

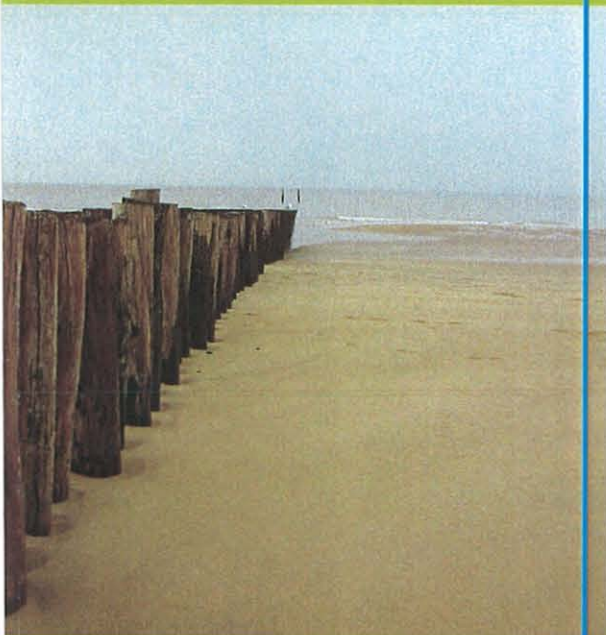
1682-18

# Inlaatduiker Waterdunen



oranjewoud

*Eindrapport*



# Inlaatduiker Waterdunen

## Definitief rapport

projectnr. 162531  
revisie 03  
december 2006

### Auteur(s)

Mirjam Stark  
Paul Ravenstijn  
Jaap Korf  
Randy Walraven

### Opdrachtgever

Gebieds Gerichte Aanpak  
West Zeeuwsch-Vlaanderen  
Postbus 163  
4330 AD MIDDELBURG


datum vrijgave

december 2006

beschrijving revisie 03

Definitief

goedkeuring

  
M. Stark

vrijgave

M. Berk

	<b>Inhoud</b>	<b>Blz.</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Basisgegevens</b>	<b>5</b>
2.1	Locatie	5
2.2	Buitenwater	5
2.3	Bodemopbouw en geohydrologie	7
2.4	Natuurdoeltypen	11
<b>3</b>	<b>Alternatieven</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Hydraulische aspecten</b>	<b>17</b>
4.1	Aanpak	17
4.2	Keuze ontwerpparameters	17
4.3	Eindresultaten berekende alternatieven	20
4.3.1	<i>Waterpeilen</i>	20
4.4	Verversing en zoutgehalte	21
4.5	Erosie en sedimentatie	24
4.6	Aanbeveling 3D-berekeningen	25
<b>5</b>	<b>Inlaatduiker</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Effecten omgeving</b>	<b>31</b>
6.1	Effecten kwantiteit	31
6.1.1	<i>Woningen</i>	31
6.1.2	<i>Karrevelden</i>	36
6.1.3	<i>Landbouw</i>	36
6.2	Effecten kwaliteit	39
6.2.1	<i>Zout</i>	39
6.2.2	<i>Nutriënten</i>	42
<b>7</b>	<b>Samenvatting en conclusies</b>	<b>43</b>

#### **Bijlagen**

1. Constructief ontwerp getijdenduiker
2. Bodemopbouw volgens Regis
3. Resultaten bodemonderzoek juni 2006
4. Berekende waterstanden
5. Effecten op woningen
6. Maatregelen afwatering
7. Kostenraming maatregelen afwatering



***In het begin...  
bestond Nederland niet.  
zee, getij, rivieren, slibbanken, zandheuveld  
vocht, muggen.  
Zwemmend land, Genesisland  
De tijd spoelde mensen naar deze archipel  
kleine Jannen en slikvolk  
Op eilanden leefden ze.  
Op de Waterdunen.***

*(vrij naar Paul de Schipper, auteur van Orisant)*



## 1 Inleiding

De kustverdediging tussen Breskens en Groede zal op termijn niet meer voldoen aan het wettelijk vereiste veiligheidsniveau. Daarnaast is de kuststrook een bijzonder aandachtsgebied in het "Gebiedsplan Natuurlijk Vitaal" om een kwaliteitsslag te maken in de ruimtelijke kwaliteit. De doelstelling van het project Waterdunen is het op de vereiste veiligheid brengen van de kustverdediging in combinatie met gebiedsontwikkeling, zoals de ontwikkeling van recreatie en natuur. Voor het project Waterdunen worden onder andere een milieu-effectrapport (MER) en een maatschappelijke kosten-baten-analyse opgesteld.

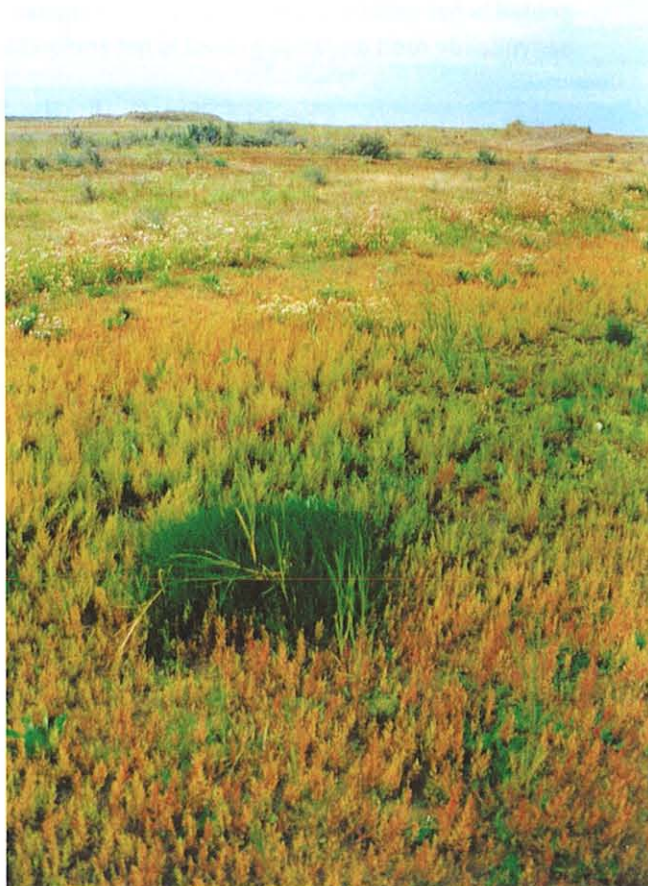
Het onderhavige project, Inlaatduiker Waterdunen, moet voor het MER inzicht geven in de haalbaarheid van een toekomstige inrichting van het gebied met een getijdzone. Oranjewoud voert dit onderzoek uit in opdracht van de Gebiedscommissie van de Gebieds Gerichte Aanpak West Zeeuwsch-Vlaanderen.

*Ten opzichte van het rapport Inlaatduiker Waterdunen, revisie 02, d.d. 18 juli 2006, zijn alleen de plaatjes van de alternatieven (hoofdstuk 3) vervangen door de definitieve plaatjes van de alternatieven zoals opgenomen in het MER Waterdunen.*

Het project Inlaatduiker Waterdunen bestaat inhoudelijk uit drie onderdelen:

- **hydraulisch onderzoek:** de benodigde afmetingen van één of meerdere duikers om voldoende in- en uitstroom van zeewater te bereiken, zodat aan de kwaliteitseisen in relatie tot de natuurdoeltypen wordt voldaan;
- globaal ontwerp van het **kunstwerk**, waarbij het aan eisen betreffende veiligheid moet voldoen en inzicht in kosten wordt verkregen;
- **effecten** van het getijdengebied op de omgeving, met name landbouw en woningen.

Tussen het project Inlaatduiker en de milieu-effectenrapportage (m.e.r.) bestaat een sterke interactie: de alternatieven voor het m.e.r. zijn mede ontwikkeld op basis van de resultaten van het project Inlaatduiker. De milieu-effectrapportage is in een afzonderlijk rapport opgenomen. Daarnaast is er een relatie met het Kustversterkingsplan, dat eveneens in een apart rapport is opgenomen.



*Zilte laagte met zeekraalvegetatie  
(overgang getijdenkreek naar duinvoet)*



## 2 Basisgegevens

### 2.1 Locatie

Het project Waterdunen richt zich op het gebied juist ten westen van Breskens. In figuur 2.1 is de ligging van het projectgebied globaal aangegeven. Het blauw omrande gebied is het gebied dat in het schetsontwerp van Arcadis en H+N+S is opgenomen. Het aanvullende rood omrande gebied is het zoekgebied van het MER.



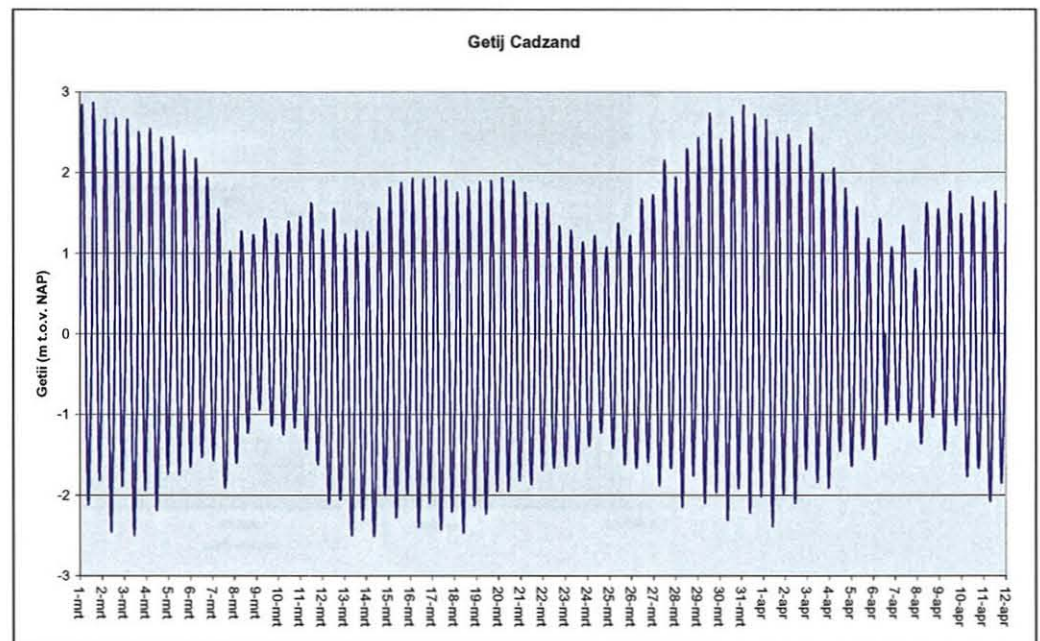
Figuur 2.1: Globale ligging projectgebied

### 2.2 Buitenwater

#### Getij

Gezien het doel van de eerste fase van de modellering, inzicht krijgen in de werking van het getijdengebied en de benodigde duiker, is allereerst gekeken naar de normale dagelijkse situatie. Als randvoorwaarden zijn daarom de recent waargenomen waterstanden van maart en april 2006 te Cadzand gebruikt. Deze waterstanden wijken enkele centimeters af van het getij dat in deze periode in Vlissingen is gemeten. Volgens het waterschap Zeeuws Vlaanderen is het getij bij Nieuwe Sluis iets afwijken: het hoog water ligt ca. 10 cm hoger, en het laag water ca. 10 cm lager. Van deze locatie zijn echter geen meetreeksen beschikbaar.

In figuur 2.2 is de gebruikte meetreeks van het getij opgenomen. In de grafiek is de variatie in de waterstanden waar te nemen. Het getij fluctueerde in de maanden maart en april tussen NAP +3,0 m en NAP -2,5 meter. In de grafiek is te zien dat het getij zowel een maandelijkse als een dagelijkse variatie heeft. Naast de dagelijkse getijdencyclus van ruim 12 uur is er tevens een maandelijkse getijdencyclus (springtij en doodtij).



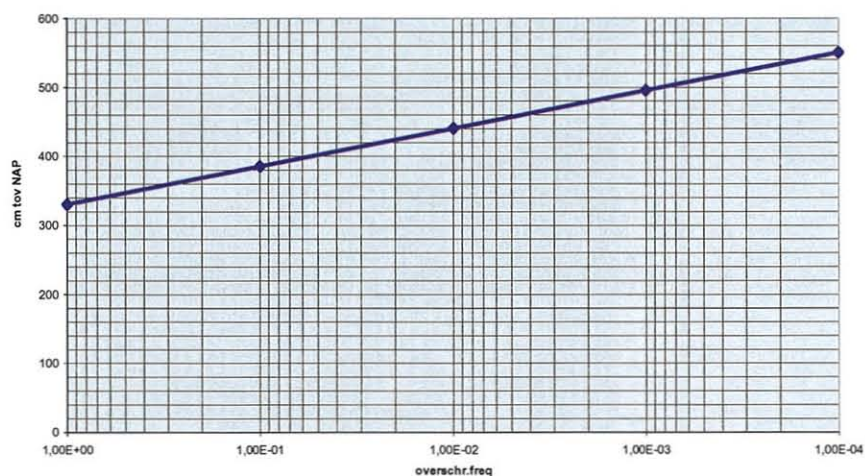
Figuur 2.2: Meetwaarden getij over maart en april 2006, meetpunt Cadzand

Om ongewenst hoge waterstanden binnen het getijdengebied te voorkomen, zal de in- en uitlaatduiker bij een hoge buitenwaterstand gesloten worden. Zowel voor de effecten op de omgeving als de te bereiken natuurdoeltypen (met name de schorren) is het getij binnen het getijdengebied bij de waterstand juist voordat de duiker wordt gesloten, eveneens van belang. Uit het overleg met het waterschap wordt als extreme situatie voor de getijdengebied een (voorspelde) waterstand van NAP +3,30 m gehanteerd. Deze hoogte volgt uit het calamiteitenplan van het waterschap. Dit betreft het waarschuwingspeil (1<sup>e</sup> fase dijkbewaking). In de praktijk treedt dit peil ongeveer 2x per jaar op. De sluitingsprocedure volgt het draaiboek dijkbewaking.

#### Hydraulische randvoorwaarden i.v.m. veiligheid

Voor het ontwerp van het kunstwerk zijn daarnaast vanuit veiligheidsoogpunt hydraulische randvoorwaarden te stellen. Hierbij wordt rekening gehouden met een norm van 1x/4.000 jaar. Verder is rekening gehouden met een zeespiegelstijging van 0,65 m in 100 jaar. De resulterende ontwerpwaterstand is 5,85 m +NAP (zie figuur 2.3). Daarnaast wordt rekening gehouden met een golfbelasting voor de berekening van de sterkte. In bijlage 1 is hier verder op ingegaan.

Overschrijdingswaarden Vlissingen (incl. zeespiegelstijging t/m 2006)

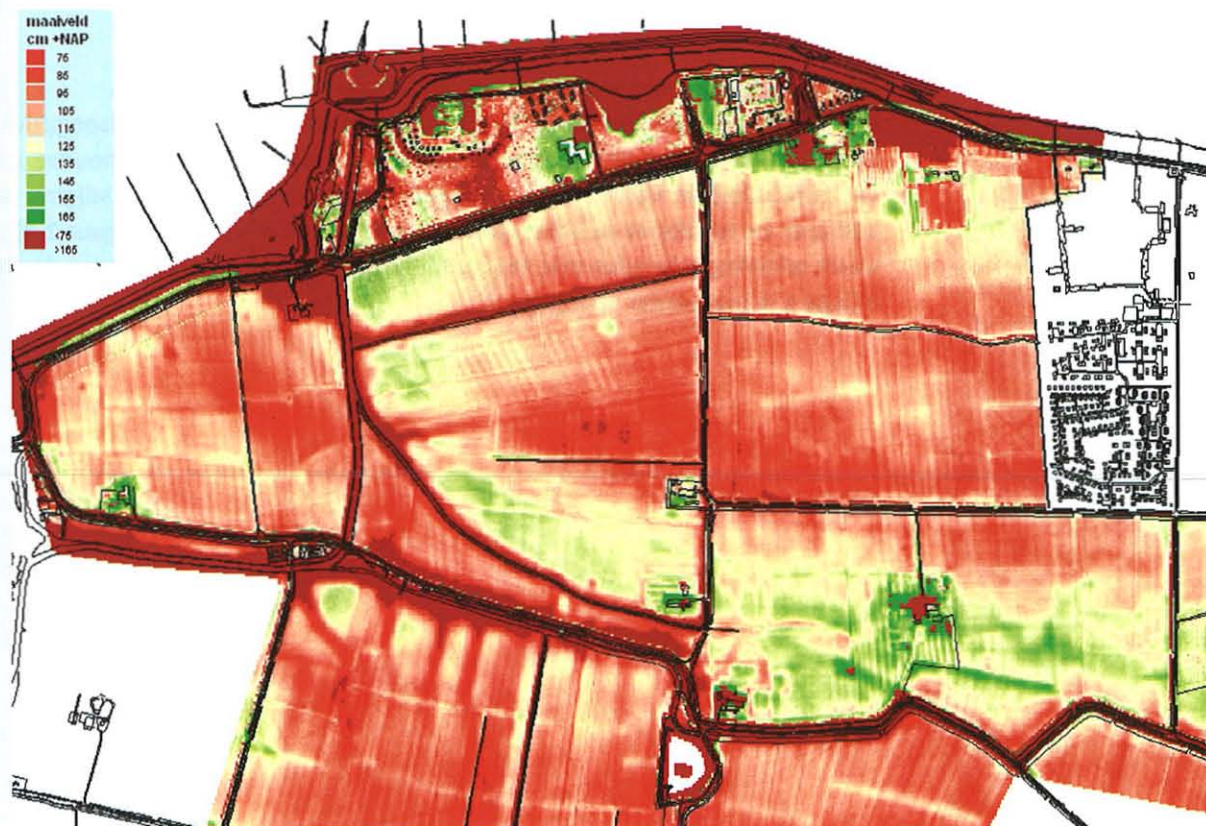


Figuur 2.3: Overschrijdingsfrequentie Vlissingen

## 2.3 Bodemopbouw en geohydrologie

### Maaiveld

Het plangebied is hoofdzakelijk gelegen op NAP +0,7 tot +1,5 m (zie figuur 2.4; rood ligt hoger dan NAP +1,5 m). De boerderijen en clusters met woningen liggen hoger, op NAP +1,25 tot +1,75 m. Het recreatiepark direct westelijk van Breskens is gelegen op NAP +1,15 m. Het gebied ten zuiden heeft dezelfde maaiveldhoogtes als het plangebied. Het natuurgebied Karrevelden, aan de noordkant van het plangebied, heeft een maaiveldhoogte van ca. NAP +0,4 m.



Figuur 2.4: Maaiveldhoogte t.o.v. NAP

## **Bodem**

Via DINO<sup>1</sup>, REGIS<sup>2</sup> en de Grondwaterkaart van Nederland<sup>3</sup> zijn gegevens verzameld omtrent de bodemopbouw van zowel het plangebied als het gebied rondom het plangebied. De deklaag en eerste watervoerend pakket (wvp) wordt gevormd door het Laagpakket van Walcheren. De deklaag bestaat vooral uit klei met tussendoor verschillende fijn zandige lagen. Het eerste watervoerende pakket bestaat uit fijn zand. In tabel 2.1 en figuur 2.5 wordt de opbouw weergegeven. De opbouw voor het plangebied en het omliggende gebied is globaal gelijk. In bijlage 3 is de globale dikte van de klei en het onderliggende zand voor het gebied grafisch weergegeven.

In juni 2006 is veldonderzoek naar de bodemopbouw uitgevoerd. Uit de in het gebied geplaatste boringen blijkt de bodemopbouw sterk te variëren. De dikte van de kleiïge deklaag varieert tussen 1,7 m en meer dan 6,0 m. Daarnaast komen in de kleiïge deklaag vaak zandige lagen voor. De mogelijkheden om het zand of de klei gescheiden te winnen, zijn daardoor niet ideaal. De resultaten van het bodemonderzoek zijn opgenomen in bijlage 3.

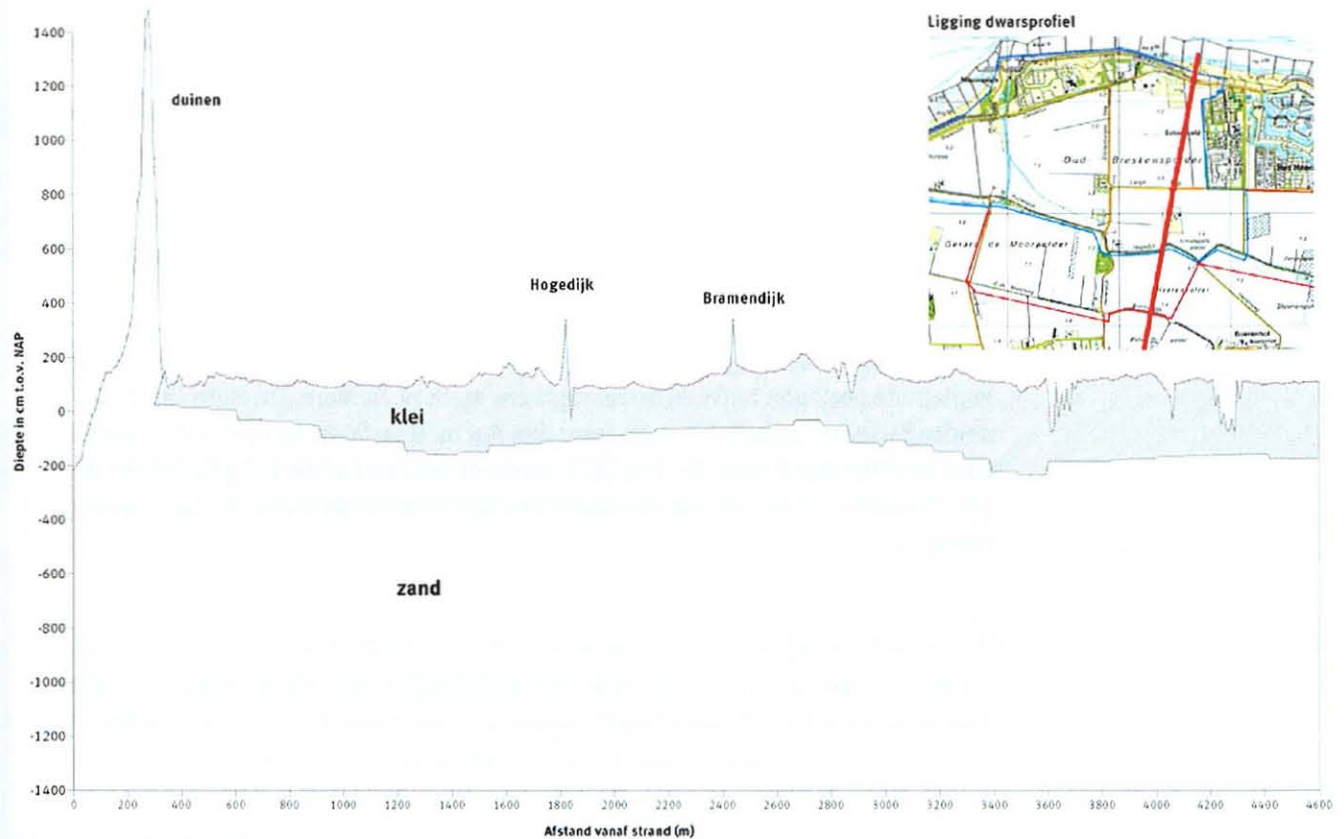
### *Gebruiksmogelijkheden zand*

Uit de zeefanalyses van de zandmonsters blijkt dat de D50 waarde van de korreldiameters varieert van 140 µm tot 230 µm. Voor de duinafslagberekeningen is een rekenwaarde voor de korreldiameter van 186 µm gebruikt. De meerderheid van de zeefanalyses toont een D50 waarde die lager is dan die rekenwaarde. Slechts in één geval is grover zand aangetroffen. Op basis van het verkennende grondonderzoek kan worden vastgesteld dat het zand niet zondermeer toepasbaar is voor de duinversterking, omdat fijner zand over het algemeen een groter afslagvolume betekent. Het berekende versterkingsvolume zou dan dus niet voldoende zijn. Indien het wel gewenst is dat dit zand wordt toegepast, moeten opnieuw afslagberekeningen worden gemaakt waarin de kleinere korrelafmetingen worden meegenomen.

### *Gebruiksmogelijkheden klei*

Voor drie kleimonsters zijn de Attenbergse grenzen bepaald. Op basis van de vloeigrens en de plasticiteitsindex voldoen twee monsters (boring B-1 en B-2) aan de eisen voor klei bij toepassing in waterkeringen. Om hierover definitief een uitspraak te kunnen doen dienen echter ook een aantal andere zaken onderzocht te worden, namelijk: percentage organische stof, percentage lutum, zandgehalte, zoutgehalte en optimaal vochtgehalte. Van boring B-5 kan bij voorbaat al op basis van de vloeigrens en de plasticiteitsindex gesteld worden dat deze klei niet aan de eisen voldoet voor toepassing in waterkeringen.

- 
1. Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond.
  2. Regionale en landelijke bodemmodellen.
  3. Dienst grondwaaterverkenning TNO, Zeeuws Vlaanderen, kaart 47-oost, 48, 49-west, 53-oost, 54 en 55-west, 1982.



Figuur 2.5: Doorsnede bodemopbouw

Tabel 2.1: Bodemopbouw

Laag [m -mv]	Lithostratie	Geohydrologische eenheid	Samenstelling	Weerstand [d] of Doorlatendheid [m/d]
1,0 tot -2,5	Laagpakket van Walcheren	Holocene deklaag	klei	c = 50 d
-2,5 tot -30	Formatie van Boxtel	Eerste water-voerend pakket	zand (matig fijn)	k = 5 m/d (kD = 100 m <sup>2</sup> /d)
-30 tot -50	Laagpakket van Boom	Scheidende laag	klei	n.v.t.

### Grondwater

Het plangebied heeft grotendeels grondwatertrap VI. De bijbehorende gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) liggen respectievelijk, tussen de 0,40 en 0,80 m -mv. en lager dan 1,20 m -mv. In het midden van het plangebied heeft een deel grondwatertrap VII. Deze grondwatertrap heeft een GHG tussen de 0,80 en 1,40 m -mv. De delen ten zuiden van het plangebied liggen in grondwatertrap VII.

De stijghoogte in het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket ligt in de winter in het grootste deel van het plangebied juist boven NAP (0,0 tot +0,25 m). In de richting van de zee en onder de duinen ligt de stijghoogte iets hoger, overwegend tussen NAP +0,25 m en +0,5 m. In de zomer liggen de stijghoogten in het grootste deel van het plangebied tussen NAP 0,0 en -0,5 m. Bij de duinen liggen de stijghoogten iets hoger, tussen NAP 0,0 en +0,25 m. De stijghoogten zijn weergegeven in bijlage 3.

### Waterhuishouding

Het plangebied is onderdeel van de Oud- Breskenspolder. Het is gelegen in peilgebied 2-1 en heeft als streefpeilen NAP -0,60 en -0,90 m als respectievelijk zomer- en winterpeil. De oppervlakte van dit gebied is ca. 4.500 ha.

Het overtollig water van dit hele peilgebied wordt momenteel in het plangebied verzameld en via het gemaal Nieuwe Sluis naar de zee afgevoerd. Ten zuiden langs het plangebied loopt een brede watergang welke als grens beschouwd kan worden tussen plangebied en naastgelegen landbouwgebied. Ten oosten langs het plangebied vormt een kleine secundaire watergang de grens met het naastgelegen recreatiepark.

### Kwel/ wegzijging

De weerstand van de deklaag is relatief beperkt, in de orde van 50-100 dagen. Dit houdt in dat het freatische grondwater en de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket een sterke overeenkomst vertonen.

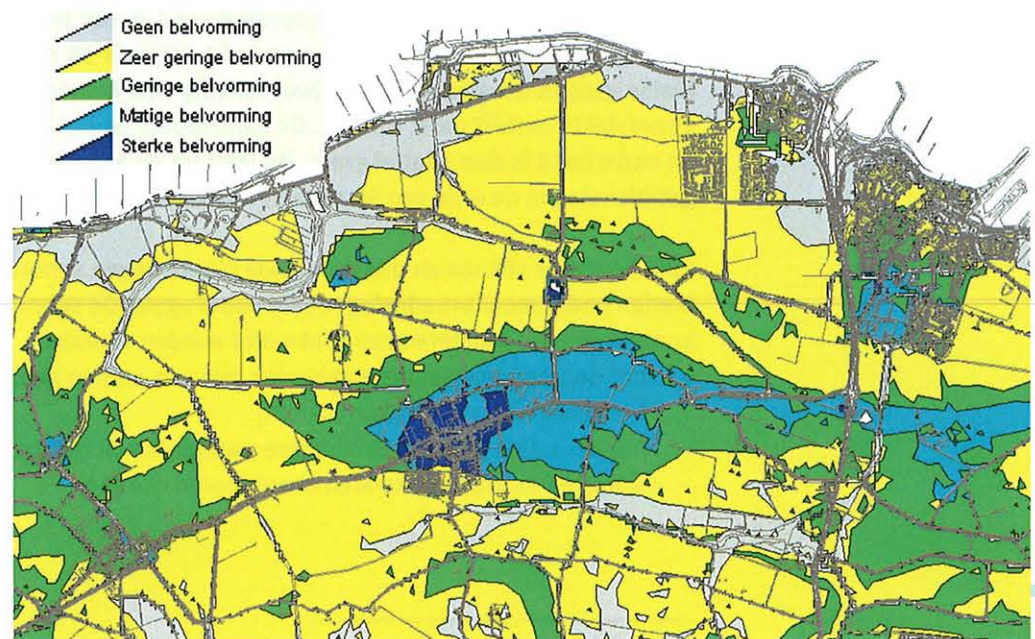
Naar de sloten is wel sprake van kwel. In de zomer is deze kleiner dan in de winter. Omdat het bij de sloten om relatief beperkte afmetingen gaat, is deze kwel van beperkte invloed op de waterbalans.

### Waterkwaliteit

Op een aantal punten is de chloridenconcentratie gemeten. In de deklaag (tot ca. 3 m -mv.) worden concentraties gevonden variërend tussen 50 en 1.000 mg/l, variërend in de tijd. Op een diepte van 15 - 19 m beneden maaiveld (eerste watervoerend pakket) zijn chloridenconcentraties gemeten van 10.000 en 15.500 mg/l.

Voor zoet water wordt een chloridegehalte van minder dan 300 mg/l aangehouden; zout water is meer dan 1.000 mg/l. Water met een gehalte tussen 300 en 1.000 mg/l is brak.

In onderstaande figuur is de aanwezigheid van zoetwaterlenzen in het gebied weergegeven. Deze lenzen zijn gevormd door neerslag, en 'drijven' als het ware op het zoutere water in de ondergrond. Duidelijk zichtbaar is dat de zoetwaterlens met een significante omvang zich op enige afstand ten zuiden van het plangebied bevindt.

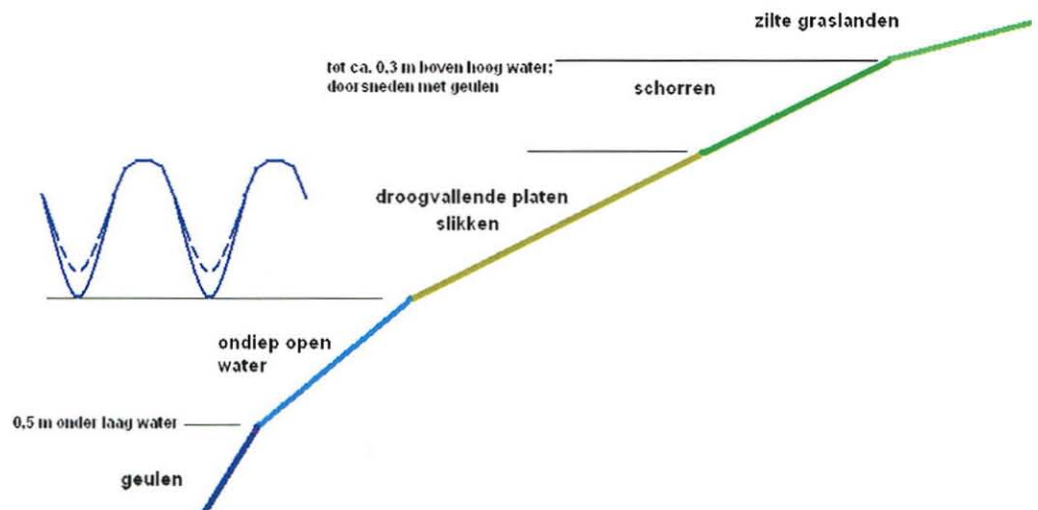


Figuur 2.6: Zoetwaterlenzen

In een zout milieu zijn nutriënten ondergeschikt. Het zout is dominant, dit voorkomt algengroei e.d. Wanneer zoete natuur wordt nagestreefd, kunnen nutriënten wel van belang zijn. Gezien de kleiïge deklaag kan echter worden verwacht dat de nutriënten in de hele deklaag aanwezig zijn.

## 2.4 Natuurdoeltypen

In het schetsontwerp zijn verschillende natuurdoeltypen opgenomen. Voor deze natuurdoeltypen is een globale variatie van de waterstand in de tijd c.q. overstromingsfrequentie wenselijk. In figuur 2.7 zijn de abiotische randvoorwaarden<sup>4</sup> grafisch weergegeven.



Figuur 2.7: Natuurdoeltypen en gewenste waterdiepte/overstromingsfrequentie

In dit plangebied wordt de grootste natuurwaarde bereikt met de slikken en droogvallende platen. Door een flauwer of steiler talud toe te passen kan bij een bepaalde getijdenslag de gewenste oppervlakte aan slikken en droogvallende platen worden bereikt. Bijvoorbeeld: bij een getijdenslag van 1 m valt bij een talud 1:20 een breedte van 20 m in de zone met slikken; bij een talud 1:50 is dit 50 m. Hier volgt ook uit dat bij een kleine getijdenslag de slikken vrijwel volledig vlak komen te liggen wanneer toch enige oppervlakte bereikt moet worden. De aanslibbing en het hiermee samenhangende beheer en onderhoud is dan relatief groot. Dit leidt tot de aanbeveling om een minimale getijdenslag in de orde van 50 cm aan te houden.

Juist boven de slikken en droogvallende platen liggen schorren en zilte graslanden. Deze bieden onder meer broedgelegenheid voor vogels. De schorren en zilte graslanden kunnen op twee manieren van zout water worden voorzien:

- het doorsnijden van deze gebieden met een ondiep geulen- en krekensysteem, zodat het zoute water overal kan komen;
- het periodiek toelaten van hogere waterpeilen in het getijdengebied, waardoor de schorren en zilte graslanden overstroomd worden.

4. Telefonische toelichting op 10 april 2006 van dhr. G.J. Buth, Zeeuwsch Landschap en toelichting tijdens voortgangsoverleg 9 mei 2006 van dhr. J. Beijersbergen, provincie Zeeland

Het open water is enerzijds nodig om het zoute water in het plangebied te krijgen. Daarnaast biedt het een habitat voor vissoorten en visetende vogels. Het diepere water kan duikende vogels aantrekken (visdief, middelste zaagbek, aalscholver). In het ondiepe water zullen lopend jagende viseters, zoals reigerachtigen en lepelaars, foerageren.

De verhouding tussen deze habitats was bij het schetsontwerp: ca. 25% open water, ca. 45% slikken en droogvallende platen, en ca. 30% schorren en zilte graslanden. Bij de alternatieven Natuurlijk en Aangepast die in de m.e.r. zijn ontwikkeld, is een iets andere verhouding gehanteerd: ca. 20% open water, ca. 50% slikken en droogvallende platen en ca. 30% schorren. Voor de 'eindsituatie' is een verhouding tussen slikken en schorren gewenst die juist eerder omgekeerd is: ca. 30% slikken en 50% schorren. Omdat verwacht wordt dat in het getijdengebied in hoofdzaak sedimentatie op zal treden, wordt bij de aanleg uitgegaan van een groter aandeel slikken. In de loop van de tijd zal de verhouding vanzelf wijzigen. Het benodigde onderhoud wordt hierdoor iets beperkter. Bij het alternatief Gevarieerd is een kleinere oppervlakte open water aangehouden. Verder is een iets groter aandeel schorren opgenomen.

Voor zoete natuur kan worden gedacht aan een rietmoeras, of aan gras- en hooilanden. Een rietmoeras is een zoet systeem met riet, dat kan grenzen aan de droogvallende platen met zeebies. De overgang in plantensoorten wordt hiermee ook mooier. Een rietmoeras heeft een ondiepe grondwaterstand, ca. 10-20 cm onder maaiveld. Gras- en hooilanden hebben een grondwaterstand van enkele decimeters (30-60 cm) onder het maaiveld. Bij zoete natuur vormt het zoutgehalte geen beperkende factor meer. Door de te verwachten hogere nutriëntengehalten bestaat het risico van verzuuring. Doordat de nutriënten in de hele deklaag (enkele meters dik) aanwezig zijn, heeft afgraven van een bouwvoor o.i.d. geen zin. Om ongewenste verzuuring te voorkomen, moet dit met het beheer worden aangepakt, bijvoorbeeld begrazen en/of maaien. Ook middels het peilbeheer kan de verzuuring worden beïnvloed.



*Getijdenkreek geflankeerd door schorbegroeiingen*

### 3 Alternatieven

Voor de gebiedsontwikkeling en kustversterking Waterdunen zijn vier alternatieven in de m.e.r. ontwikkeld, te weten:

1. Natuurlijk Waterdunen (tevens MMA)
2. Aangepast Waterdunen
3. Gevarieerd Waterdunen
4. Veilig zonder Waterdunen (nul-plus alternatief)

Voor het onderzoek Inlaatduiker Waterdunen is daarnaast het schetsontwerp van Arcadis en H+N+S meegenomen. Het alternatief combineert kustversterking en gebiedsontwikkeling (natuur en recreatie). Dit alternatief is in de m.e.r. niet verder beschouwd. In het voorliggende onderzoek is het schetsontwerp vooral gebruikt om 'vingeroefeningen' uit te voeren en daarmee de mogelijkheden en onmogelijkheden van het systeem te bepalen.



Figuur 3.1: Schetsontwerp

Voor de estuariene natuur geldt het uitgangspunt GGG: Gecontroleerd en Gereduceerd Getij. Door een peilregulering door te voeren, wordt het getij van de zee (dagelijkse fluctuatie tussen ca. NAP -1 en +1 bij dood tij en tussen NAP -2,5 en +2,75 bij springtij) zowel gecontroleerd als gereduceerd.

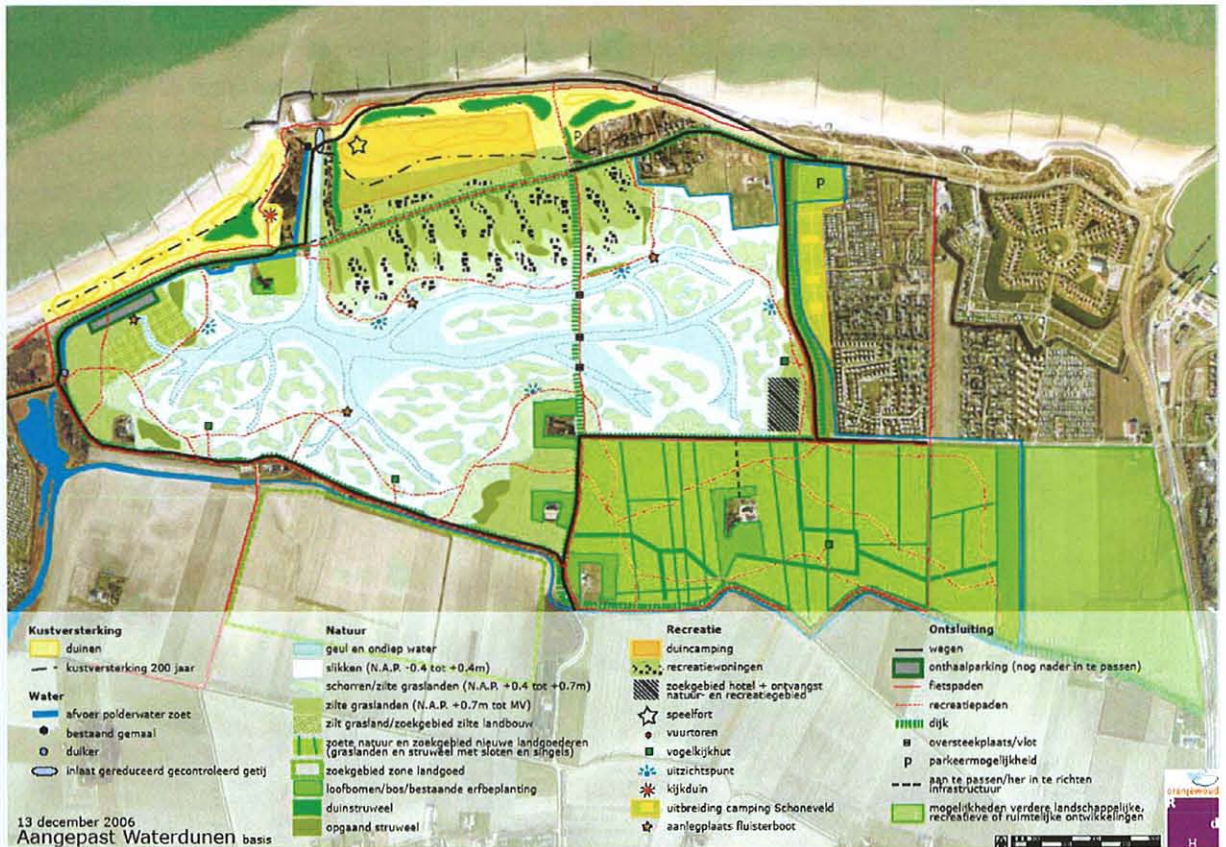
Uit de uitgevoerde hydraulische berekeningen blijkt dat een maximale getijdenslag in de orde van 1,0 à 1,5 m technisch gezien mogelijk is. Een verdere reductie van het buitengetij is uiteraard ook mogelijk. Bij de verschillende alternatieven wordt naar een verschillende reductie gestreefd.

**Natuurlijk Waterdunen** is een combinatie van kustversterking en gebiedsontwikkeling waarin de ecologische, landschappelijke en recreatieve ambities van Waterdunen maximaal, robuust en optimaal gecombineerd en ontwikkeld zijn. Uit ecologisch oogpunt is een getijdenslag van 70 à 80 cm wenselijk. Om tevens ruimte te bieden voor de verwachte zeespiegelstijging in de komende 50 jaar, wordt de getijdenslag nu vergroot met deze ruimte: ca. 30 cm. Dit betekent een totaal gewenste getijdenslag van circa 100 à 110 cm. De verversing is bij dit alternatief optimaal, omdat er een aparte inlaat- en uitlaatduiker is.



Figuur 3.2: Natuurlijk Waterdunen

**Aangepast Waterdunen** is een combinatie van kustversterking en gebiedsontwikkeling waarin de ecologische, landschappelijke en recreatieve ambities van Waterdunen worden gerealiseerd, rekening houdend met een aantal aanvullende omgevingswensen en kostenbepalingen. In dit alternatief stroomt het water door 1 duiker in en uit. Om een voldoende verversing van water in het gehele getijdengebied te houden, is het getijdengebied kleiner gemaakt. Uit ecologisch oogpunt is het ook in dit alternatief gewenst een getijdenslag van 70 à 80 cm te halen. Bij dit alternatief wordt nog niet vooruit gelopen op een zeespiegelstijging. Mogelijk houdt de ligging van slikken en platen door de aanslibbing gelijke tred met de zeespiegelstijging, waardoor kan worden volstaan met het verhogen van het gemiddelde peil.



Figuur 3.3: Aangepast Waterdunen

### Gevarieerd Waterdunen

In dit alternatief is een grotere variatie aan functies ingebracht. Dit betekent dat de oppervlakteverdeling ten opzichte van Natuurlijk anders is. Concreet is er een kleiner oppervlak aan open water en slikken/droogvallende platen en een groter oppervlak aan schorren en zilte graslanden. Tevens is zoete natuur in het gebied opgenomen. In het alternatief Gevarieerd stroomt het water door 1 duiker in en uit. Voor de getijdenslag wordt in eerste instantie uitgegaan van het 'absolute minimum'. Op basis van het schetsontwerp van Arcadis en H+N+S wordt hierbij gedacht aan 30 cm. De mogelijkheid bestaat dat bij deze getijdenslag een te geringe verversing van het water ontstaat. Dit kan tot kwaliteitsproblemen en tot stank leiden.

Uit de berekeningen is gebleken dat de verversing bij deze getijdenslag beduidend kleiner is dan bij de beide andere alternatieven. Daarom is aanvullend een berekening uitgevoerd met een getijdenslag van 50 à 60 cm. In het overleg van de projectgroep Waterdunen van 7 juli 2006 is besloten om met deze variant alleen met een getijdenslag van 50 à 60 cm verder te gaan. In deze rapportage zijn wel beide varianten toegelicht.



Figuur 3.4: Gevarieerd Waterdunen

**Veilig zonder Waterdunen** is het realiseren van de kustversterking zonder dat de beoogde gebiedsontwikkeling Waterdunen plaatsvindt.

Voor het onderzoek Inlaatduiker Waterdunen zijn alleen de eerste drie alternatieven van belang. Bij het laatste alternatief is niet in getijdennatuur voorzien. In de onderstaande tabel zijn de verschillen in ontwerpuitgangspunten weergegeven die voor het onderzoek Inlaatduiker relevant zijn.

Tabel 3.1: Ontwerpuitgangspunten alternatieven

Alternatief	Oppervlakte zoute natuur (geulen en ondiep water, slikken, schorren en zilte graslanden)	Oppervlakte zoete natuur	Aantal duikers	Getijslag (m)
Schetsontwerp	ca. 165	verwaarloosbaar, wel 85 ha duinen	1	'vinger-oefeningen'
Natuurlijk Waterdunen	ca. 250 ha	verwaarloosbaar	2	1,0 à 1,1 m
Aangepast Waterdunen	ca. 185 ha	ca. 65 ha	1	0,7 à 0,8 m
Gevarieerd Waterdunen	ca. 185 ha	ca. 65 ha	1	a. 0,3 m b. 0,5 à 0,6 m
Veilig zonder Waterdunen	niet van toepassing			

## 4 Hydraulische aspecten

### 4.1 Aanpak

In de eerste fase van de hydraulische modellering is de invloed van ontwerpparameters inzichtelijk gemaakt. Het schetsontwerp is hierbij als uitgangspunt genomen. Het doel van deze eerste fase was:

- inzicht krijgen in de werking van het getijdengebied
- onderzoek naar de parameters, die een rol spelen bij de realisatie van de ontwerpdoelen (getijdenslag én waterstand binnen) en hoe deze parameters het ontwerp beïnvloeden.

Hiermee zijn ontwerpkeuzen gemaakt voor de verdere uitwerking van de verschillende alternatieven. Dit betreft bijvoorbeeld de benodigde afmetingen en diepteligging van de duiker en de te realiseren getijdenslag.

In de vervolgfase is tevens inzicht gekregen in de verversing van het water en de zoutgehalten.

#### Rekenmethode

Voor het maken van de berekeningen is het 1D model Sobek versie 2.09.003 gebruikt. In Sobek zijn het geulenstelsel en de schorren en slikken geschematiseerd. De dwarsprofielen (verhouding open water, slikken en schorren) zijn in eerste instantie gebaseerd op het schetsontwerp. Hierbij is er vooral gelet op het totale oppervlak en bergende vermogen van het watersysteem.

### 4.2 Keuze ontwerpparameters

Gedurende de looptijd van het project zijn er verschillende keuzen gemaakt met betrekking tot het ontwerp van de in- en uitlaatduiker en het getijdengebied. Dit houdt in dat een aantal uitgangspunten die in het begin van het project zijn aangenomen zijn gewijzigd. De wijzigingen zijn gemaakt op basis van de tussentijdse resultaten van de modellering die in twee ontwerp sessies voor de alternatieven van de m.e.r. zijn gepresenteerd. Omdat de wensen en doelen in eerste instantie niet gehaald werden, is het ontwerp geoptimaliseerd. In deze paragraaf is het proces van de optimalisatie weergegeven.

#### Analyse ontwerpparameters

In de eerste berekeningen is onderzocht welke parameters invloed hebben op de hydraulische werking van het watersysteem van Waterdunen. Het in- en uitstroomvolume per getijdenperiode door de duiker wordt voornamelijk beïnvloed door de hoogteligging van de onderkant van de duiker (drempelhoogte) en het doorstroomoppervlak van de duiker. Daarnaast spelen ook nog de wandruwheid en het in- en uittreeverlies een rol maar deze hebben een relatief geringe invloed.

### *Drempelhoogte duiker*

De drempelhoogte van de duiker heeft grote invloed op het uitstroomdebiet. Hierbij spelen twee aspecten een rol:

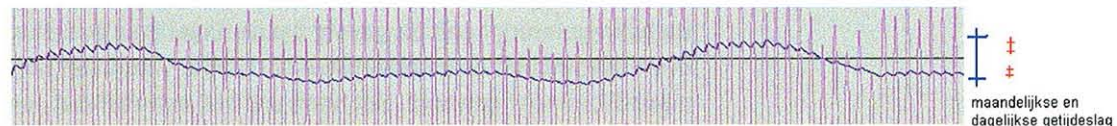
1. De drempelhoogte bepaalt het waterspiegelverhang in het getijdengebied bij uitstroom (eb). Een hoge drempel stuwt het water op waardoor het uitstroomverhang relatief gering is. Dit resulteert in lagere stroomsnelheden. Doordat de duiker de getijdenslag dempt wordt de maximale binnenwaterstand veel lager dan de maximale buitenwaterstand. In geval van instromend water (vloed) wordt het verhang over de duiker voornamelijk bepaald door de hoogwaterstand buiten (ca. NAP + 3 m). Hierdoor treedt er een groter verhang op dan bij uitstroom wat resulteert in hogere snelheden (en dus een groter instroomvolume).
2. In het geval van een hoge drempel wordt bij uitstroom ook slechts een gedeelte van het totaal beschikbare doorstroomoppervlak van de duiker benut. De duiker fungeert feitelijk als open waterloop. Bij de instroom speelt dit veel minder daar de buitenwaterstand veel hoger komt dan de binnenwaterstand.

### *Doorstroomoppervlak*

Het doorstroomoppervlak van de duiker is direct gerelateerd aan het in- en uitstroomvolume. Daarmee bepaalt het doorstroomoppervlak ook direct de demping van de getijdenslag en de grote van de variatie van de waterstand in Waterdunen.

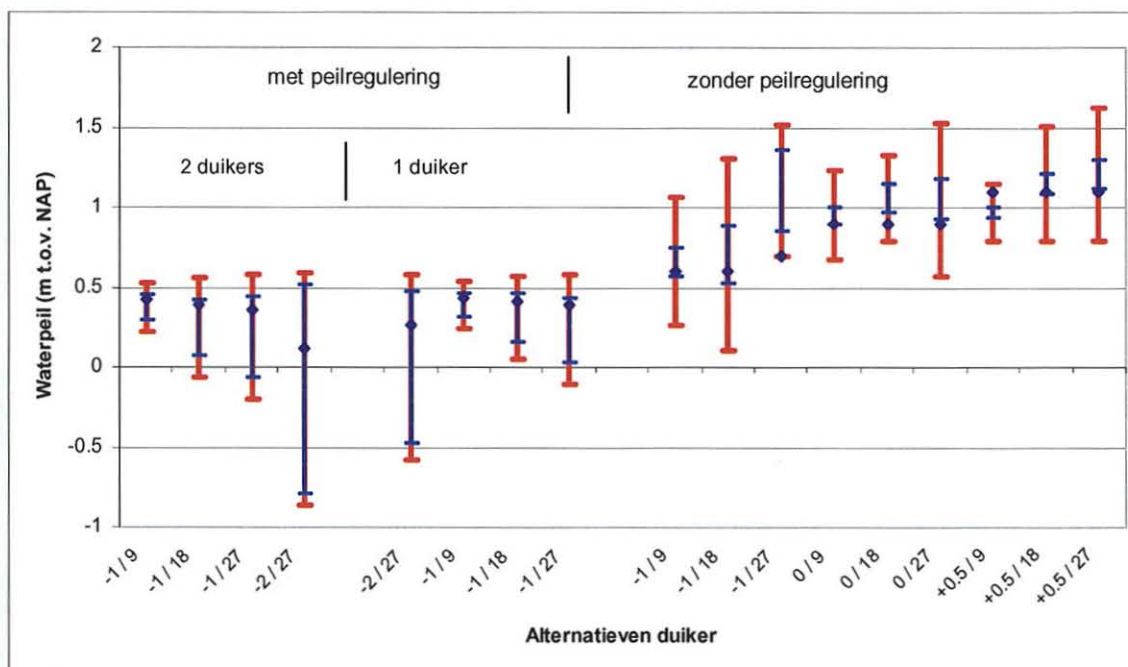
### **Regulering waterstanden**

Uit de eerste berekeningen bleek dat de dagelijkse getijdenslag relatief klein is ten opzichte van de maandelijkse fluctuatie (zie figuur 4.1). Dit houdt in dat door een maand een wisselend deel van het gebied dagelijks droogvalt en onder water komt. Bovendien gaat het door het grote verschil tussen de dagelijkse getijdenslag en de maandelijkse fluctuatie om ongeveer een kwart van het hele slikkengebied. Om deze reden is een strakkere sturing gewenst. Hierbij is wel een 'zo groot mogelijke' dagelijkse getijdenslag gewenst. Zoals hiervoor bij de toelichting op de alternatieven al is aangegeven, is vanuit ecologisch oogpunt een getijdenslag van 70 à 80 cm gewenst.



*Figuur 4.1: Berekende getijdenslag zonder sturing*

Voor het schetsontwerp en het alternatief 'Natuurlijk' is gekeken in hoeverre een sturing van de maandelijkse getijdenslag mogelijk is. Het aanbrengen van een sluitmiddel in de duiker biedt hiervoor de oplossing. Bij een binnenwaterstand van NAP +0,5 meter in Waterdunen sluit de duiker zich. Dit voorkomt dat hoge pieken in het getij buitengaats doorzetten in Waterdunen. Wanneer het getij buitengaats vervolgens zakt tot NAP +0,5 meter dan zal de klep weer open gaan voor het leeglopen. Door het waterpeil te reguleren wordt de gemiddelde waterstand lager. In figuur 4.2 zijn de berekende waterstanden van de verschillende varianten en alternatieven weergegeven. In bijlage 2 zijn de berekende waarden opgenomen.



Figuur 4.2: Dagelijkse getijdenslag (blauw) en maandelijkse fluctuatie (bruin) bij verschillende alternatieven (drempel t.o.v. NAP / oppervlakte)

#### Keuze ontwerpparameters

Uit de varianten blijkt dat een diepe ligging van de duiker het laagste gemiddelde waterpeil tot gevolg heeft. Gezien de belangen in en juist buiten het gebied, zowel ten aanzien van de bebouwing als landbouw, is een zo laag mogelijk gemiddeld peil wenselijk. Dit mede omdat het huidige polderpeil, NAP -0,6 m en -0,9 m beduidend lager ligt dan het te benaderen peil in het getijdengebied. De ondergrens voor de drempel ligt op eb van het buitenwater (ca. NAP -2,0 m).

De peilregulering heeft tot gevolg dat de dagelijkse getijdenslag in sterke mate overeenkomt met de maandelijkse fluctuatie. Vanuit het oogpunt van dynamiek is dit mogelijk minder gewenst. Het heeft wel het voordeel dat een vaste zone dagelijks onderstroomt en weer droogvalt. Zonder peilregulering staat een deel van het getijdengebied driekwart van de tijd onder water of juist droog.

Door de projectgroep en de stuurgroep Waterdunen is vastgesteld dat een peilregulering wenselijk is. Hierbij wordt zowel het bovenpeil gereguleerd als het onderpeil. De waterstanden in het getijdengebied fluctueren dus tussen vastgelegde waarden. Er is voor gekozen om het gemiddelde binnenpeil gelijk te houden aan het gemiddelde buitenpeil, ongeveer NAP.

Voor de duiker is uitgegaan van een doorstroomoppervlak van 27 m<sup>2</sup>, verdeeld over drie kokers van 3x3 m. Bij de peilregulering kan in principe ook met een kleinere oppervlakte worden volstaan, namelijk 2 kokers van 3x3 m. De mogelijkheid bestaat echter dat in de toekomst, bij voorbeeld in verband met de zeespiegelstijging of als onderhoudsmaatregel, het toch wenselijk is om (tijdelijk) een groter debiet in en uit te laten. Met deze afmetingen wordt een grotere flexibiliteit bereikt. In hoofdstuk 5 is verder ingegaan op de inlaatduiker.

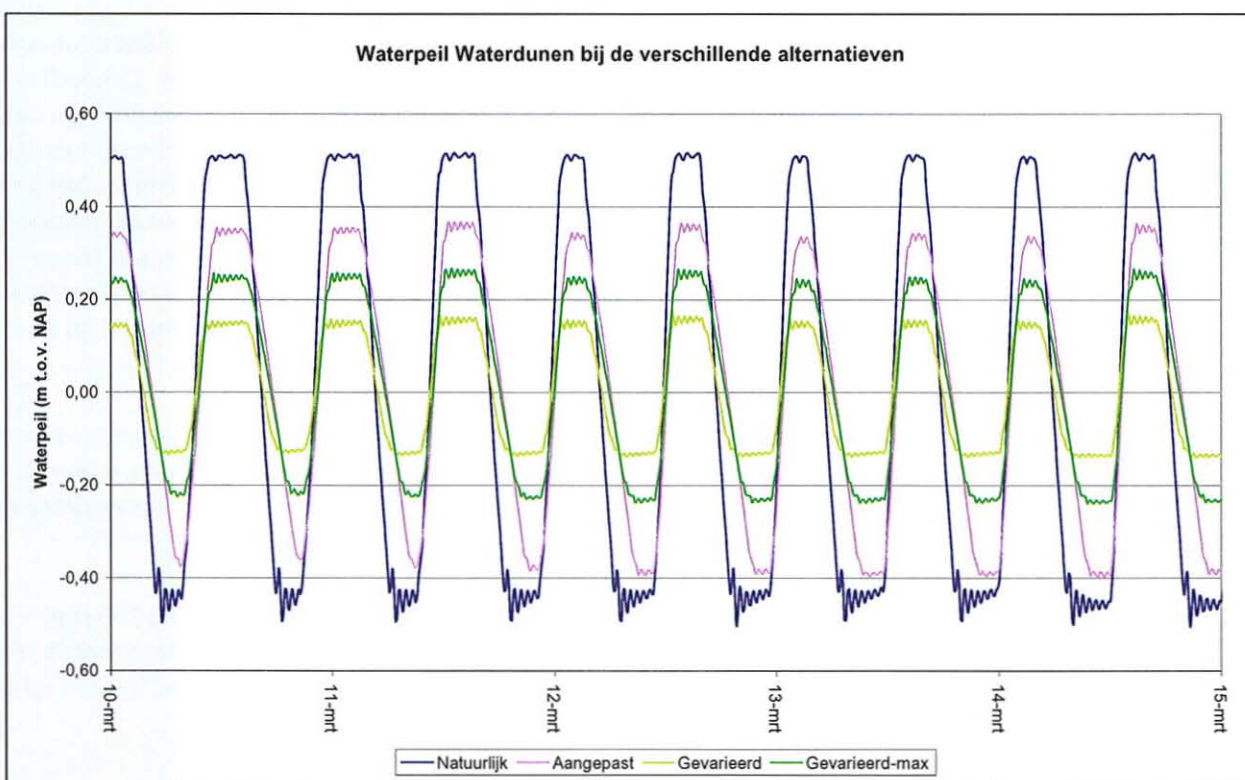
## 4.3 Eindresultaten berekende alternatieven

### 4.3.1 Waterpeilen

#### Normale situatie

Uit de ontwerp sessies en de overleggen met project- en stuurgroep zijn voor de verschillende alternatieven de gewenste getijdslagen gebleken. Middels een regulering (Gecontroleerd Gereduceerd Getij) is het mogelijk om de gewenste peilfluctuaties te bereiken.

In figuur 4.3 zijn de resultaten van de berekeningen met betrekking tot het waterpeil weergegeven. Hierbij is een willekeurige periode van enkele dagen weergegeven.



Figuur 4.3: Waterpeilverloop in Waterdunen gedurende enkele getijperiodes

#### Extreme situaties

Door de peilregulering is een extreme situatie niet van belang. Zodra het peil binnen Waterdunen boven de gestelde waarde komt, sluit de duiker zich. Dit is onafhankelijk van de oorzaak: springtij, een 'normale' vloed of een stormvloed.

#### Zeespiegelstijging

Op basis van de huidige inzichten moet rekening worden gehouden met een stijging van de zeespiegel met ca. 0,65 m in 100 jaar, de levensduur van de inlaatduiker. Voor een periode van 200 jaar, de planperiode van de kustversterking, geldt zelfs een verwachte zeespiegelstijging van 1,7 m.

In tabel 4.1 is de fluctuatie van de zee in de huidige situatie, over 100 jaar en over 200 jaar opgenomen.

Tabel 4.1: Fluctuatie zeeniveau

	Huidige situatie	over 50 jaar	over 100 jaar	over 200 jaar
Dood tij eb	NAP -0,85 m	NAP -0,55 m	NAP -0,20 m	NAP +0,85 m
Dood tij vloed	NAP +1,20 m	NAP +1,50 m	NAP +1,85 m	NAP +2,90 m
Gemiddeld tij eb	NAP -2,10 m	NAP -1,80 m	NAP -1,45 m	NAP -0,40 m
Gemiddeld tij vloed	NAP +1,85 m	NAP +2,15 m	NAP +2,50 m	NAP +3,55 m
Spring tij eb	NAP -2,10 m	NAP -1,80 m	NAP -1,45 m	NAP -0,40 m
Spring tij vloed	NAP +2,80 m	NAP +3,10 m	NAP +3,45 m	NAP +4,50 m

Over 50 jaar ligt het hoogste ebniveau (dood tij) juist op het laagste minimumpeil in het getijdengebied (Natuurlijk Waterdunen, NAP -0,55 m). Bij de andere varianten ligt het minimumpeil in het getijdengebied nog iets hoger (NAP -0,4 en -0,3 m). Dit houdt in dat bij dood tij, dus enkele dagen per maand, er bij eb nog maar weinig uitstroom op zal treden. Over het algemeen wordt de in- en uitlaat nog niet sterk beïnvloed.

Bij de situatie over 100 jaar ligt het ebniveau bij dood tij hoger dan het gewenste minimumpeil in het getijdengebied (tussen NAP -0,55 m en -0,3 m). Dit houdt in dat er dan gedurende enkele dagen geen uitstroom optreedt. Het grootste deel van de tijd ligt het ebniveau wel ruimschoots lager dan de gewenste minimumpeilen. Er kan dan een goede uitstroom optreden. De hogere waterstanden bij vloed hebben relatief grote stroomsnelheden tot gevolg. Het gebied wordt daardoor sneller gevuld, waardoor de duiker korter open zal staan. De grotere stroomsnelheden leiden er ook toe dat een ruime dimensionering van de inlaatduiker zelf (doorstroomoppervlak) wenselijk is. Wanneer stroomsnelheden van meerdere meters per seconde op zouden treden, kan de waterstroming schade veroorzaken aan het beton.

De situatie over 200 jaar wijzigt sterk ten opzichte van de huidige situatie. Bij gemiddeld tij en springtij wordt een ebniveau verwacht dat rond het nu gewenste minimale waterpeil ligt. Dit zal inhouden dat de uitstroomperiode relatief lang zal zijn ten opzichte van de instroomperiode.

Een mogelijkheid is wellicht om te zijner tijd (over bijvoorbeeld 50 à 100 jaar) bij een vervanging van de huidige bebouwing deze hoger terug te plaatsen, zodat op termijn een hoger gemiddeld peil ingesteld kan worden. Dit zal dan ook invloed hebben op de hoogteligging van de slikken en schorren.

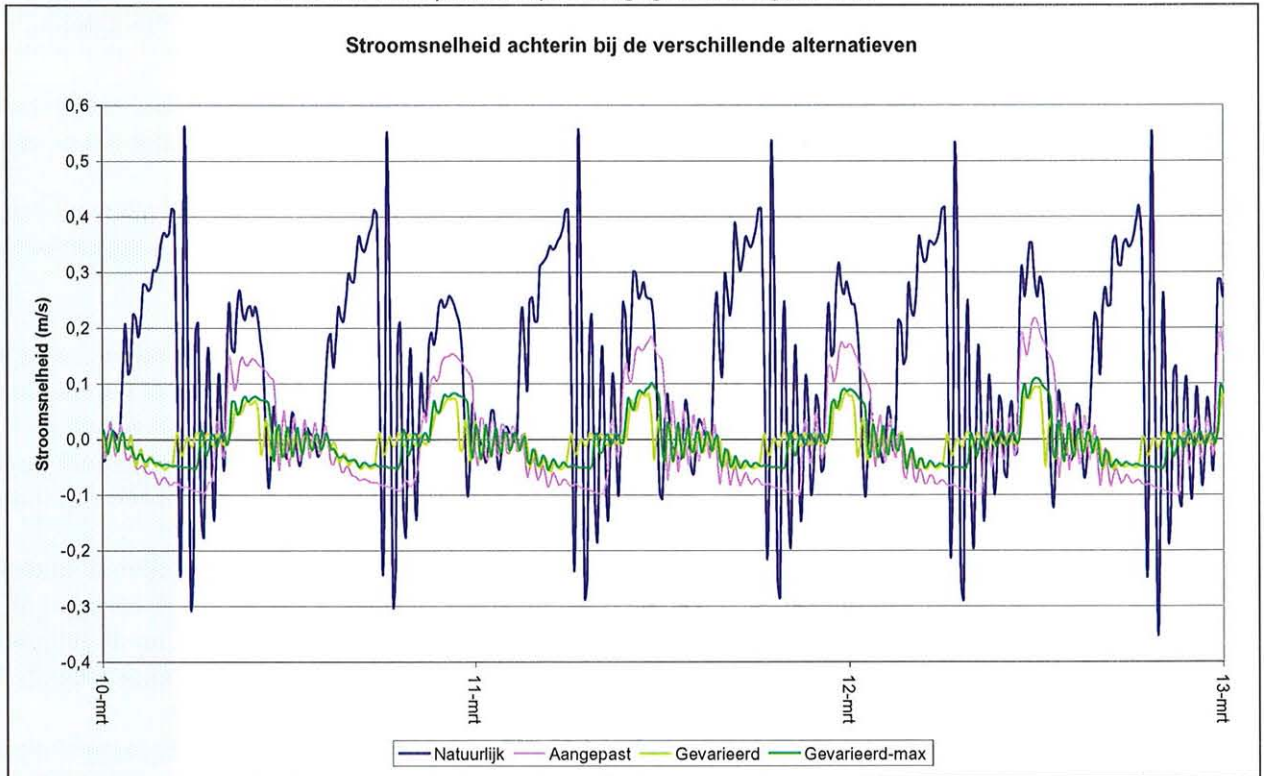
#### 4.4 Verversing en zoutgehalte

Verversing van het water in Waterdunen is een belangrijke factor voor het functioneren van het ecosysteem. Het verversen betekent niet alleen dat het zoutgehalte voldoende hoog is, maar ook dat er voldoende voedingsstoffen en zuurstof in het systeem aanwezig zijn, en dat er niet een te grote opwarming van het water is. Een goede verversing is noodzakelijk om stank van de slikken en droogvallende platen te voorkomen.

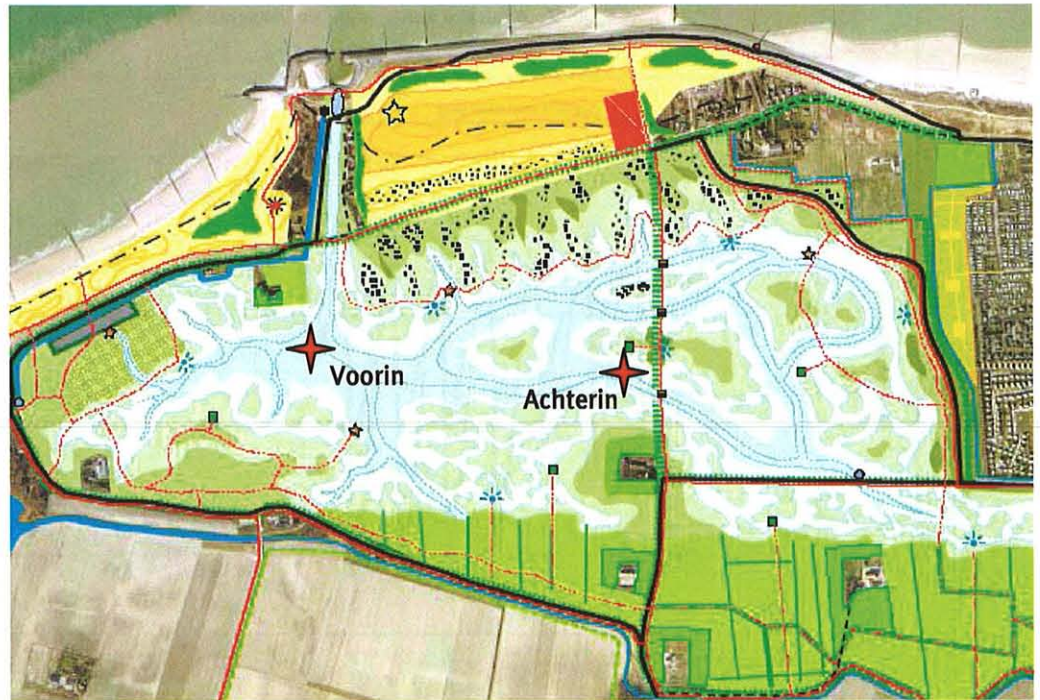
De verversing is afhankelijk van de optredende stroomsnelheden en het in- en uitkomend debiet. In deze gereguleerde uitwerkingen is het instromende debiet ongeveer gelijk aan het uitstromende hoeveelheid water. In figuur 4.4 zijn de stroomsnelheden achterin het getijdengebied weergegeven. Bij Natuurlijk is bij afgaand tij een relatief sterke variatie in de stroomsnelheid zichtbaar. Dat wordt veroorzaakt door een naijleffect bij het openen en sluiten van de uitlaatduiker. De duiker sluit wanneer binnen een peil van NAP -0,45 m is bereikt. Door het sluiten treedt bij het inregelpunt een opstuwings op, waardoor de duiker

weer opengaat. In de praktijk is dit effect te voorkomen door een juiste plaatsing van het inregelpunt.

De berekende watervolumes die per getijdenslag het gebied in en uitgaan zijn in tabel 4.2 weergegeven op twee locaties, achter de getijdenduiker ('voorin') en 'achterin'. De globale locaties van deze punten zijn weergegeven in figuur 4.5.



Figuur 4.4: Stroomsnelheid achterin



Figuur 4.5: Globale locatie meetpunten

**Tabel 4.2: Berekende verversing per getijdenslag**

Alternatief	Verversing voorin	Verversing achterin
Natuurlijk Waterdunen	ca. 300.000 m <sup>3</sup>	ca. 300.000 m <sup>3</sup>
Aangepast Waterdunen	ca. 300.000 m <sup>3</sup>	ca. 75.000 m <sup>3</sup>
Gevarieerd met getijslag 30cm	ca. 100.000 m <sup>3</sup>	ca. 40.000 m <sup>3</sup>
Gevarieerd met getijslag 50cm	ca. 200.000 m <sup>3</sup>	ca. 60.000 m <sup>3</sup>

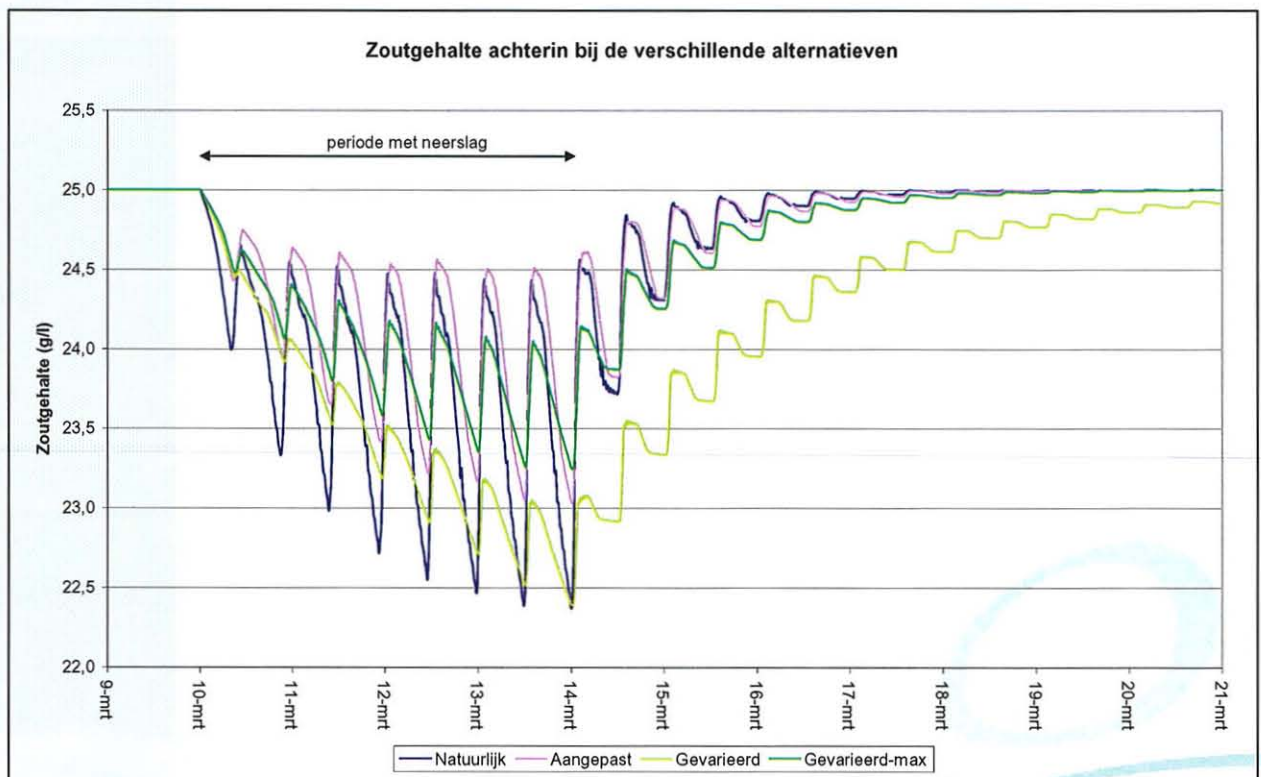
De verschillen tussen de alternatieven in de verversing worden vooral veroorzaakt door de verschillen in getijdenslag. Op dit punt is de instroom ongeveer gelijk aan de oppervlakte open water en slikken, vermenigvuldigd met de getijdenslag.

Een belangrijk verschil tussen Natuurlijk Waterdunen en de andere alternatieven, is de aparte uitlaatduiker bij de eerste. Deze heeft tot gevolg dat achterin het gebied dezelfde verversing optreedt als voorin.

De verversing is ook af te lezen uit het herstel van het zoutgehalte na een zware regenbui. Bij een bui van 106 mm in 4 dagen (bui met kans 1x/100 jaar) neemt het chloridegehalte tijdelijk iets af (zie figuur 4.6). Tijdens een vloedperiode herstelt het gehalte zich ten dele. Na afloop van de regenbui is er in enkele dagen een volledig herstel. In deze periode is het oorspronkelijk aanwezige water achterin het gebied dus geheel vervangen door vers aangevoerd water.

Voor de alternatieven Natuurlijk en Aangepast is na 4 getijdenperioden (2 dagen) vrijwel volledig herstel opgetreden. Bij Gevarieerd met een getijslag van 30 cm duurt dit beduidend langer, ongeveer 10 getijdenperioden (5 dagen). Wanneer de getijslag wordt vergroot tot 50 à 60 cm neemt de herstelperiode af tot ca. 5 getijdenperioden (2,5 dagen).

Een goede verversing is noodzakelijk om stank van de slikken en droogvallende platen te voorkomen. Om deze reden wordt aanbevolen de variant met een getijdenslag van 30 cm niet verder mee te nemen, maar naar een minimale getijdenslag van 50 à 60 cm te gaan.



**Figuur 4.6: Verloop van het chloridegehalte onder invloed van een regenbui**

Uit de figuur blijkt tevens dat het gehalte chloride door de bui hooguit enkele grammen per liter daalt, van 25 g/l naar 22,5 g/l. Dit gehalte ligt ruimschoots boven het gehalte die voor de zoute natuur vereist is (minimaal ca. 13 g/l).

Hierbij wordt opgemerkt dat in de berekeningen vanuit wordt gegaan dat zout water wordt ingenomen. Het gemaal van het hele peilgebied komt uit in hetzelfde haventje waar de inlaatduiker ligt. De mogelijkheid bestaat dat bij zware neerslag relatief veel van het uitgemalen (zoete) water wordt ingenomen, in plaats van zeewater. Uit nader onderzoek moet blijken of dit een probleem kan worden voor het zoutgehalte. Als dit het geval blijkt te zijn, kan onderzocht worden of een aanpassing van de inname wenselijk is.

Bij het schetsontwerp en bij Gevarieerd is sprake van een 'lus' in de geulen. Omdat bij opkomend water door beide geulen water wordt aangevoerd, en bij afgaand water in beide geulen een afvoer is, werkt het systeem echter niet structureel anders dan bij doodlopende geulen.

Ook bij een voldoende grote verversing in het grootste deel van het gebied, blijft onverlet dat de verversing in lange doodlopende stukken relatief klein zal zijn. Door de lengte van geulen zo beperkt mogelijk te houden, worden ongewenste effecten beperkt. Bij relatief grote geulafmetingen is de gevoeligheid voor neerslag (en daarmee een daling van het zoutgehalte) beperkter. De verversing zal echter relatief kleiner zijn dan wanneer nauwelijks een geul wordt toegepast. Aanbevolen wordt in een meer gedetailleerde modellering te onderzoeken wat de meest ideale inrichting is.

#### 4.5 Erosie en sedimentatie

In een getijdengebied is er bij de overgang van eb naar vloed en omgekeerd altijd een situatie met stilstaand water, en de maximale stroomsnelheid kan zowel bij afgaand als opkomend tij voorkomen. Door de plaatsing van de inlaatduiker - op korte afstand van een diepe geul, en achter een haventje - wordt verwacht dat er relatief weinig sediment in het water aanwezig zal zijn. Wel zal het zeewater slibhoudend zijn. Middels een zandvang is dit nauwelijks te verwijderen, zodat rekening moet worden gehouden met een aanslibbing. In tegenstelling tot bij een natuurlijk getijdengebied zal de sedimentatie bij Waterdunen daardoor vooral uit slib bestaan, en nauwelijks uit zand.

Op enige afstand achter de inlaatduiker liggen de stroomsnelheden bij de verschillende alternatieven in dezelfde orde van grootte, op maximaal 0,6 à 0,9 m/s. Dit houdt in dat hier rekening moet worden gehouden met mogelijke erosie.

Wat verder achterin het gebied zijn er wel duidelijke verschillen. De stroomsnelheden op deze locatie zijn in de vorige paragraaf al weergegeven in figuur 4.4. In tabel 4.3 zijn de stroomsnelheden samengevat en vertaald in een risico op sedimentatie / erosie.

Tabel 4.3: Maximale stroomsnelheid en conclusie sedimentatie / erosie

Alternatief	Achterin	Sedimentatie / erosie
Natuurlijk Waterdunen	0,4 - 0,6 m/s	Neergeslagen slib kan opgenomen worden
Aangepast Waterdunen	0,15 m/s	sedimentatie
Gevarieerd met getijslag 30cm	< 0,1 m/s	sedimentatie
Gevarieerd met getijslag 50cm	< 0,1 m/s	sedimentatie

Bij de beide alternatieven met één in- en uitlaatduiker zijn de maximale stroomsnelheden achterin het gebied zo laag, dat aangeslibd materiaal niet meer opgenomen wordt. Bij het alternatief Natuurlijk, met 2 duikers, is het mogelijk dat aangeslibd materiaal weer wegerodeert. De berekende stroomsnelheden liggend in de watergeul. Uit de theorie volgt dat op de slikken vooral berging plaatsvindt, en nauwelijks stroming. De stroomsnelheid zal daar dus gering zijn. In de geulen zal daardoor minder netto aanslibbing zijn, waardoor het onderhoud hier ook beperkter is. Op de slikken zelf zal zeker sedimentatie optreden, omdat de stroomsnelheden hier ook bij afgaand en opkomend tij beperkt zijn. Overigens is bij de oppervlakten slikken/droogvallende platen en schorren/zilte graslanden rekening gehouden met aanslibbing. Bij alle alternatieven wordt een relatief grote oppervlakte slikken aangelegd, die in de loop van de tijd 'vanzelf' schorren worden.

Onderhoud van slikken en schorren - in de zin van het verwijderen van aangeslibd sediment - is in de praktijk nauwelijks realiseerbaar. Het afgraven van het bovenste laagje is nauwelijks uitvoerbaar, en heeft bovendien een grote verstoring van het bodemleven en de aanwezige planten tot gevolg. Wel kunnen de geulen periodiek gebaggerd worden. Of dit zal leiden tot het 'afkalven' van de slikken en schorren en daarmee tot de gewenste maaiveldverlaging, is echter niet zeker.

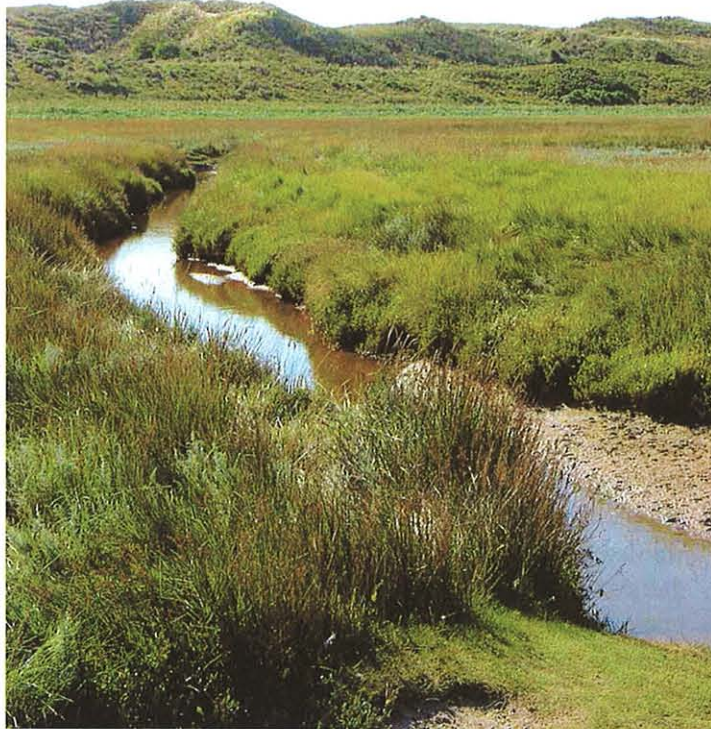
Om meer inzicht te krijgen in de sedimentatie en erosie en daarmee op het benodigde onderhoud, is de toepassing van een 3D-model absoluut noodzakelijk.

#### 4.6 Aanbeveling 3D-berekeningen

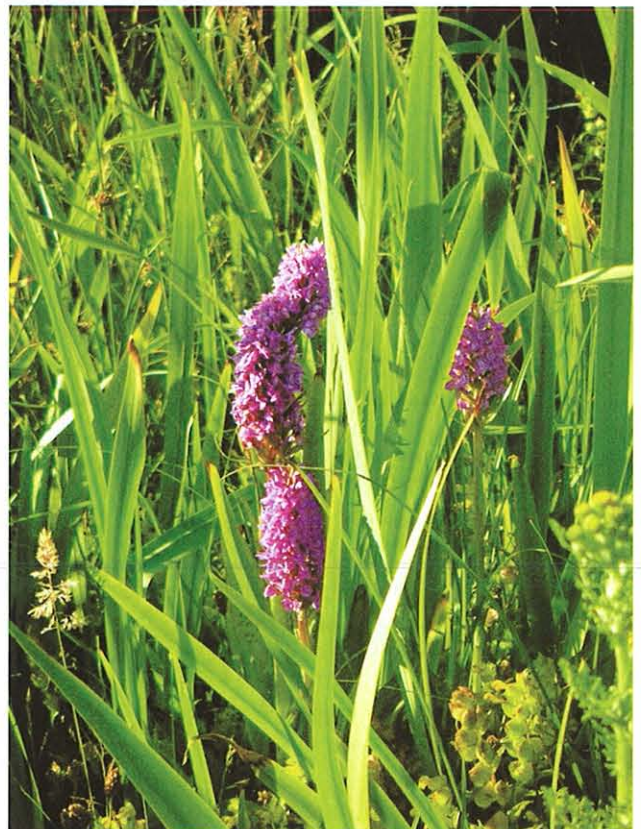
De nu uitgevoerde berekeningen zijn met een 1-dimensionaal model gemaakt. Deze aanpak heeft als voordeel dat snel verschillende alternatieven kunnen worden vergeleken.

Als een keuze is gemaakt voor één van de alternatieven is het aan te bevelen dit alternatief op te nemen in een 3D-modellering. Hiermee kan ook in de "breedte" inzicht worden verkregen in onder andere het sedimentatie en erosie proces, en daarmee op het benodigde onderhoud. De inrichting van het gebied kan daarmee fijn worden afgeregeld. Het gaat immers om decimeters, zo niet centimeters, zowel voor de inrichting van het gebied zelf als bij de effecten in de omgeving. De gewenste nauwkeurigheid ligt ver buiten de nauwkeurigheidstoleranties van een 1-dimensionaal model.

Ook de eventuele invloed van een aparte uitlaatduiker op de kustmorfologie is hiermee eveneens in beeld te brengen.



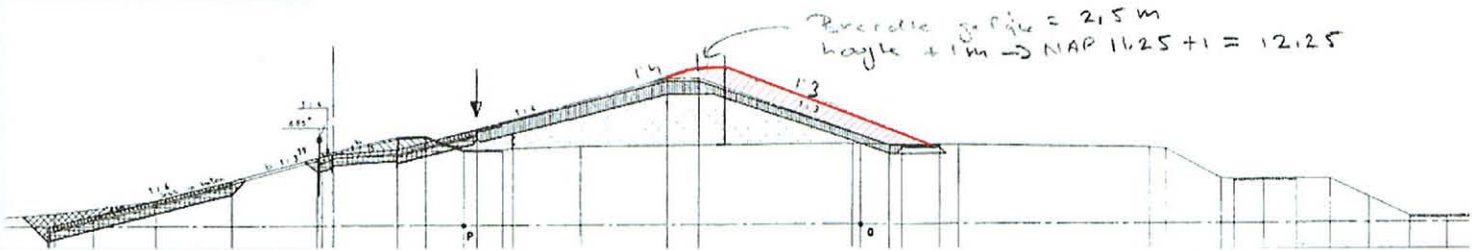
*Kreek in schorren en zilte graslanden*



*Orchis (zoete natuur)*



De duiker wordt geplaatst in het haventje. Hierdoor zal minder sediment worden meegevoerd dan bij plaatsing elders. De duiker kruist hierbij de primaire waterkering (huidige dijk). In het Kustversterkingsplan blijft hier een dijk aanwezig in verband met de inpassing van de inlaatduiker en het gemaal. De dijk zal voor de kustversterking met ca. 1,0 m verhoogd worden. Omdat de dijk in de huidige situatie breder is dan eigenlijk noodzakelijk, blijkt een verdere verbreding niet noodzakelijk. In figuur 5.2 is dit schematisch weergegeven. De lengte van de duiker is dus gelijk aan de lengte die in de huidige situatie nodig is.



Figuur 5.2: Aanpassing dijk bij inlaatduiker



Haventje bij Nieuwe Sluis

Door de verhoging van de dijk zijn mogelijk wel aanpassingen aan het gemaal Nieuwe Sluis nodig. In ieder geval moet de oprit worden aangepast. Daarnaast moet uit een herberekening van de bestaande persleidingen van het gemaal Nieuwe Sluis blijken of deze aangepast moeten worden. Ook moet worden onderzocht of het vacuümgebouw van het gemaal moet worden aangepast. Deze wijzigingen gaan te ver voor de onderhavige studie.



*Gemaal Nieuwe Sluis*

Bij het schetsontwerp, het alternatief Aangepast en het alternatief Gevarieerd wordt één in- en uitlaatduiker geplaatst. De kosten hiervoor zijn geraamd op ca. € 3,2 mln.

Het alternatief Natuurlijk voorziet in een aparte inlaatduiker bij het haventje en een aparte uitlaatduiker bij 't Zandertje. Een duiker op deze locatie moet vanwege het strand een beduidend langere lengte hebben. Een open watergeul op het strand is niet wenselijk, omdat de stroomsnelheden bij het relatief beperkte doorstroomprofiel van de duiker zelf op meerdere meters per seconde zullen liggen. De veiligheid van bijvoorbeeld op het strand spelende kinderen zou daarmee in het geding komen. Om een beïnvloeding van de stroming tussen de strekdammen - en daarmee een erosie van de duinenrij - te voorkomen, eindigt de duiker aan het eind van de strekdam. De lengte van de duiker komt daarmee op ca. 400 m. De kosten van deze aparte uitlaatduiker zijn geraamd op € 7,8 mln. excl. BTW. De totale kosten voor de duikers bij het alternatief Natuurlijk zijn dus geraamd op € 11,0 mln.

Zoals in hoofdstuk 4 is aangegeven, is het in de huidige situatie mogelijk om een in- en uitlaatduiker met kleinere afmetingen toe te passen. In de beslisnotitie van 9 mei 2006 is gebleken dat een duiker met 2 kokers ongeveer 20% voordeliger is dan een duiker met 3 kokers.

In verband met de te verwachten stijging van de zeespiegel blijkt echter dat op termijn (over 50 à 100 jaar) het de voorkeur heeft om over een grotere doorstroomoppervlak te beschikken. Dit enerzijds om bij eb bij een klein verhang toch voldoende debiet uit te kunnen laten, en anderzijds zodat bij vloed de stroomsnelheden niet te ver oplopen. Daarom wordt toch uitgegaan van een inlaatduiker met 3 kokers.



*Strekdam op het strand*



## 6 Effecten omgeving

### 6.1 Effecten kwantiteit

In deze paragraaf worden de effecten van de ontwikkeling beschreven voor de woongebieden binnen het plangebied, de recreatiewoningen ten oosten van plangebied en het landbouwgebied ten zuiden van het plangebied.

#### 6.1.1 Woningen

In het plangebied liggen verschillende woningen. In figuur 6.1 is de maaiveldhoogte (AHN 5x5 m) weergegeven, alsmede een nummering waarmee de woningen worden aangeduid in deze paragraaf.

De insteek voor alle alternatieven is dat de bestaande woningen worden behouden. Alleen in verband met de kustversterking zullen mogelijk enkele woningen niet behouden kunnen worden. In deze paragraaf is eerst uitgegaan van het behoud van alle woningen.



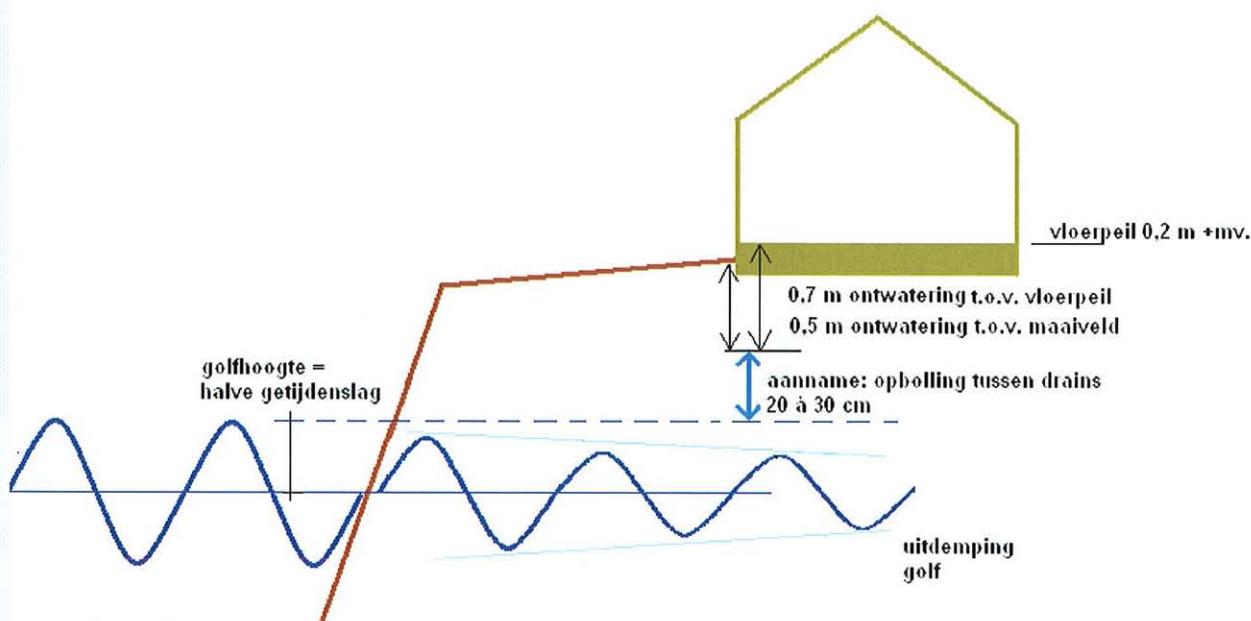
Figuur 6.1: Maaiveldhoogte en ligging woningen

Uit de hydraulische berekeningen is gebleken dat een peilregulering in het getijdengebied goed mogelijk is. De hoogste waterstanden komen daardoor niet hoger dan het streefpeil. Voor de berekeningen is uitgegaan van een hoogste waterpeil van NAP +0,5 à +0,55 m (Natuurlijk Waterdunen). De grondwaterstand plant zich als een golf door in de bodem. De hoogte wordt daarbij gedempt. De hoogste grondwaterstand ter plaatse

van de woningen zelf ligt daardoor lager dan het hoogste waterpeil. De demping is afhankelijk van de bodemopbouw ter plaatse en de afstand vanaf het water tot de woning. In de praktijk geeft het uitgangspunt van het hoogste waterpeil dus een 'worst case' situatie.

Voor de opbolling van het grondwater wordt rekening gehouden met 0,2 à 0,3 m. Dit is uitgaande van de aanleg van (extra) drainage bij de woningen.

De richtlijn voor ontwatering bij woningen is 0,7 m onder het vloerpeil. In de praktijk is dit meestal een ontwatering van 0,5 m onder maaiveld. In figuur 6.2 is dit grafisch weergegeven. De resulterende maaiveldhoogten zijn weergegeven in tabel 6.2.



Figuur 6.2: Bepaling maaiveldhoogte

Tabel 6.1: Maatgevende maaiveldhoogten

Parameter	Natuurlijk	Aangepast	Gevarieerd
Gemiddeld peil	0,0 m	0,0 m	0,0 m
Getijdenslag	1,0 à 1,1 m	0,7 à 0,8 m	0,5 à 0,6 m
Golffhoogte	0,5 à 0,55 m	0,35 à 0,4 m	0,25 à 0,3 m
Opbolling grondwater	0,3 m	0,3 m	0,3 m
Ontwatering t.o.v. maaiveld	0,5 m	0,5 m	0,5 m
Minimale maaiveldhoogte (worst case)	NAP +1,30 à +1,35 m	NAP +1,15 à +1,20 m	NAP +1,05 à 1,10 m

In bijlage 5 is de maaiveldhoogte bij de bebouwingen aangegeven. In tabel 6.3 zijn de resultaten samengevat voor de maaiveldhoogte van Natuurlijk Waterdunen; deze zijn grafisch weergegeven in figuur 6.3.

Opgemerkt moet worden dat in de huidige situatie de drooglegging en ontwateringsdiepte wel groter is dan de hier berekende minima. Daarnaast hanteert het waterschap in optimale omstandigheden een drooglegging van 1,2 m -mv., wat resulteert in een ontwatering van 0,7 m -mv. Dit is dus iets ruimer dan bij deze berekeningen wordt aangehouden.



Figuur 6.3: Toets maaiveldhoogte NAP +1,3 m bij woningen

Tabel 6.2: Toets maaiveldhoogte bij woningen

Locatie	Maaiveld hoger dan NAP +1,3 m?	Conclusie
woningen 01	overwegend lager	Maatregelen; onderbemaling
woningen 02	hoger	Voldoet
woningen 03	deels hoger, deels lager	Maatregelen; onderbemaling?
woningen 04	westelijk huis lager, oostelijk huis hoger	Maatregelen, aansluiten bij peil recreatiepark
woning 05	overwegend hoger, bij schuurtjes (?) lager	Evt. schuurtjes aanpassen
woning 06	hoger	Voldoet
woning 07	hoger	Voldoet
woning 08	hoger	Voldoet
woning 09	hoger (tuin noordwestelijk lager)	Voldoet, evt. tuin ophogen
woning 10	lager	Maatregelen, onderbemaling
woning 11	lager	Maatregelen, onderbemaling
woningen 12	zuidelijke huis lager, noordelijke hoger	Maatregelen, onderbemaling
woning 13	lager	Maatregelen, onderbemaling
woningen 14	deels lager, deels hoger	Maatregelen, onderbemaling
woning 15	lager	Maatregelen, onderbemaling
woning 16	lager	Maatregelen, onderbemaling
woningen 17	hoger	Maatregelen, onderbemaling
woningen 18	éne rij lager, andere rij hoger	Maatregelen, onderbemaling
woningen 19	lager	Maatregelen, onderbemaling

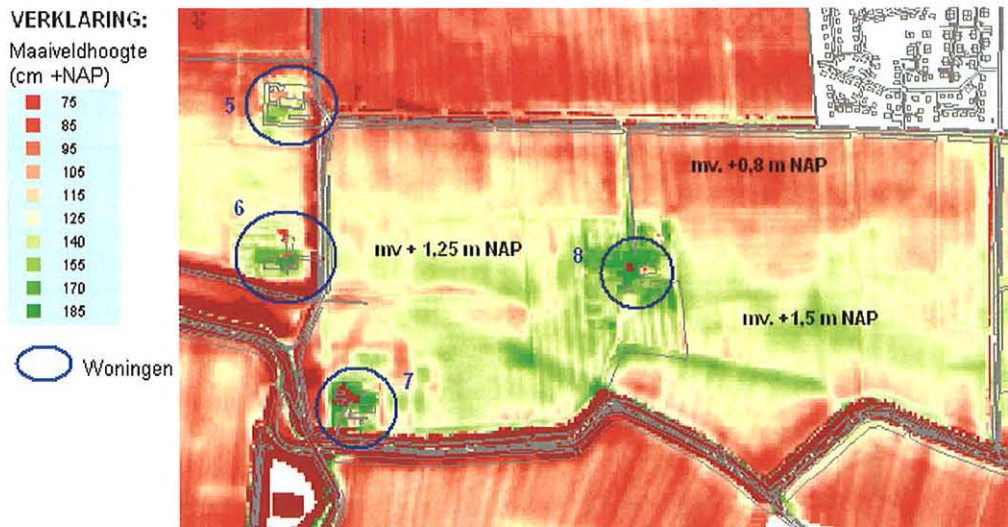




*Karrenvelden*



*Woning in het plangebied*



Figuur 6.5: Maaiveldligging bij mogelijke nieuwe landgoederen

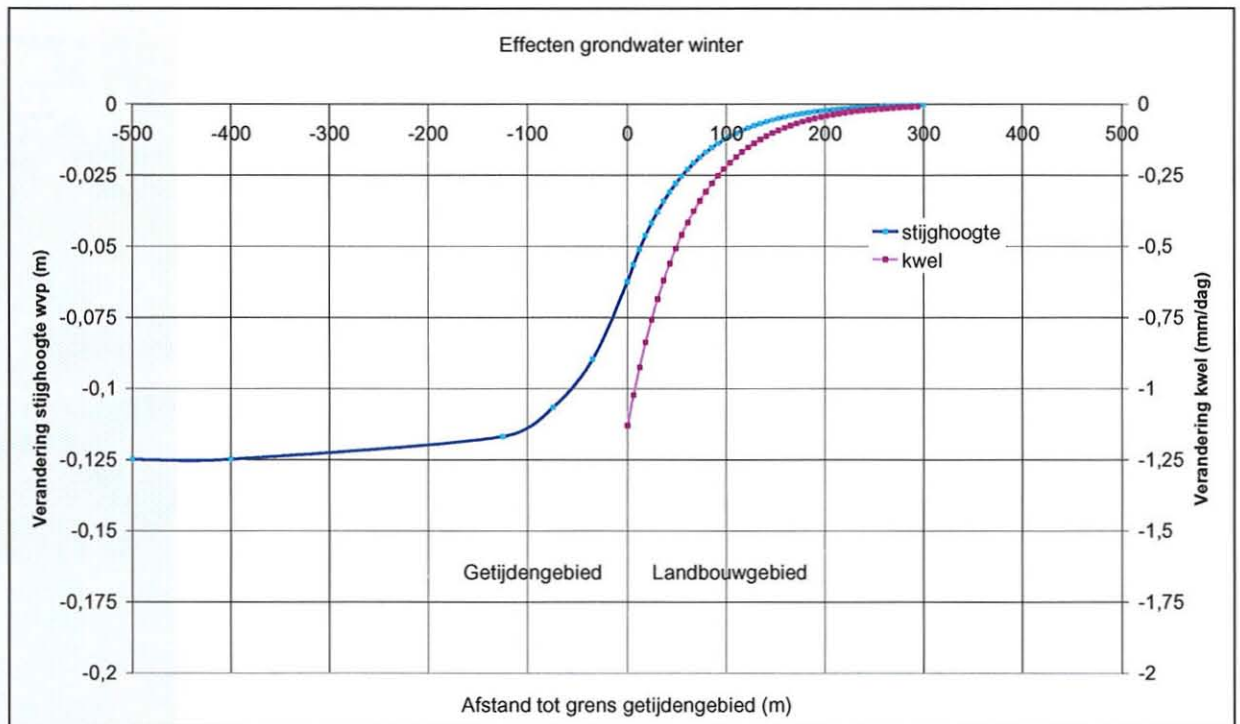
### 6.1.2 Karrevelden

Het huidige natuurgebied de Karrevelden, bij wooncluster 3, ligt relatief laag (maaiveld ca. NAP +0,4 m). Om de huidige situatie te behouden, moet een walletje rondom de Karrevelden worden aangebracht, zodat voorkomen wordt dat het zoute water vanuit het getijdengebied over het maaiveld erin loopt. De hoogte van het walletje hoeft maar 10 tot 20 cm boven het waterpeil te liggen, dus bij Natuurlijk op NAP +0,8 m en bij Aangepast NAP +0,6 m. Bij Gevarieerd is een verhoging niet of nauwelijks noodzakelijk.

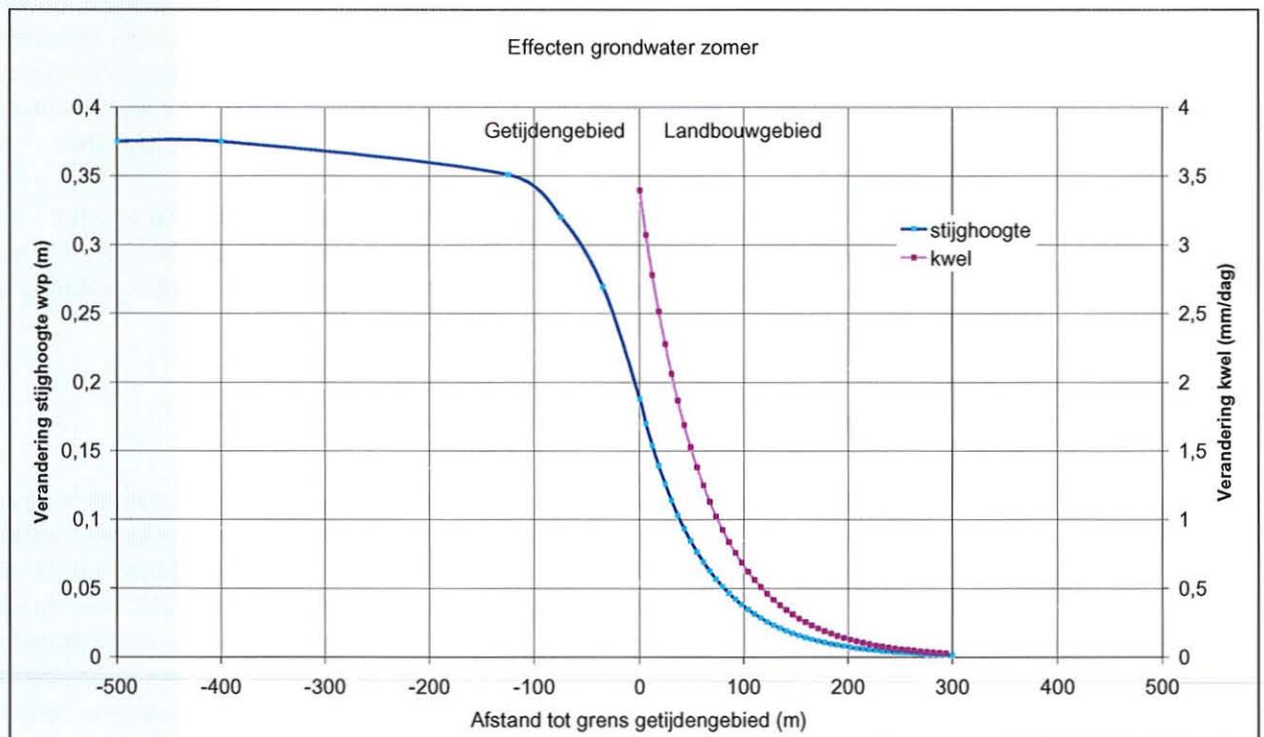
Vanuit ecologisch oogpunt heeft het de voorkeur om de Karrevelden bij het getijdengebied te betrekken. De grens van het peilvak wordt dan iets noordelijker gelegd. Technisch is het zowel mogelijk om de Karrevelden nu bij het getijdengebied te betrekken als (eventueel) in een later stadium.

### 6.1.3 Landbouw

Door de wijziging van waterpeil in het getijdengebied ten opzichte van de huidige situatie, verandert ook de stijghoogte in het watervoerende pakket. Het gemiddelde waterpeil in het getijdengebied komt op NAP te liggen. Door de beperkte weerstand van de deklaag wordt ook de stijghoogte in het watervoerende pakket gelijk aan NAP. Voor de winter houdt dit aan de zuidkant van het plangebied een verlaging in van de stijghoogte met 0 tot 25 cm (aangenomen gemiddelde: 12,5 cm). In de zomer is er een verhoging van de stijghoogte met 25 tot 50 (aangenomen gemiddelde: 37,5 cm). Deze verandering heeft in het landbouwgebied een uitstraling, die een wijziging van de kwel tot gevolg heeft. Met de formule van Huisman is dit effect in beeld gebracht. In de figuren 6.6 en 6.7 zijn de berekende effecten voor respectievelijk winter en zomer weergegeven.



Figuur 6.6: Effecten op het grondwater in de winter



Figuur 6.7: Effecten op het grondwater in de zomer

**Winter**

Uit de figuur blijkt dat in de winter er een beperkte afname is van de stijghoogte. In het landbouwgebied is daardoor ook een kleine verlaging van de stijghoogte en tevens een afname van de kwel. Deze afname van de kwel is aan de rand van het landbouwgebied ca. 1 mm/d. Op ongeveer 50 m afstand is de afname van de kwel kleiner dan 0,5 mm/d.

Omdat in de winter vooral te hoge grondwaterstanden een probleem zijn, geeft een afname van de kwel geen negatieve effecten op de landbouw.

### **Zomer**

Uit de berekeningen blijkt dat de verhoging van de stijghoogte in het landbouwgebied over een afstand van minder dan 100 m afneemt tot 5 cm. De extra kwel is in de eerste tientallen meters relatief groot. In een zone van ca. 30 m ligt de extra kwel op 2,0 tot 3,5 mm/dag. In de zone 30-75 m vanaf het getijdengebied neemt de extra kwel af tot 1,0 mm/dag. Op ongeveer 125 m vanaf het getijdengebied is de kwel afgenomen tot 0,5 mm/dag, dus verwaarloosbaar klein.

Het betreft hier in principe zoete kwel, namelijk van water dat door de verhoging van de stijghoogte niet zoals in de huidige situatie via de ondergrond wordt afgevoerd. Omdat het water in het watervoerende pakket in de huidige situatie niet volledig zoet is, houdt dit ook in dat de kwel niet volledig zoet is.

Bij de alternatieven Aangepast en Gevarieerd is langs een deel van de grens van het gebied een zone met zoete natuur voorzien. Deze zone is minimaal enkele honderden meters breed. In hoeverre deze zone de extra kwel op zal vangen of zelf ook voor extra kwel zal zorgen, hangt af van het peil dat in deze zone gehandhaafd zal worden. Wanneer het huidige peilbeheer wordt voortgezet, zal deze zone voor een demping van de effecten zorgen. Wordt een hoger peil ingesteld, dan zullen de effecten in mindere mate in dit gebied uitdempen en ook nog in het landbouwgebied optreden.

### **Maatregelen**

Deze effecten zijn bepaald zonder rekening te houden met de aanwezigheid van de brede, drainerende waterloop, die juist buiten het plangebied loopt. In de praktijk zal deze een belangrijk deel van de kwel al opvangen, waardoor de kwel naar het landbouwgebied kleiner wordt en in een smallere strook optreedt.

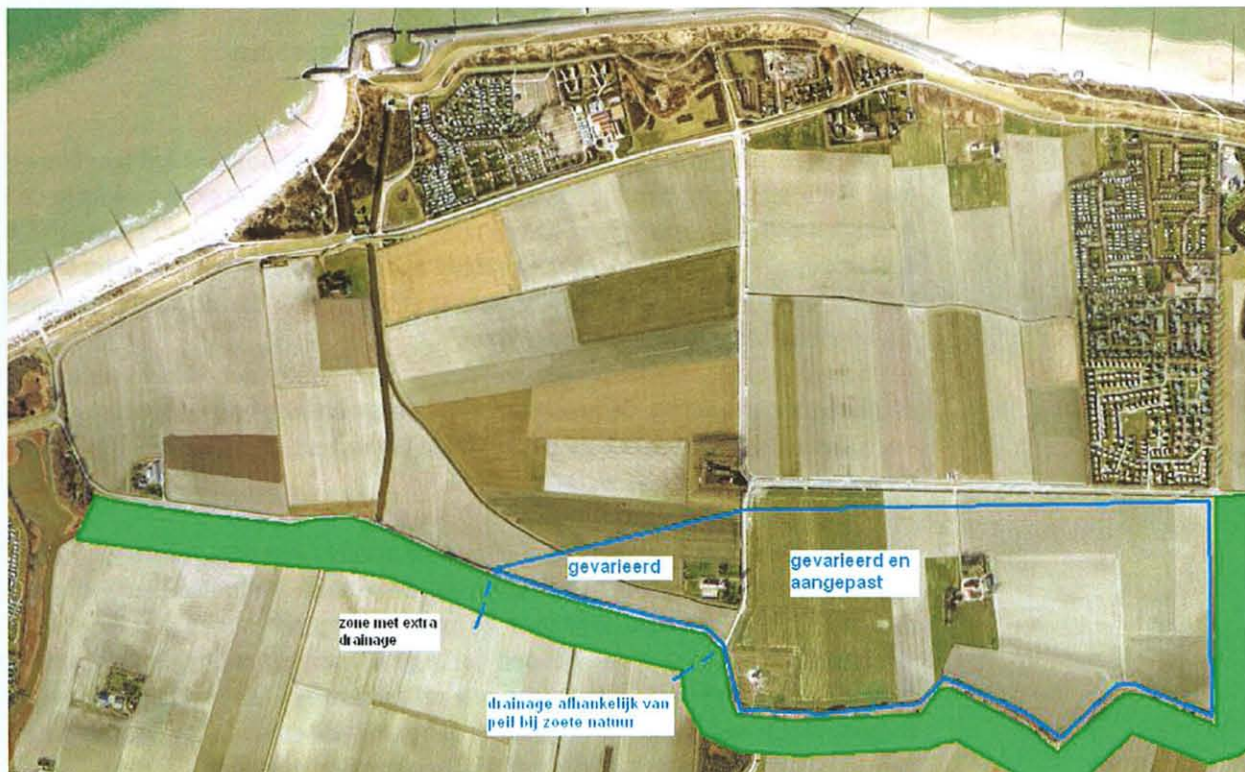
Op basis van berekeningen blijkt dat de strook met een extra kwel van meer dan 0,5 mm/dag een breedte van ca. 75-100 m vanaf het getijdengebied zal hebben. Aanbevolen wordt om in een ruime zone vanaf het getijdengebied (ca. 100-200 m breedte) in overleg met de agrariërs extra drainage aan te leggen, zodat overlast wordt voorkomen. In figuur 6.8 is deze zone indicatief aangegeven.

De kosten van de extra drainage zijn globaal geraamd op ca. € 70.000 exclusief bijkomende kosten bij Natuurlijk Waterdunen. Bij Aangepast en Gevarieerd kan de drainage in een kleiner deel worden aangelegd, afhankelijk van het peil in de zoete natuur. De kosten liggen dan op ca. € 50.000.

### **Conclusies**

Geconcludeerd kan worden dat het effect van de peilverhoging in het landbouwgebied relatief klein is. In een smalle zone waar een extra kwel te verwachten is, kan overlast worden voorkomen door extra drainage aan te leggen.

Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat het gemiddelde waterpeil rond NAP ligt. Wanneer het waterpeil hoger komt te liggen, zullen de effecten op de omgeving toenemen.



Figuur 6.8: Zone met maatregelen landbouw

## 6.2 Effecten kwaliteit

### 6.2.1 Zout

Het getijdengebied wordt gevuld met zout water. Dit heeft in principe ook in de omgeving gevolgen.

#### Winter

Door de wegzijging van het water vanuit het getijdengebied naar het watervoerende pakket, zal dit ook na verloop van tijd een verhoogd gehalte aan zout krijgen. Door dichtheidsverschillen zal hierdoor - tegen de stroming van het grondwater in - een zoutintrusie in het watervoerende pakket ontstaan onder het landbouwgebied. In de huidige situatie is het watervoerende pakket bij het plangebied grotendeels al brak of zout. Alleen in de bovenste meters komt een zoete (neerslag)lens voor. Wanneer ervan uit wordt gegaan dat deze zoete lens (dikte ca. 3 m) zout water met een gehalte van 20 g/l wordt, moet de stijghoogte in het watervoerende pakket met een factor  $(1020-1000)/1000$  worden gecorrigeerd. Bij een waterdikte van ca. 3 m is dit een correctie van ca. 0,06 m. Dit houdt in dat op de rand van het getijdengebied door een verhoging van de waterdruk het zoet-zoutgrensvlak verwaarloosbaar (0,06 m) hoger komt te liggen.

Daarnaast is er in de winter een afname van de stijghoogte van 0-25 cm., zoals in paragraaf 6.1 is aangegeven. Deze afname heeft juist buiten het getijdengebied tot gevolg dat de dikte van de neerslaglens kan toenemen. Deze toename ligt eveneens in de orde van enkele centimeters, en compenseert dus het effect van de verhoging van de waterdruk.

### Zomer

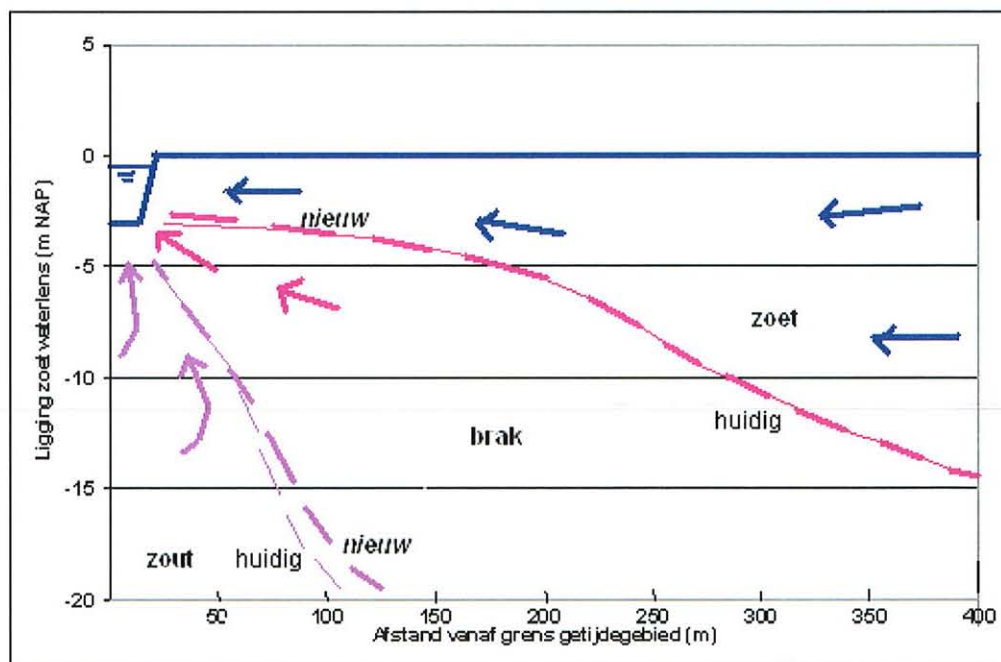
In de zomer geldt, evenals in de winter, dat de waterdruk met enkele centimeters toeneemt door de vervanging van de zoete lens door zout water.

Verder is in de zomer sprake van een verhoging van de stijghoogte door de verhoging van de gemiddelde waterstand. Deze ligt tussen 25 en 50 cm. Evenals hiervoor in paragraaf 6.1 is aangegeven, dempt deze extra stijghoogte uit over een afstand van minder dan 100 m. In de zone met een verhoging van de stijghoogte zal de regenlens iets dunner worden door deze extra druk. Dit betreft een afname van de lens met hooguit enkele centimeters. De totale afname van de dikte van de lens is op de grens van het getijdengebied hierdoor maximaal 25 cm, en over een afstand van ca. 100 m neemt dit effect af tot 0.

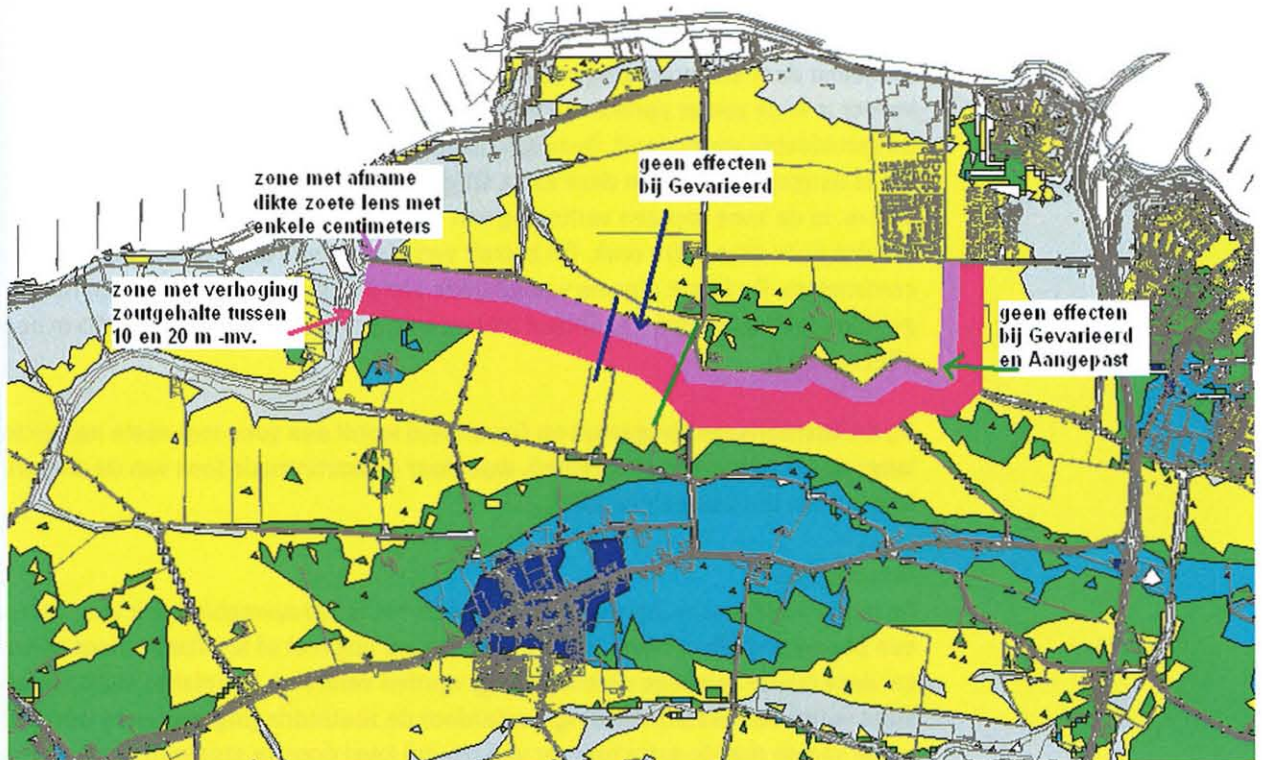
Bij de alternatieven Aangepast en Gevarieerd wordt een zone met zoete natuur toegepast langs een deel van het plangebied, waardoor de zoutinvasie (ook van de diepere lagen) hier binnen het plangebied blijft.

### Maatregelen

De brede sloot tussen het getijdengebied en het landbouwgebied ook voor de zoutinvasie een beperkend effect heeft. Waar deze sloot nu nog niet of als smalle sloot aanwezig is, zal deze (mede vanwege de afwatering) worden verbreed. De relatief sterke kwel naar de sloot vormt een 'waterscheiding', waardoor de zoutindringing begrensd wordt. Dit hangt mede samen met de extra toevoer van (zoete) kwel door de stagnatie in de waterafvoer, zoals hiervoor al is beschreven. In figuur 6.9 is dit principe weergegeven. Hierbij is de aangegeven scheiding tussen zoet en brak water de nu aanwezige situatie. Zoals aangegeven, heeft de sloot een extra stroming tot gevolg, waardoor het zoute water een kleinere verspreiding tot onder het landbouwgebied zal krijgen. In figuur 6.10 is aangegeven in welk gebied de dikte van de zoete lens met hooguit enkele centimeters zal afnemen. Daarnaast is een zone aangegeven waarin het zoutgehalte van het diepere pakket hoger komt te liggen (van brak naar zout).



Figuur 6.9: Te verwachten zoutinvasie in de praktijk



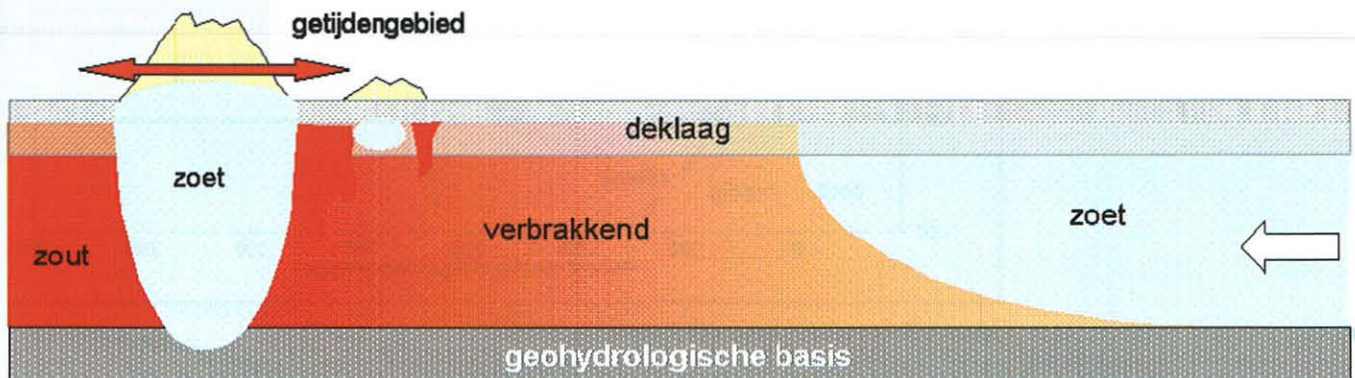
Figuur 6.10: Zone met te verwachten effect op zoutgehalte in watervoerend pakket

Ook bij de effecten op het zoute water geldt dat hierbij is uitgegaan van een gemiddeld waterpeil in het getijdengebied van NAP. Wanneer dit peil hoger komt te liggen, zullen de effecten groter zijn.

#### Effect duinvorming

Door de realisatie van een nieuwe duinenrij kan ook hier een zoetwaterlens ontstaan. In de ideale situatie zou deze een afsluiting kunnen worden tussen de zee en het zoete grondwater in het landbouwgebied. In de loop van de tijd wordt het nu brakke grondwater daardoor zoeter. Doordat in dit pakket het getijdengebied wordt voorzien, komt er toch weer zout water in het watervoerende pakket (zie figuur 6.11).

Bovendien verloopt dit proces zeer traag. In de ideale situatie zou pas na ca. 50 jaar het watervoerende pakket voor  $\frac{3}{4}$  zijn afgesloten, en na 150 jaar volledig. De breedte van de duinenstrook is dan ca. 800 m indien de duinen volledig van zand worden gemaakt. Bij aanleg met een groot deel klei wordt de lens minder diep, waardoor een nog grotere breedte nodig is om het hele pakket op termijn af te sluiten.



Figuur 6.11: Principe afsluiting watervoerend pakket door zoete lens

## 6.2.2 **Nutriënten**

In het getijdengebied zijn geen problemen met nutriënten te verwachten, doordat het zout dominant is.

Bij de aanleg van zoete natuur (Gevarieerd en Aangepast) geldt dat de kleiïge deklaag in zijn geheel relatief nutriëntenrijk zal zijn. Het afgraven van een bouwvoor heeft vanuit het oogpunt van nutriënten daarom weinig zin. Aanbevolen wordt om ongewenste ruigte te beheersen met begrazing en/of maaien. Daarnaast is peilbeheer een goede methode om de gewenste natuur te verkrijgen.



*Zoet rietmoeras*



## 7 Samenvatting en conclusies

De kustverdediging tussen Breskens en Groede zal op termijn niet meer voldoen aan het wettelijk vereiste veiligheidsniveau. Daarnaast is de kuststrook een bijzonder aandachtsgebied in het "Gebiedsplan Natuurlijk Vitaal" om een kwaliteitsslag te maken in de ruimtelijke kwaliteit. De doelstelling van het project Waterdunen is het op de vereiste veiligheid brengen van de kustverdediging in combinatie met gebiedsontwikkeling, zoals de ontwikkeling van recreatie en natuur. Voor het project Waterdunen worden onder andere een milieu-effectrapport (MER) en een maatschappelijke kosten-baten-analyse opgesteld. Tevens wordt een kustversterkingsplan opgesteld.

Het onderhavige project, Inlaatduiker Waterdunen, moet voor het MER **inzicht geven in de haalbaarheid van een toekomstige inrichting van het gebied met een getijdzone.** Tussen het project Inlaatduiker en de milieu-effectenrapportage (m.e.r.) bestaat een sterke interactie: **de alternatieven voor het m.e.r. zijn mede ontwikkeld op basis van de resultaten van het project Inlaatduiker.**

De milieu-effectrapportage is in een afzonderlijk rapport opgenomen.

In het onderzoek Inlaatduiker zijn vier alternatieven doorgerekend: het schetsontwerp en de alternatieven Natuurlijk Waterdunen, Aangepast Waterdunen en Gevarieerd Waterdunen die in de m.e.r. zijn ontwikkeld. In de m.e.r. wordt ook een alternatieff Veilig zonder Waterdunen onderzocht. Hierbij is geen getijdengebied opgenomen. Dit alternatief is in het project Inlaatduiker niet onderzocht. In onderstaande tabel zijn de kenmerken van de alternatieven samengevat.

Tabel 7.1: Ontwerputgangspunten alternatieven

Alternatief	Oppervlakte zoute natuur (geulen en ondiep water, slikken, schorren en zilte graslanden)	Oppervlakte zoete natuur (moeras, hooiland)	Aantal duikers	Getijslag (m)
Schetsontwerp	ca. 165	verwaarloosbaar, wel 85 ha duinen	1	'vingeroefeningen'
Natuurlijk Waterdunen	ca. 250 ha	verwaarloosbaar	2	1,0 à 1,1 m
Aangepast Waterdunen	ca. 185 ha	ca. 65 ha	1	0,7 à 0,8 m
Gevarieerd Waterdunen	ca. 185 ha	ca. 65 ha	1	a. 0,3 m b. 0,5 à 0,6 m
Veilig zonder Waterdunen	niet van toepassing			

### Hydraulische mogelijkheden

Gebleden is dat een **getijdenslag in de orde van minimaal 1,0 à 1,5 m haalbaar is.** Door een peilregulering toe te passen, zijn de waterpeilen en daarmee ook de getijdenslag naar wens te reguleren. Ongewenst hoge waterstanden worden hiermee voorkomen. Hiermee is ook een afstemming op toekomstige ontwikkelingen, zoals de te verwachten zeespiegelstijging, realiseerbaar.

Het water in het getijdengebied is vrijwel volledig zeewater. De verversing van het water is bij het schetsontwerp beperkt, met name 'achterin' het getijdengebied. Bij Aangepast

Waterdunen is het getijdengebied kleiner, waardoor de verversing relatief groter is. Bij Natuurlijk Waterdunen wordt een aparte uitlaatduiker gerealiseerd, waardoor een 'propstroom' ontstaat. De verversing is hier optimaal. Uit de berekeningen blijkt dat een regenbui van 106 mm in 4 dagen slechts een beperkte daling van het zoutgehalte tot gevolg heeft (enkele grammen per liter), en dat dit na enkele getijdenperioden weer hersteld is. Om bij het alternatief Gevarieerd Waterdunen een overeenkomstige verversing te bereiken als bij Natuurlijk en Aangepast, blijkt een getijdenslag in de orde van 50 à 60 cm noodzakelijk te zijn.

In het getijdengebied is een sedimentatie van slib te verwachten, met name op de slikken. **Natuurlijk Waterdunen is het enige alternatief waar de stroomsnelheden voldoende hoog zijn om neergeslagen slib weer op te nemen. Of dit voldoende is om de aanslibbing sterk te beperken, moet uit meer gedetailleerde berekeningen blijken.**

Om het getijdengebied robuuster te maken, worden bij de aanleg in verhouding meer slikken aangelegd dan schorren; door de sedimentatie zal dit op termijn verschuiven.

Bij Gevarieerd en Aangepast is tevens zoete natuur voorzien. Vanwege de relatief hoge gehalten aan nutriënten in de bodem zijn hier maatregelen noodzakelijk om een ongewenste verzuuring te voorkomen. Dit kan middels maaibeheer, begrazing en/of peilbeheer.

In tabel 7.2 zijn de alternatieven aan de hand van deze criteria onderling vergeleken. Natuurlijk scoort bij beide aspecten het beste, met name als gevolg van de aparte uitlaatduiker. Aangepast en Gevarieerd zijn in grote lijnen overeenkomstig.

**Tabel 7.2: Samenvatting effecten binnen getijdengebied**

	Natuurlijk	Aangepast	Gevarieerd
<i>Oppervlaktewater kwaliteit (zoet/zout; verversing)</i>	+	0	-
<i>Aanslibbing</i>	+	-	-
<i>Grondwaterkwaliteit algemeen (zoete natuur)</i>	0	-	-

### Effecten omgeving

Uit het onderzoek is gebleken dat de effecten op de omliggende landbouw relatief beperkt zijn. In een zone van hooguit 100 à 200 meter is een toename van de kwel te verwachten. Dit mede door de brede sloot aan de grens van het plangebied, die negatieve effecten beperkt.

Een verhoogd zoutgehalte zal vooral onderin het watervoerende pakket optreden. Mede omdat het watervoerende pakket nu ook niet volledig zoet is, zijn deze effecten relatief beperkt. Bij de alternatieven Aangepast en Gevarieerd, waar binnen het plangebied nog een zoete zone blijft bestaan, zijn de effecten op de landbouw (nog) kleiner dan bij de beide andere alternatieven. De zoetwaterlens ten zuiden van het plangebied wordt door het getijdengebied niet negatief beïnvloed.

Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat het gemiddelde waterpeil rond NAP ligt.

**Wanneer het waterpeil hoger komt te liggen, zullen de effecten op de omgeving toenemen.**

De woningen in het getijdengebied zelf worden in principe behouden. Voor enkele woningen is het noodzakelijk om deze aan te blijven sluiten op het huidige peilvak, zodat hier geen wateroverlast ontstaat. Door een beperkte wijziging van het afwateringssysteem is dit mogelijk. De woningen die meer centraal in het getijdengebied liggen, zijn wat hoger gelegen. Deze blijven een voldoende ontwatering houden. Om wateroverlast door

neerslag te voorkomen (opbolling), wordt wel aanbevolen hier een goede drainage aan te leggen.

Bij Gevarieerd en Aangepast kunnen alle woningen op het huidige peilvak aangesloten blijven. Hier wordt mogelijk wel nieuwe bebouwing ontwikkeld in het zuidoostelijke deel. Om hier ook zoete natuur te ontwikkelen, is een peilverhoging mogelijk. Afhankelijk van de precieze uitvoering van de woningen kan het peil hier verhoogd worden tot minimaal NAP +0,0 à +0,5 m.

De effecten in de omgeving zijn voor de alternatieven onderling en ten opzichte van de huidige situatie vergeleken in tabel 7.3.

**Tabel 7.3: Samenvatting effecten omgeving**

	Natuurlijk	Aangepast	Gevarieerd
<i>Grondwater kwaliteit (zoet/zout)</i>	--	-	-
<i>Grondwater kwantiteit (woningen)</i>	-	0 / -	0 / -
<i>Oppervlaktewater kwaliteit (zoet/zout)</i>	-	0	0
<i>Oppervlaktewater kwaliteit algemeen</i>	0	0 / -	0 / -
<i>Oppervlaktewater kwantiteit</i>	0	0	0

#### **Inlaatduiker**

Binnen de gestelde eisen ten aanzien van de veiligheid is de realisatie van een inlaatduiker mogelijk.

De kosten voor één in- en uitlaatduiker bij het haventje zijn geraamd op ca. € 3,2 mln. Bij Natuurlijk Waterdunen zijn twee afzonderlijke duikers nodig. De kosten voor de uitlaatduiker liggen hoger, op € 7,8 mln., doordat deze vanwege het strand een grotere lengte moet krijgen. De totale kosten voor beide duikers bij dit alternatief bedragen dus € 11,0 mln.

#### **Aanbevelingen**

De nu uitgevoerde hydraulische berekeningen zijn met een 1D-model uitgevoerd. Deze hebben als voordeel dat met een relatief beperkte inspanning een redelijk goed inzicht wordt bereikt: ze zijn dus ideaal voor een alternatievenvergelijking.

Als een keuze is gemaakt voor één van de alternatieven is het aan te bevelen dit alternatief op te nemen in een 3D-modellering. Hiermee kan ook in de "breedte" inzicht worden verkregen in onder andere het sedimentatie en erosie proces, en daarmee op het benodigde onderhoud. De inrichting van het gebied kan daarmee fijn worden afgeregeld. Het gaat immers om decimeters, zo niet centimeters, zowel voor de inrichting van het gebied zelf als bij de effecten in de omgeving. De gewenste nauwkeurigheid ligt ver buiten de nauwkeurigheidstoleranties van een 1-dimensionaal model.

Ook de eventuele invloed van een aparte uitlaatduiker op de kustmorfologie is hiermee eveneens in beeld te brengen.

