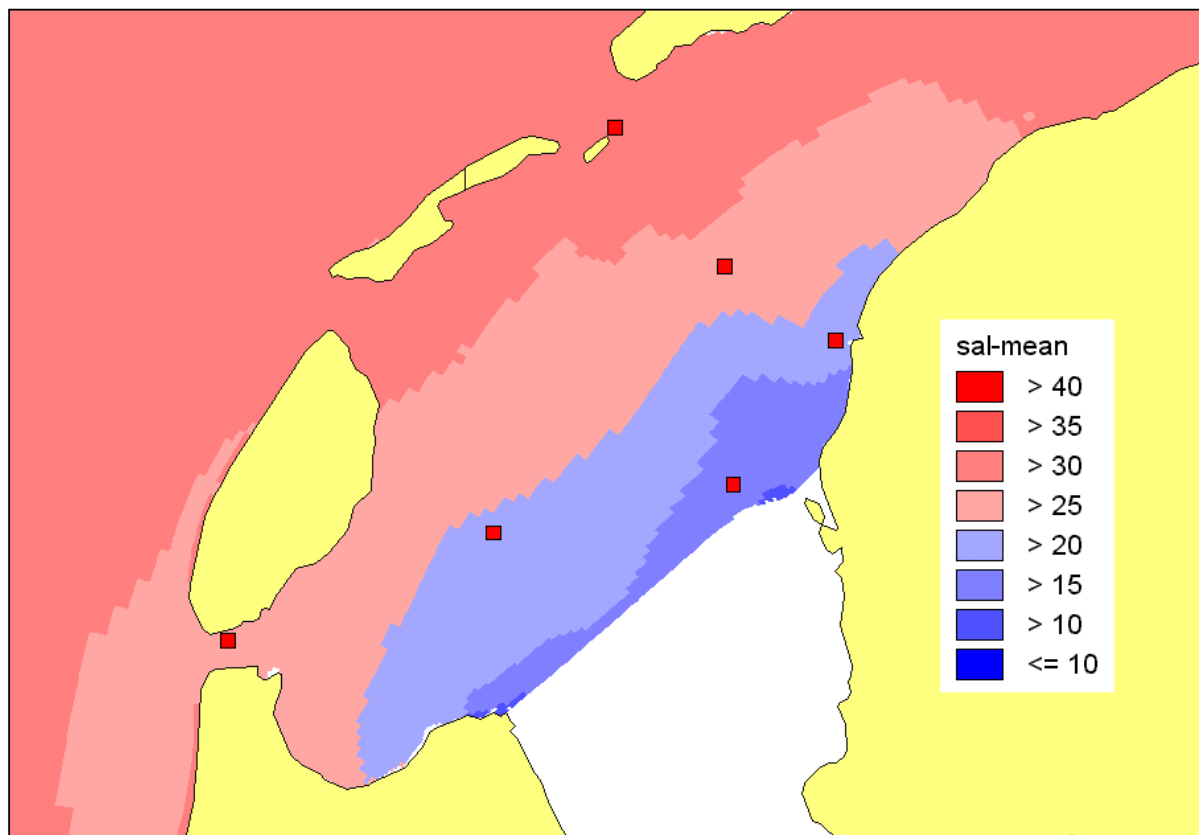
.....  
**Figuur 5.11:**  
Ruimtelijk beeld van het meerjarig  
gemiddelde zoutgehalte over de periode  
januari t/m april voor de huidige situatie.



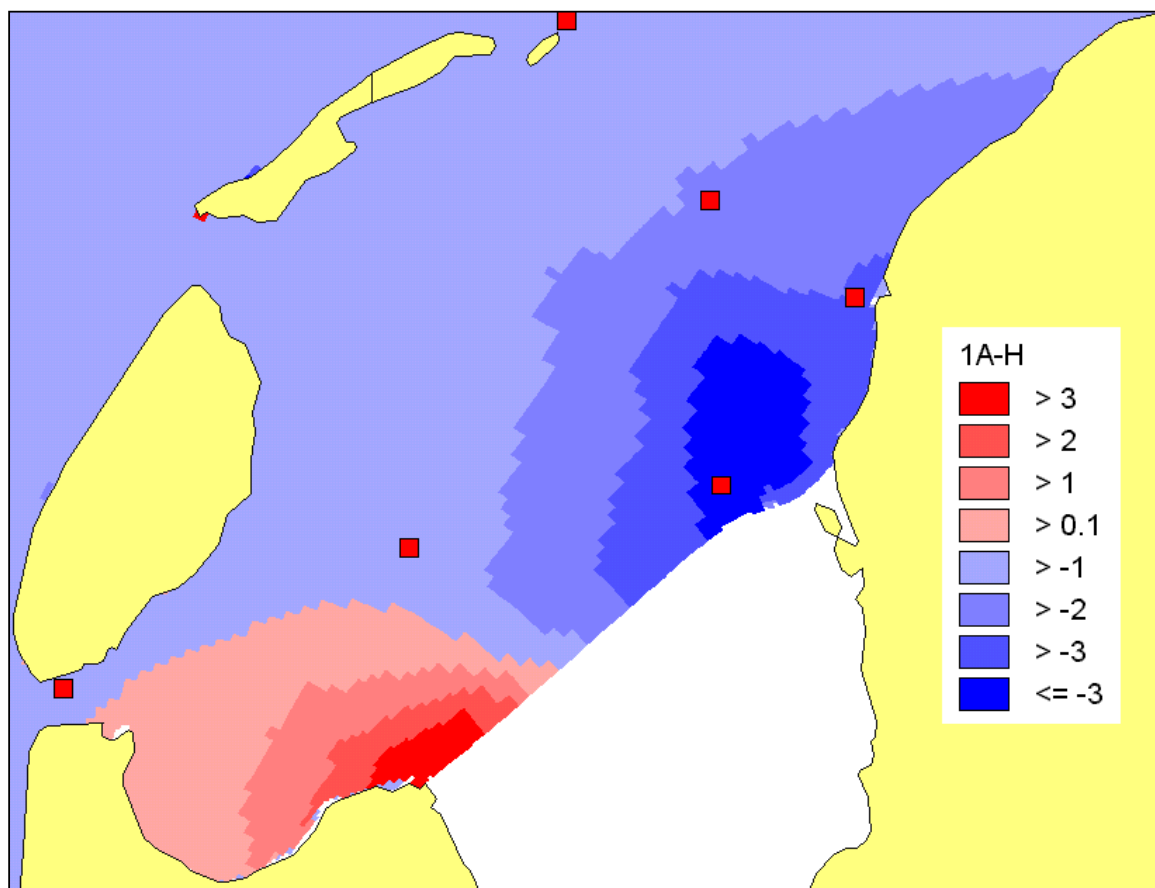
.....  
**Figuur 5.12:**  
Ruimtelijk beeld van het meerjarig  
zoutgehalte over de periode januari t/m april  
voor locatiealternatief.



.....  
**Figuur 5.13:**  
Ruimtelijk beeld van het meerjarig  
gemiddelde zoutgehalte over de periode  
januari t/m april voor locatiealternatief 2A.

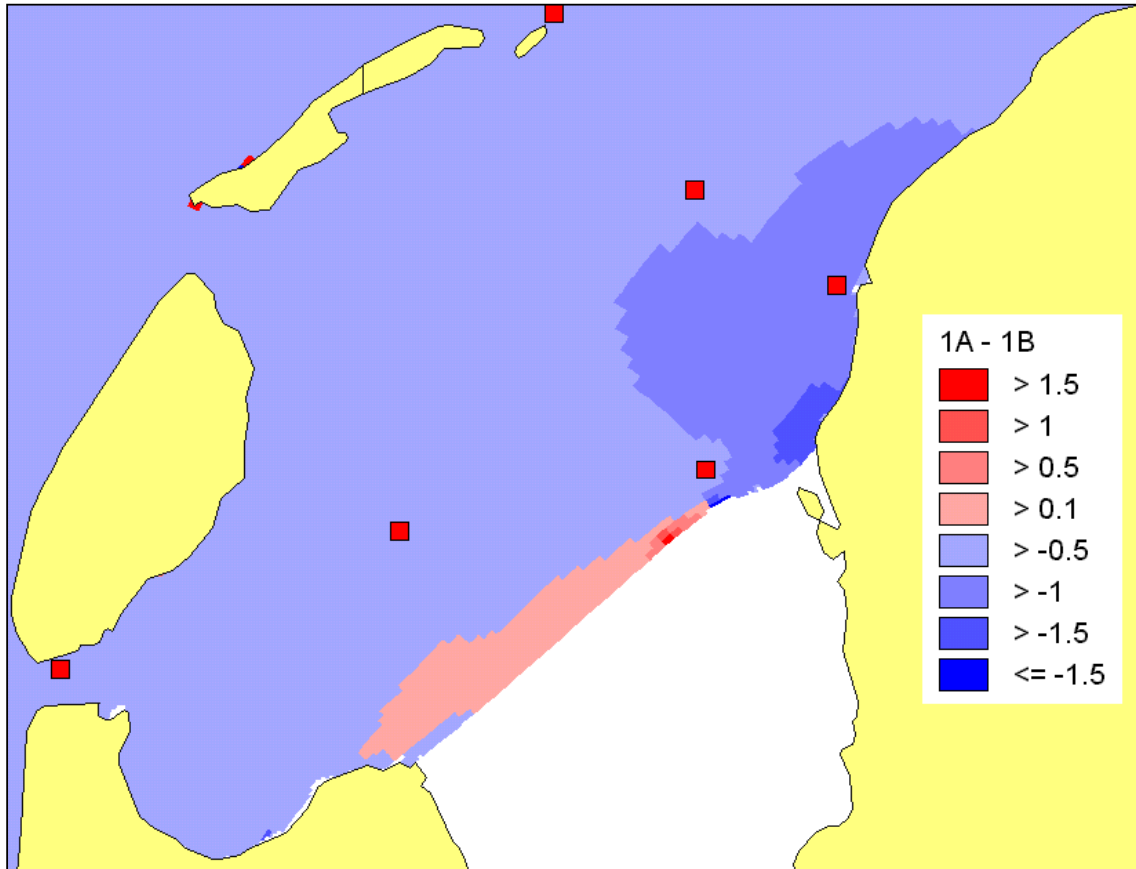


.....  
**Figuur 5.14:**  
Ruimtelijk beeld van het verschil in saliniteit  
tussen locatiealternatief 1A en de huidige  
situatie.

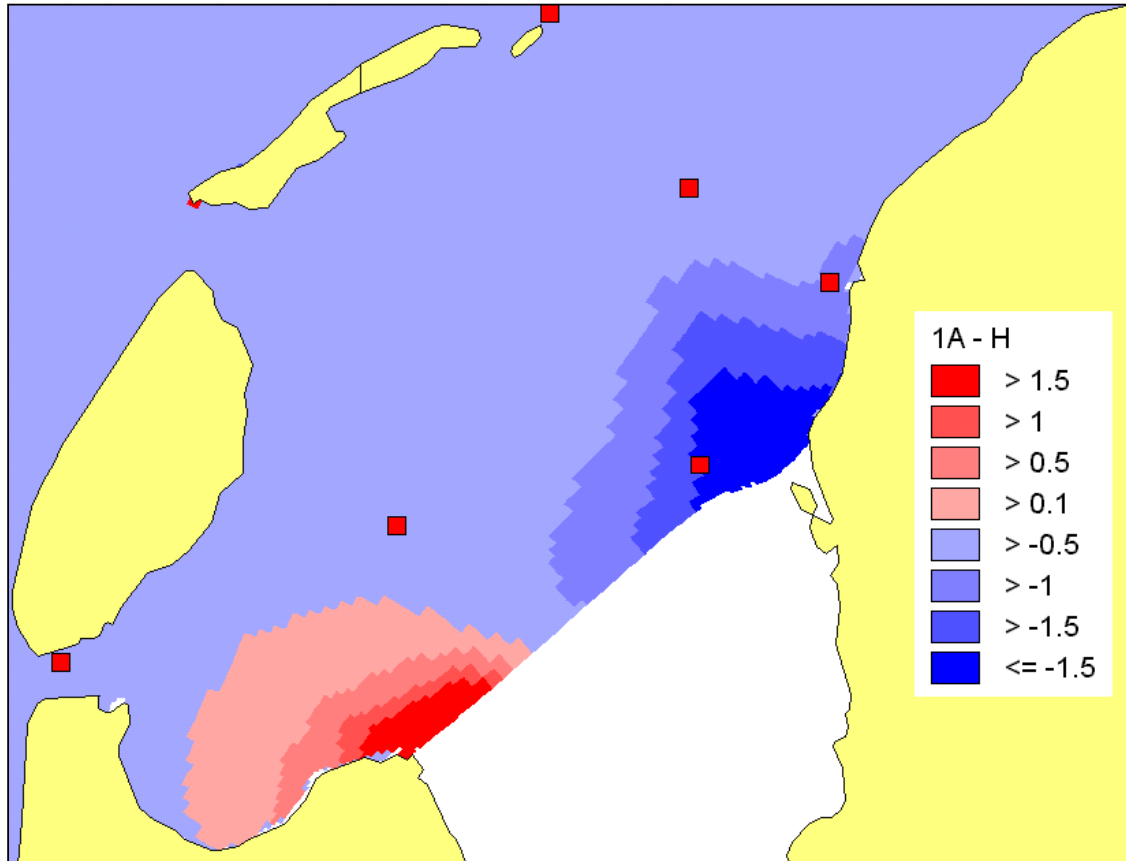




.....  
**Figuur 5.15:**  
Ruimtelijk beeld van het verschil in saliniteit  
tussen locatiealternatief 1A en 2A.

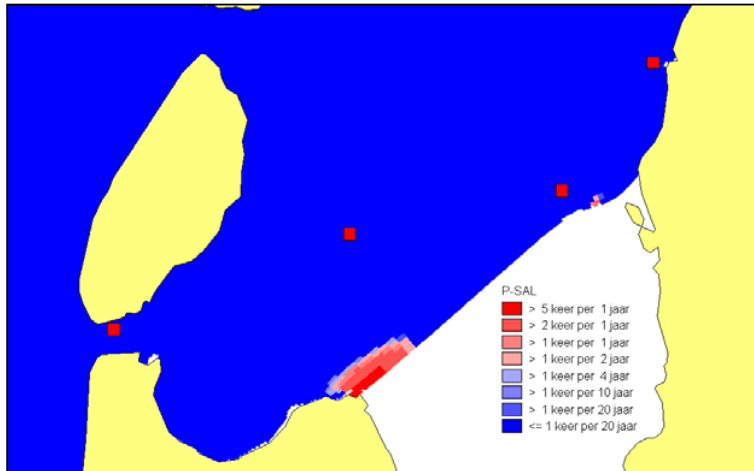


.....  
**Figuur 5.17**  
Ruimtelijk beeld van de verandering van de  
verandering van de soortenrijkdom van de  
bodemfauna als gevolg van de aanleg van een extra  
spuimiddel (locatiealternatief 1A).

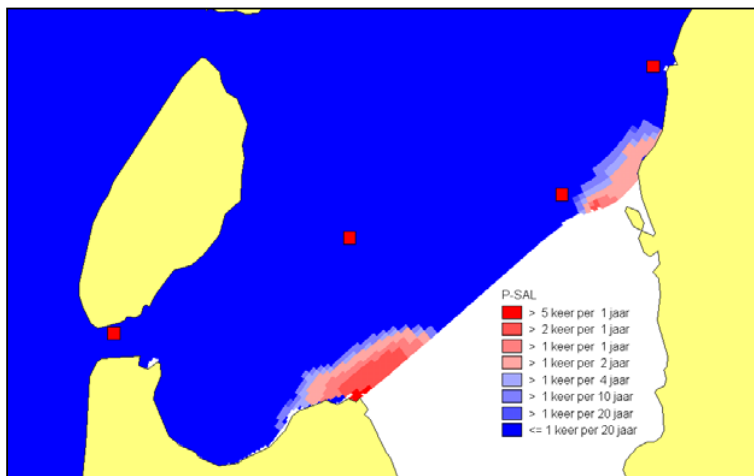


.....  
**Figuur 5.18:**

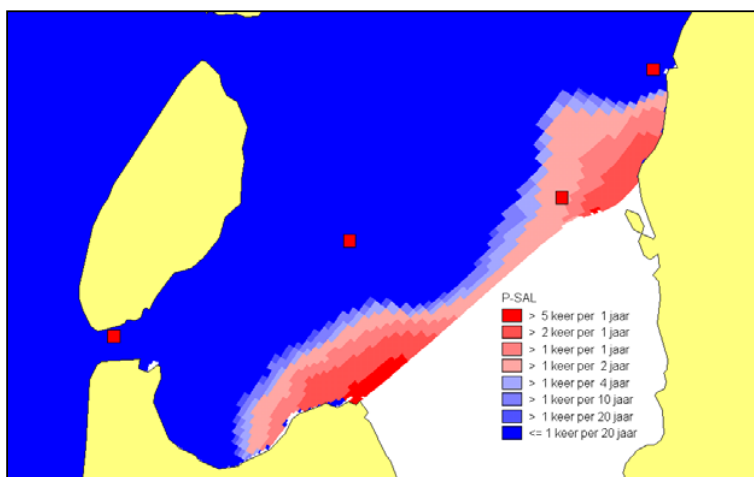
Saliniteit onderschrijdingsvoorkomen per jaar  
≤ 10 promille S gedurende 7 dagen voor de  
huidige situatie.



5 psu, 2 dagen, huidig



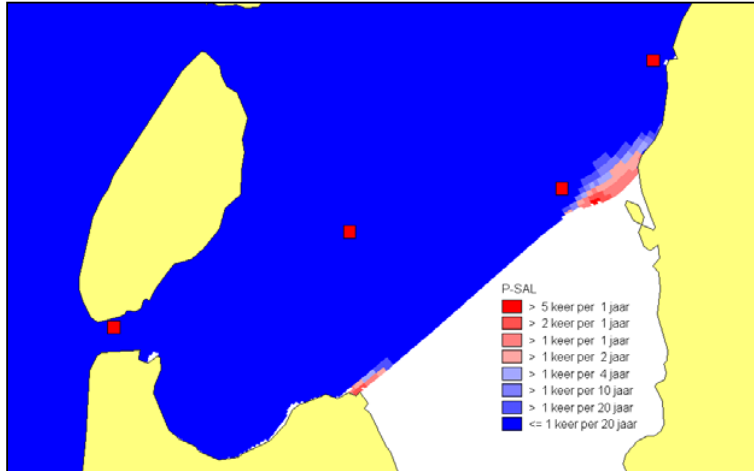
10 psu, 7 dagen, huidig



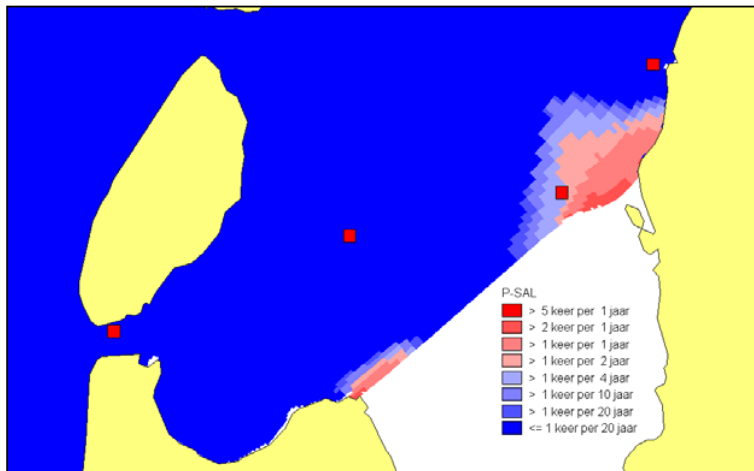
15 psu, 7 dagen, huidig

.....  
**Figuur 5.19:**

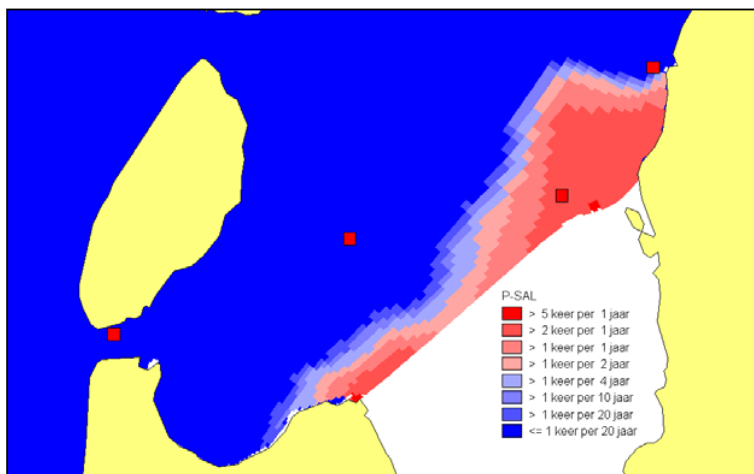
Saliniteit onderschrijdingsvoorkomen per jaar  
≤ 10 promille S gedurende 7 dagen voor  
locatiealternatief 1A.



5 psu, 2 dagen, huidig

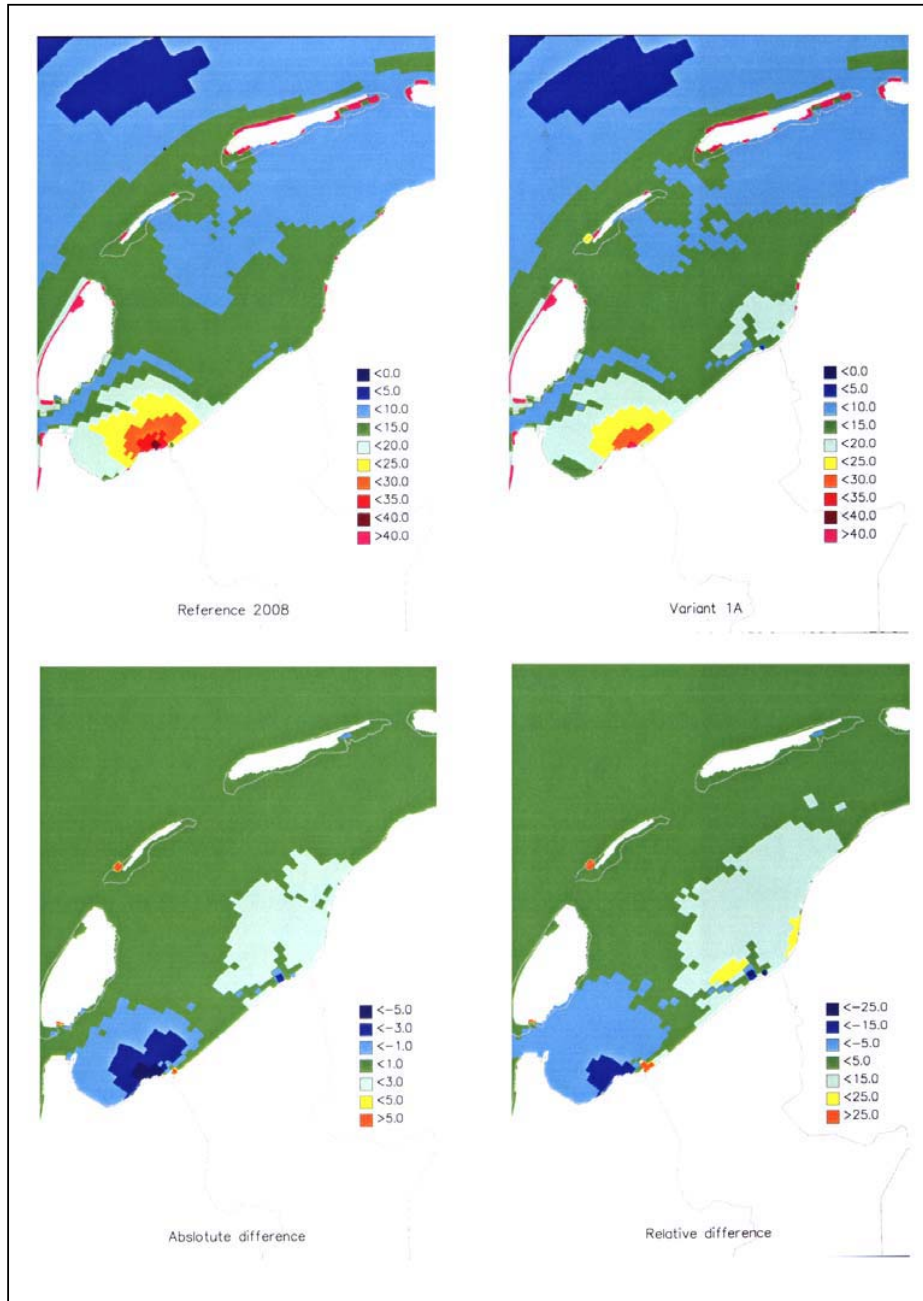


10 psu, 7 dagen, huidig



15 psu, 7 dagen, huidig

.....  
**Figuur 5.20:**  
Zomergemiddelde chlorofylconcentratie voor  
het referentiejaar 2008 en locatiealternatief  
1A.



.....  
**Figuur 5.21:**  
Zomergemiddelde detritusconcentratie in het  
sediment voor het referentiejaar 2008 en  
locatiealternatief 1A.

