

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

# KUST2005 Stand en vorderingen in morfologische praktijkkennis

Rapportage Generiek 2002

Rapport RIKZ/2003.022

KUST\*2005

RIKZ

# **KUST2005 Stand en vorderingen in morfologische praktijkkennis**

Rapportage Generiek 2002

RIKZ/2003.022



# **KUST2005**

## **Stand en vorderingen in morfologische praktijkkennis**

Rapportage Generiek 2002

RIKZ/2003.022

Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ  
afdeling Kust en Estuaria (OSK)

J. Cleveringa  
D.W. Dunsbergen  
J. van de Kreeke (Hydrest Inc.)  
J.P.M. Mulder  
R. Spanhoff



# Inhoudsopgave

---

<b>Inhoudsopgave</b>	<b>3</b>
<b>Voorwoord</b>	<b>5</b>
<b>1 KUST2005 - inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 Morfologische kennisontwikkeling ten dienste van kustbeleid en -beheer in Nederland	7
1.2 Uitgangspunt: kennisbehoefte bij beleid en beheer	7
1.3 Rapportage generiek: stand en vorderingen in kennis	8
<b>2 Kennis en kennisbehoefte van kustbeleid en -beheer</b>	<b>9</b>
2.1 Duurzaam beheer zandvoorraad Nederlandse kuststelsysteem	9
2.2 Tijd- en ruimteschalen in kustbeleid en -beheer	9
2.3 Afbakening van KUST2005: morfologische kennis	11
2.4 Einddoelen van KUST2005: kennis op schaal	11
2.5 Samenhang	12
2.6 Referenties	12
<b>3 Het Nederlandse kuststelsysteem – Einddoel 1</b>	<b>13</b>
3.1 Nationale schaal	13
3.2 Operationele stand van kennis	13
3.2.1 Nationaal kustbeleid	13
3.2.2 Kustbeheer	14
3.3 Behoefte aan kennis, modellen en veldgegevens	17
3.3.1 Integraal Kustzonebeleid	17
3.3.2 Beheersparameter: grootschalige zandbalans	18
3.3.3 Morfologisch modelinstrumentarium	19
3.3.4 Veldgegevens	20
3.4 KUST2005 vorderingen	21
3.4.1 Nieuwe inzichten Integraal Kustzonebeleid	21
3.4.2 Update grootschalige zandbalans	21
3.4.3 Ontwikkelstrategie morfologische modellen	23
3.4.4 Completering langjarige reeks bodemdieptegegevens	24
3.5 Referenties	24
3.5.1 KUST2000 / KUST2005 produkten	24
3.5.2 Overige referenties	25
<b>4 Zeegaten in Wadden en Delta – Einddoel 2</b>	<b>27</b>
4.1 Regionale schaal	27
4.2 Operationele stand van kennis	27
4.2.1 Kustbeleid en beleid voor Waddenzee en estuaria	27
4.2.2 Beheer van kust en vaargeulen	28
4.2.3 Verschillende tijd- en ruimte schalen	30
4.3 Behoefte aan kennis, modellen en veldgegevens	33
4.3.1 Grootschalige zanduitwisseling	33
4.3.2 Dynamisch evenwicht en cyclische processen	33
4.3.3 Kleinschalige transportprocessen	33
4.3.4 Morfologisch modelinstrumentarium	34
4.3.5 Veldgegevens	35
4.4 KUST2005 vorderingen	36

4.4.1	Nieuwe inzicht in zanddelend systeem	36
4.4.2	Aanpassingstijd dynamische evenwicht in de Delta	37
4.4.3	Transportpaden van zand in geulen	38
4.4.4	Morfologisch modelinstrumentarium	38
4.4.5	Veldgegevens en test van innovatieve meetmethoden	38
4.5	Referenties	40
4.5.1	Kust2000 / Kust2005 produkten	40
4.5.2	Overige referenties	42
<b>5</b>	<b>De kustnabije zone – Einddoel 3</b>	<b>45</b>
5.1	Lokale schaal	45
5.2	Operationele stand van kennis	45
5.2.1	Beleid van kustlijnhandhaving en kustveiligheid	45
5.2.2	Beheer: suppleren	46
5.3	Behoeftte aan kennis, modellen en veldgegevens	47
5.3.1	Suppletiebeleid	47
5.3.2	Suppleren als beheersmaatregel	49
5.3.3	Morfologisch modelinstrumentarium	52
5.3.4	Veldgegevens	52
5.4	KUST2005 vorderingen	53
5.4.1	Toename inzicht in onderwater suppleren	53
5.4.2	Verbeteringen in toetsen van modellen	54
5.4.3	Monitoring suppleties verbeterd	55
5.5	Referenties	55
5.5.1	KUST2000 / KUST2005 produkten	55
5.5.2	Overige referenties	58
<b>6</b>	<b>De Noordzeebodem- Einddoel 4</b>	<b>59</b>
6.1	Regionale schaal	59
6.2	Operationele stand van kennis	59
6.2.1	Noordzeebeleid	59
6.2.2	Hydro- en morfodynamische effecten zandwinning	60
6.3	Behoeftte aan kennis, modellen en veldgegevens	62
6.3.1	Beoordeling gedrag grootschalige zandwinning	62
6.3.2	Morfologisch modelinstrumentarium	62
6.3.3	Veldgegevens	63
6.4	KUST2005 vorderingen	63
6.4.1	Verkenning mogelijk beoordelingskader	63
6.4.2	Ontwerprichtlijnen voor zeezandwinputten	64
6.4.3	Golfeffecten afgraven Zeelandbanken	64
6.4.4	Modelbenaderingen schematische zandwinnings	65
6.4.5	Veldgegevens: analyse kleinschalige winningen	65
6.5	Referenties	66
6.5.1	KUST2000/ KUST2005 produkten	66
6.5.2	Overige referenties	68

---

# Voorwoord

---

Deze rapportage beschrijft de operationele stand van morfologische praktijkkennis, dat wil zeggen de morfologische kennis die kennelijk haar weg gevonden heeft in de dagelijkse praktijk van beleid en beheer van de Nederlandse kust. Die kennis betreft de onderbouwing van bestaande voorschriften, regels, wetten, richtlijnen en beleidsnota's, zoals de beleidsnota "Naar Integraal kustzonebeleid – beleidsagenda voor de kust, 2002" en het "Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee, RON/MER". Nieuwe vragen over de kust van Rijkswaterstaat en DG Water, leiden tot een kennisbehoefte die wat betreft de morfologische component is uitgewerkt in het programma KUST2005. Deze rapportage rapporteert over de gemaakte vorderingen die in KUST2005 kader zijn gemaakt. Ook hier ligt het accent op de vorderingen die daadwerkelijk hun weg vinden in de kustpraktijk. Behaalde wetenschappelijke resultaten worden alleen genoemd als die geïmplementeerd zijn in onze praktijk. Zolang dat nog niet is gebeurd, blijft op dat punt een 'kennis'-behoefte bestaan.

Deze rapportage generiek bouwt voort op drie eerder verschenen conceptversies, te weten op 5 juli 2001 en op 16 oktober 2002 en de laatste conceptversie op 30 januari 2003 welke is gepresenteerd aan de Stuurgroep KUST2005.

De ontwikkeling in deze versies weerspiegelt zowel de voortgang in het onderzoek als de ontwikkelingen in de visie op de rol en inhoud van een Generieke Rapportage. Die dynamiek blijft bestaan. Ook deze *definitieve* versie van de Rapportage Generiek-2002 beoogt slechts een vastlegging van de stand en visie in begin 2003.





---

# 1 KUST2005 - inleiding

---

## 1.1 Morfologische kennisontwikkeling ten dienste van kustbeleid en -beheer in Nederland

Ontwikkelingen in het kustbeleid en in de dagelijkse praktijk van het kustbeheer vragen voortdurend om toepassing van kennis. Dat kan zijn bestaande kennis, gebaseerd op ervaring en al dan niet vastgelegd in regels en voorschriften, maar ook nieuwe kennis, nodig om antwoord te kunnen geven op nieuwe ontwikkelingen. Tegelijkertijd doen zich in het onderzoek kennisontwikkelingen voor die alternatieven zouden kunnen bieden voor bestaande praktijken en inzichten, maar ook een bijdrage leveren aan het oplossen van nieuwe beleids- en beheersvraagstukken.

KUST2005 stelt zich ten doel kennis te ontwikkelen, en meer specifiek kustmorfologische kennis, ten dienste van het beleid en beheer van de Nederlandse kust. Om dat te bereiken wil KUST2005 een brug slaan tussen beleid en beheer enerzijds, en onderzoek anderzijds.

De werkwijze die KUST2005 daarbij kiest gaat uit van de kennisbehoefte bij het beleid en beheer.

## 1.2 Uitgangspunt: kennisbehoefte bij beleid en beheer

Startpunt voor KUST2005 vormen de (praktijk)vragen en -problemen welke zijn aangereikt door de opdrachtgevende directies. Vervolgens is allereerst een analyse gemaakt van de bestaande praktijk. Getracht is om een zo goed mogelijk beeld te geven van de *uitgangspunten, aanname's, theorieën en hypothesen* welke -al dan niet uitgesproken- in de praktijk worden gehanteerd, en -wederom al dan niet expliciet- zijn vastgelegd in bestaande *voorschriften, regels, wetten, richtlijnen en beleidsnota's*. Niet alleen wordt hierdoor de context duidelijk van de gesignaleerde (praktijk)vragen en -problemen, tevens geeft het een beeld van de huidige stand van kennis in de praktijk van beleid en beheer. Deze operationele stand van kennis vormt de grondslag voor het vaststellen van de kennisbehoefte.

Het afzetten van de actuele praktijkvragen tegen de huidige operationele stand van kennis, toont de kennisbehoefte op de korte termijn. KUST2005 vertaalt dit in een serie specifieke, (advies)producten.

Een analyse van de operationele kennisstand op het vóórkomen van aanname's, hypothese's en theorieën levert een beeld van de kennisbehoefte op langere termijn. Onderzoek dat aantoonde dat een gangbare aanname onhoudbaar is, levert bouwstenen voor een optimalisatie of bijstelling van het beleid of beheer. Overwegingen over de relatieve reikwijdte voor beleid en beheer, van de verschillende aanname's, levert aanwijzingen voor een prioritering in nader onderzoek en een specificatie van de kennisbehoefte. KUST2005 heeft de op deze wijze vastgestelde kennisbehoefte vertaald in generiek onderzoek, gericht op een aantal zogenaamde einddoelen (zie hoofdstuk 2). Deze einddoelen zijn

daarbij vooral richtinggevend; de jaarlijkse vorderingen worden vastgelegd in deze KUST2005 Rapportage Generiek.

### **1.3 Rapportage generiek: stand en vorderingen in kennis**

De KUST2005 Rapportage Generiek dient twee doelen; een inhoudelijk en een procesmatig doel:

1. Het vastleggen en jaarlijks updaten, van de operationele stand van kennis op het gebied van de kustmorfologie; en
2. het bieden aan de stuurgroep KUST2005,
  - van een verantwoording voor de inhoudelijke inspanningen over het afgelopen jaar, en
  - van een mogelijkheid tot bijstelling in de richting van de einddoelen, op basis van een heroverweging over het relatieve belang van onderzochte aanname's en hypothese's in het licht van ontwikkelingen in beleid en beheer.

## 2 Kennis en kennisbehoefte van kustbeleid en -beheer

---

### 2.1 Duurzaam beheer zandvoorraad Nederlandse kuststelsysteem

Vanuit kustmorfologisch perspectief geldt als hoofdpoging voor het beleid en beheer van de Nederlandse kust: het duurzaam beheren van de zandvoorraad in het Nederlandse kuststelsysteem.

Dit is gebaseerd op de gedachte "zand is de drager van alle functies in de Nederlandse kust". Dat betekent:

1. de totale *zandvoorraad* bepaalt wat de *potenties* zijn van alle functies in het kuststelsysteem; en
2. de *ruimtelijke verdeling* van het zand in de kustzone bepaalt wat de actuele status is van de verschillende functies.

Hieruit volgen gelijk de hoofdrichtingen voor beheersoplossingen:

1. compensatie van zandverliezen; en
2. (waar nodig en mogelijk) interne herverdeling van zand binnen het kuststelsysteem.

Dit alles geldt voor vraagstukken op zowel nationale, als regionale - en lokale schaal.

Om deze opgave goed te kunnen vervullen is kennis nodig over

- de verschillende functies, waarden en belangen in de kustzone;
- de relatie tussen deze functies en kustmorfologische grootheden;
- de tijd- en ruimteschalen welke daarbij bepalend zijn;
- meetgegevens, methoden en technieken om beheersmaatregelen te ontwerpen, uit te voeren en te evalueren;

en als startpunt, kennis over

- het beleid en de regels, voorschriften en wetten waarbinnen alles moet passen.

KUST2005 heeft het kennisveld in beeld gebracht door een aantal einddoelen te benoemen gekoppeld aan een specifieke tijd- en ruimteschaal (zie paragraaf 2.4). Elk van de einddoelen dekt een range beleid- en beheervraagstukken op de betreffende schaal.

Om het schaalonderscheid te verduidelijken is allereerst het speelveld van beleid en beheer in kaart gebracht (zie paragraaf 2.2). Daarbinnen is het vervolgens mogelijk een afbakening aan te geven voor de plaats van KUST2005 (zie paragraaf 2.3).

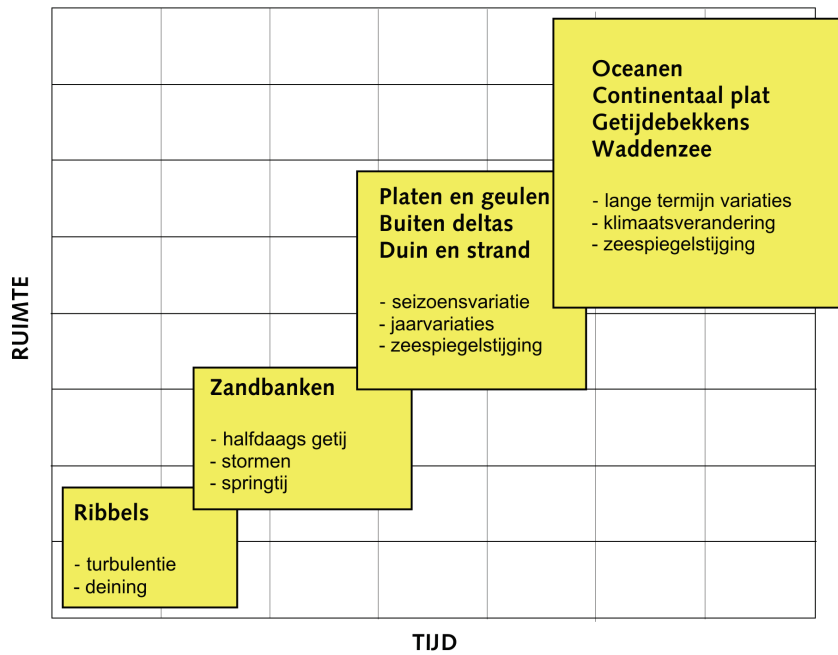
### 2.2 Tijd- en ruimteschalen in kustbeleid en -beheer

Kustbeleid en kustbeheer spelen zich af op het snijvlak van het maatschappelijke en het natuurlijke systeem. Zoals binnen het natuurlijke kuststelsysteem verschillende schalen zijn te onderscheiden -van ribbels tot getijdebekkens of nog groter (zie figuur 2.1)-, zo geldt dat evenzeer voor het maatschappelijke systeem. Dat wordt bijvoorbeeld duidelijk wanneer we het maatschappelijke systeem onderverdelen in een socio-economisch en in een politiek-bestuurlijk subsysteem.

Socio-economisch gezien zijn er verschillende functies, waarden en belangen, welke spelen op verschillende schaal (zie figuur 2.2). Kustveiligheid stelt eisen op een lokale en zeer kleine tijdschaal (piekbelasting tijdens een superstorm), recreatiebelangen spelen al op een grotere schaal, natuurbelangen op een nog weer grotere. Het politiek-bestuurlijke subsysteem toont een vergelijkbaar beeld (zie figuur 2.3), met voorschriften variërend van gemeentelijke -, tot Europese - en wereldschaal.

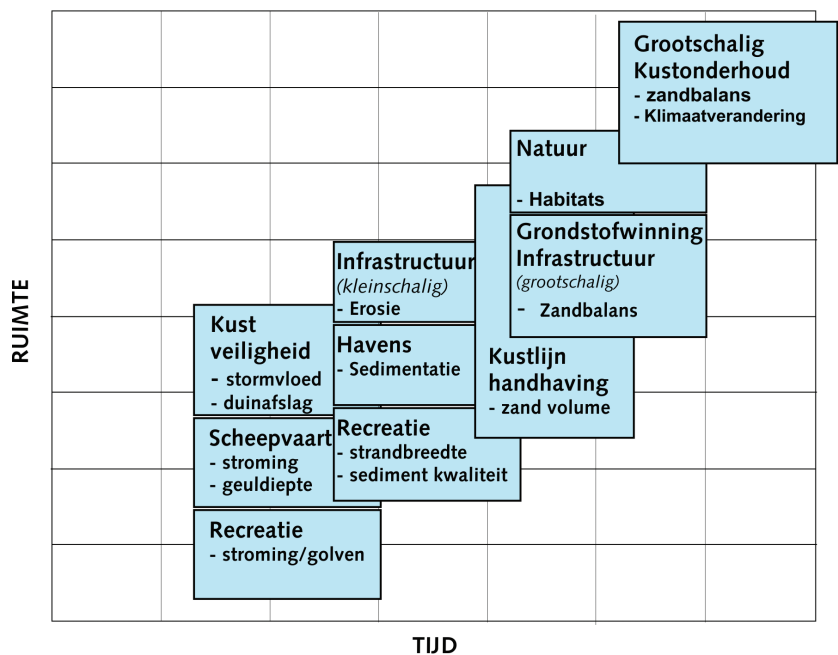
.....  
**Figuur 2.1**  
 Het natuurlijke kustsysteem: morfologische kenmerken op verschillende schaal

**Kust: het natuurlijk (morfologisch) systeem**



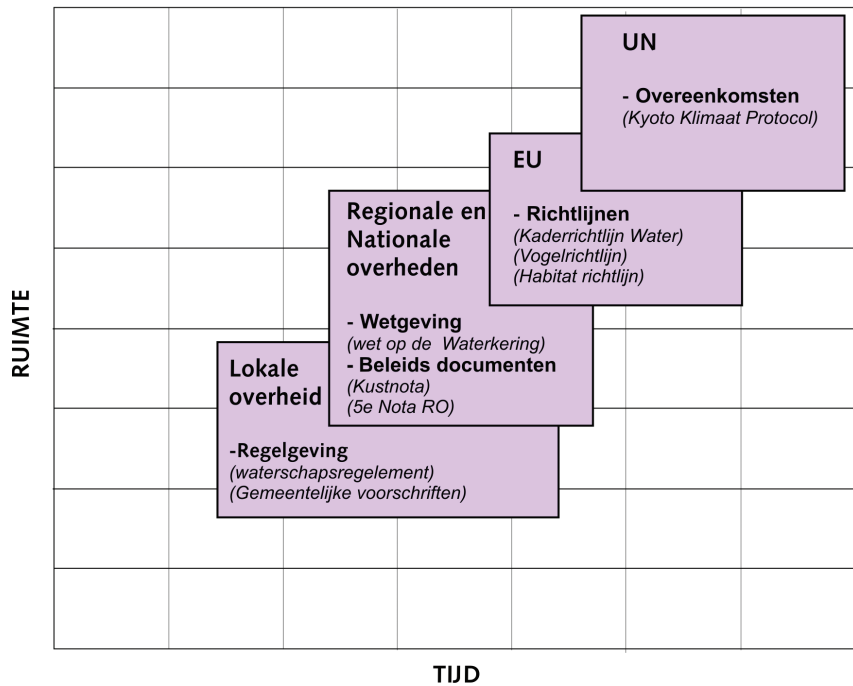
.....  
**Figuur 2.2**  
 Het socio-economische subsysteem: functies, waarden en belangen op verschillende schaal

**Kust: het socio-economisch systeem**



.....  
**Figuur 2.3**  
 Het politiek-bestuurlijke  
 subsysteem: Voorschriften en regels op  
 verschillende schaal

## Kust: het politiek-bestuurlijke systeem



### 2.3 Afbakening van KUST2005: morfologische kennis

KUST2005 wil een ondersteunende rol spelen voor het kustbeleid en –beheer. Het wil daarbij recht doen aan de verschillende schalen die van belang zijn (zie paragraaf 2.4). Echter, KUST2005 concentreert zich voornamelijk vooral op

- het fysisch natuurlijke systeem, met een duidelijk accent op hydro- en morfodynamische kenmerken;
- kustonderhoud zowel op korte als op langere termijn, met een accent op de kustveiligheid; en
- voorschriften in het nationale kustbeleid.

Het speelveld van het kustbeleid en –beheer zoals geschilderd in paragraaf 2.2, geeft een schets van de omgeving waarbinnen KUST2005 opereert. Het maakt duidelijk met welke aanpalende velden rekening moet worden gehouden en welke in de (nabije) toekomst mogelijk tot een bijstelling van de doelen binnen KUST2005 kunnen leiden. De ecologie en Europese richtlijnen zijn wat dit betreft voorbeelden.

### 2.4 Einddoelen van KUST2005: kennis op schaal

Het onderscheid in schalen binnen het kennisveld van kustbeleid en –beheer biedt een goed handvat voor een verdeling in deelvelden. KUST2005 onderscheidt op deze wijze een viertal *einddoelen* voor morfologische kennisontwikkeling, elk gekoppeld aan een eigen schaal:

Einddoel 1:	Morfologische kennis op de <b>nationale schaal</b> van het Nederlandse kuststelsel
Einddoel 2 :	Morfologische kennis op de <b>regionale schaal</b> van eilandkoppen en zeegaten
Einddoel 3 :	Morfologische kennis op de <b>lokale schaal</b> van suppleties
Einddoel 4 :	Morfologische kennis op de <b>regionale schaal</b> van de Noordzee

Daarnaast onderscheidt KUST2005 een vijfde einddoel gericht op het beheer van data, van kennis en van kennisnetwerken:

Einddoel 5 :	Morfologisch kennismanagement
--------------	-------------------------------

## 2.5 Samenhang

De kennisontwikkeling binnen de verschillende einddoelen vertoont een duidelijke samenhang. Kennis op nationale schaal (einddoel 1) biedt het kader voor het nationale beleid. Implementatie van dit beleid vraagt kennis op regionale- en op lokale schaal (einddoelen 2 – 4). Morfologische kennis en ervaringen op de kleinere schalen, kunnen op hun beurt aanleiding geven tot bijstelling van de inzichten op grotere schaal. Deze terugkoppelingen leiden tot een cyclische evaluatie en (zodanig) heroriëntatie van het onderzoek; een hoofdkenmerk van KUST2005.

## 2.6 Referenties

**Aarninkhof, S. en I. Tanczos, 2001.** Ruimte voor de zandrivier. Een aanzet tot een morfologisch afwegingskader voor de Nederlandse kust. WL Delft Hydraulics Report Z3200

**Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996.** Kustbalans 1995; de tweede kustnota, april 1996

**Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000.** 3e kustnota; Traditie, Trends en Toekomst, december 2000.

**Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Unie van Waterschappen, 2001.** Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening.

**Rijksinstituut voor Kust en Zee, 2002.** Naar Integraal Kustzonebeleid. Beleidsagenda voor de kust, januari 2002.

**Rijksinstituut voor Kust en Zee, 1995.** De kust in breder perspectief; basisrapport kustnota 1995, RIKZ-95.005, februari 1995.

**RWS/RIKZ, 2002,** Zeker Zand. Brochure RWS/RIKZ

**TAW, 1999.** Leidraad Toetsing op Veiligheid. Technische Advies Commissie voor de Waterkeringen, augustus 1999.

**Tweede kamer, 1990.** Kustverdediging na 1990; beleidskeuze voor de kustlijn, vergadering 1989-1990, 21 136 nrs. 5-6.

# 3 Het Nederlandse kuststelsysteem – Einddoel 1

## 3.1 Nationale schaal

Einddoel 1 betreft de ontwikkeling van morfologische kennis op de schaal van het gehele Nederlandse kuststelsysteem. Kenmerkende ruimteschaal is 10 – 100 km; bijbehorende kenmerkende tijdschaal is 10 – 100 jaar.

## 3.2 Operationele stand van kennis

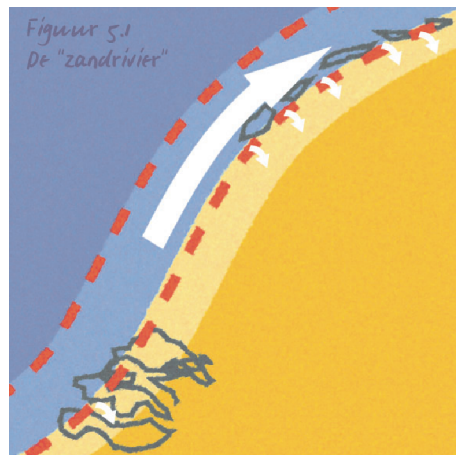
De operationele stand van kennis over de morfologie op de schaal van het Nederlandse kuststelsysteem wordt weerspiegeld door de huidige doelstellingen in kustbeleid en kustbeheer.

## 3.3 Nationaal kustbeleid

Sprekend over de Nederlandse kust stelt de Nota "Naar een Integraal Kustzonebeleid" (NIK, 2002) als beleidsopgave: *een duurzaam kustfundament op nationale schaal*.

Alle functies hebben er baat bij het kustfundament duurzaam op peil te houden. Een afkalvend kustfundament bedreigt natuur, veiligheid en daarmee ook de economische en sociale functies van de kust. Om het dynamische karakter van het kustfundament te benadrukken wordt de vergelijking gemaakt met een traag stromende 'zandrivier'. Beheer van deze 'zandrivier' dient plaats te vinden volgens een drietraps-strategie: (1) vrij laten bewegen – (2) zandbuffers aanleggen – (3) zand vasthouden, zie figuur 3.1.

**Figuur 3.1**  
De zandrivier en het beheer daarvan volgens een drietrapsstrategie (NIK, 2002)



- 1) Zand zo veel mogelijk op natuurlijke wijze laten bewegen
- 2) zo nodig, tijdelijk zandbuffers aanleggen om het kustfundament op zwakke plekken te versterken
- 3) als dat ontoereikend is – op lokale schaal zand vasthouden door gebruik van harde constructies



Over de begrenzing van het kustfundament bestaat nog discussie. Voor de zeewaartse grens geldt dat niet: de doorgaande –20 m lijn zoals gedefinieerd in de Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening (2001). De landwaartse begrenzing daarentegen is nog niet vastgelegd. Vanuit de optiek van veiligheid tegen overstroming geldt als minimale eis de landwaartse grens van de waterkering, rekening houdend met tweehonderd jaar zeespiegelstijging. In brede duingebieden is ruimte voor een bredere definitie, waarbij het kustfundament doorloopt tot aan de binnenduinrand.

Basis voor het kustbeleid vormen *de strategische doelstellingen* van de 1e Kustnota (1990): duurzaam handhaven van de veiligheid en duurzaam behoud van de functies en waarden in het duingebied. Als *operationele doelstelling* is gekozen voor: het handhaven van de kustlijn op tenminste de plaats waar die lag in 1990. Om tegelijkertijd recht te doen aan het dynamische karakter van de kust is het beleid vervat in de term 'dynamisch handhaven'.

De 3e Kustnota (2000) legde een sterke relatie tussen kustveiligheid en ruimtegebruik, en bepleitte voortzetting van het succesvolle beleid 'dynamisch handhaven' conform de 2e Kustnota (1995). Om verder invulling te geven aan het begrip duurzaamheid besloot de 3e Kustnota tot de introductie van een *tweede operationele doelstelling*: het in stand houden van de zandvoorraad in het kustfundament door het aanvullen van zandverlies op dieper water. Vanaf 2001 wordt dit uitgevoerd.

De Nota "Naar een Integraal Kustzonebeleid" (2002) is een verdere uitwerking van de eerdere kustnota's, leidend tot de formulering van een *derde operationele doelstelling* voor het kustbeleid: het handhaven van de afslaglijnen in de zogenaamde zwakke schakels en risicogebieden (NIK,2002).

Drie operationele doelstellingen:

- 1 handhaven van de kustlijn
- 2 in stand houden van de zandvoorraad in het kustfundament
- 3 handhaven van de afslaglijnen in de zogenaamde zwakke schakels en risicogebieden

### 3.2.2 Kustbeheer

- **Vigerend beheer**

Handhaving van de kustlijn is gedurende de afgelopen 10 jaar, in de praktijk, impliciet vertaald in een relatief kleinschalige benadering. De gebruikte ruimteschaal – welke samenhangt met de beschikbare JARKUS-raaien en de definitie voor de kustlijn- is 250 m in de lengterichting van de kust en 9-18 m (NAP +10/+3 m tot NAP –6/-8 m) in hoogte. De relevante tijdschaal is 5-10 jaar en hangt samen met de periode van toetsing. Jaarlijks wordt voor ieder van de gedefinieerde secties nagegaan of de trend in de positie van de momentane kust lijn (MKL) zodanig is dat zij landwaarts van de Basis Kust Lijn (BKL) komt te liggen. De trend wordt bepaald uit gegevens van de voorgaande 10 jaar. De positie van de MKL is een maat voor het zandvolume in de sectie. Het huidige beleid is door middel van zandsuppleties er voor te zorgen dat de MKL zeewaarts van de BKL blijft. Omdat handhaving van de kustlijn ten dienste staat van de veiligheid wordt bij het vormgeven van het suppletieschema, naast de BKL-toets op 5-jaarlijkse basis een veiligheidstoets uitgevoerd. In marginale duingebieden wordt een jaarlijkse veiligheidstoets geadviseerd. Het kritieke grensprofiel is maatgevend voor de veiligheid (TAW, 1999).



Door op jaarbasis gemiddeld 6 Mm<sup>3</sup> te suppleren is het de afgelopen 10 jaar gelukt de kustlijn en veiligheid te handhaven (Roelse, 2002). De kleinschalige benadering is dus succesvol op de tijdschaal van 10 jaar. Is daarmee ook voldaan aan het beleidsdoel om *duurzaam* te handhaven? Impliciet antwoordt het beleid nee op deze vraag. Door te wijzen op het belang van compensatie van zandverliezen op diep water met het oog op een stijgende zeespiegel, wijst de 2e Kustnota (1995) impliciet op twee zaken:

1. duurzame handhaving van veiligheid en functies in het duingebied vergt een meer grootschalige benadering;
2. deze grotere schaal betreft zowel de ruimte (ontwikkelingen in de dieptezone beneden NAP -8m zijn belangrijk), als in de tijd (zeespiegelstijging is een effect dat speelt op een langere tijdschaal dan 10 jaar).

Impliciet maakt het beleid hier gebruik van het gegeven dat tijd- en ruimteschaal aan elkaar zijn gekoppeld. Een kwantitatieve uitspraak vanuit beleidsoptiek over de schaal behorend bij een duurzaam beheer, ontbreekt echter. Gebaseerd op de genoemde samenhang tussen tijd- en ruimte, doet Mulder (2000) hiervoor een voorstel. Uitgaande van een tijdschaal van 50 jaar komt hij tot een kustlangse ruimteschaal van enkele tientallen kilometers en een hoogteschaal van NAP +10m tot NAP -20m. Het Nederlandse kuststelsel beschouwt hij als een aaneenschakeling van negen (min of meer) onafhankelijke deelsystemen. Een schatting van de zandbalans in deze deelsystemen over de periode 1965 – 1995, gekoppeld met een prognose voor de ontwikkelingen over de komende vijftig jaar levert een beeld van de toekomstige suppletiebehoefte. Bij gelijkblijvende zeespiegelstijging is dat minimaal 12 Mm<sup>3</sup> per jaar: vanaf 2001 de hoeveelheid zand welke conform de 3e Kustnota (2000), jaarlijks aan het kuststelsel wordt toegevoegd. De Nota "Naar een Integraal Kustzonebeleid" (2002) noemt 12 Mm<sup>3</sup> als zandhoeveelheid nodig om jaarlijks de tekorten in het kustfundament aan te vullen, zie figuur 3.2.

**Figuur 3.2**

Zandbehoefte in het Nederlandse kuststelsel:

Rood: 6 Mm<sup>3</sup> zand per jaar in bovenste deel van kustprofiel.

Blauw + rood: gemiddeld 12 Mm<sup>3</sup> zand per jaar.



- **Aanname's**

Het is goed om op te merken dat zowel de suppletiehoeveelheid als de ruimtelijke begrenzing van het kustfundament gebaseerd zijn op de aanname's dat

1. duurzaam kustonderhoud beschouwd mag worden als behoud van

- veiligheid en functies over een periode van 50 jaar; en
2. de morfologisch actieve kustzone zich op deze tijdschaal beperkt tot de diepte zone van NAP +10 m tot NAP -20 m.

De Nota "Naar een Integraal Kustzonebeleid" (2002) spreekt over de doorgaande -20m NAP lijn als niet ter discussie staande zeewaartse grens van het kustfundament. De daaraan gekoppelde tijdschaal van *vijftig* jaar wordt niet genoemd. Wel wordt in het kader van ruimtereservering voor de waterkering, de noodzaak genoemd om het effect van *tweehonderd* jaar zeespiegelstijging op te vangen. Daaraan gekoppeld wordt wèl een minimale eis voor de landwaartse begrenzing van het kustfundament geformuleerd, maar gèen kanttekening geplaatst bij de zeewaartse grens. Ook in de discussie over een brede definitie van het kustfundament met een landwaartse grens bij de binnenduinrand, is een kritische beschouwing over de zeewaartse grens op zijn plaats. In een fysisch consistent beeld van de kust als 'zandrivier', is zowel de ligging van de zeewaartse - als van de landwaartse oever afhankelijk van de beschouwde tijdschaal. Het verdient aanbeveling te onderzoeken in hoeverre op een tijdschaal van eeuwen, de definitie van het kustfundament aanpassing behoeft.

- **Ontwerp en uitvoering**

Ontwerp en uitvoering van het suppletieschema na 2001 met een jaarlijkse hoeveelheid van 12 Mm<sup>3</sup>, is echter een thema dat allereerst meer aandacht verdient. Het is daarbij essentieel de verschillende doelstellingen helder in het oog te houden, met een duidelijk onderscheid tussen het strategische doel en de drie afgeleide operationele doelen.

De strategische doelstellingen uit de 1e Kustnota (1990) staan nog steeds overeind:

1. *duurzaam handhaven van de veiligheid; en*
2. *duurzaam behoud van de functies en waarden in het duingebied.*

Echter, door de nadere invulling van het tijdsaspect in het begrip duurzaam, wordt vanaf 2001 de operationele uitvoering gewijzigd. Als overkoepelende, operationele doelstelling is toegevoegd:

1. *het op peil houden van de zandvoorraad in het kustfundament.*  
'Dynamisch handhaven' krijgt een ruimere invulling door -met in achtneming van een drietrapsstrategie voor ingrepen (zie paragraaf 3.1.1)- het dynamische karakter van de 'zandrivier' optimaal in stand te houden. Om recht te doen aan de ruimtelijke verschillen in zandverlies binnen de 'zandrivier' op een tijdschaal van vijftig jaar, dient te worden rekening gehouden met de ontwikkeling per deelsysteem. Mulder (2000, 2001) geeft een prognose van de suppletiebehoefte per deelsysteem welke kan gelden als langjarige richtlijn bij het ontwerp van het jaarlijkse suppletieschema.

Daarnaast blijft als operationeel doel doel gehandhaafd de aanpak die op kleinere schaal succesvol is gebleken:

2. *het handhaven van de kustlijn (met de Basis Kust Lijn als norm).*  
Het is belangrijk om te realiseren dat de Basiskustlijn (BKL) aanpak zich richt op de relatief korte termijn en alleen op die delen van de kust waar daadwerkelijk een BKL is gedefinieerd.  
In twee gevallen is geen BKL vastgesteld. Een uitzonderingsgebied vormen de dijklichamen van Westkapelle, van de Slufterdam en van de Pettemmer Zeewering. Voor de dijken geldt dat handhaving van de (korte termijn) veiligheid wordt gegarandeerd door maatregelen in de sfeer van dijkontwerp; alleen bij de Slufterdam is sprake van additionele zandsuppleties gefinancierd uit andere bronnen dan het kusthandhavingsbudget. Een ander uitzonderingsgebied zijn de strandvlaktes op de eilandkoppen; gebieden met uitsluitend een functie als natuurgebied. Door op de strandvlaktes geen BKL te definiëren en,

gekoppeld daaraan, geen beheersmaatregelen te nemen, wordt volledig vrije ontwikkeling toegestaan. Een specifieke, gebieds-gerichte invulling van de doelstelling tot behoud van functies in het duingebied.

Tenslotte is in de Nota "Naar Integraal Kustzonebeleid" (2002) een derde operationele doelstelling toegevoegd:

3. *handhaving van de afslaglijnen in de zwakke schakels en risicogebieden.*

Bij het ontwerp van het suppletieschema dient in principe met deze drie doelstellingen te worden rekening gehouden. In 2003 wordt naar verwachting voor het eerst, bij wijze van proef, een suppletie uitgevoerd bij Egmond, welke alle drie de doelstellingen moet bedienen.

Voor het overige wordt na 2001 in de suppletieschema's tot nog toe sterk voortgebouwd op de praktijk van voor 2001. Nog te weinig wordt gerealiseerd dat de BKL aanpak relatief korte termijn doelen nastreeft, welke haalbaar zijn door inzet van ruwweg 6 Mm<sup>3</sup> per jaar, en welke alleen gelden voor het specifieke deel van de kust waar een BKL is gedefinieerd. Maar ook, dat de aanpak van het kustfundament lange termijn doelen nastreeft, welke haalbaar zijn door nog eens 6 Mm<sup>3</sup> per jaar in te zetten, en welke ten goede kunnen komen aan de gehele kust en aan andere doelen dan traditioneel gedekt door de BKL aanpak.

Het laatste betekent dat in principe, op jaarbasis gemiddeld ca. 6 Mm<sup>3</sup> suppletiezand (ook) zou kunnen worden ingezet voor bijvoorbeeld

- de lange termijn veiligheidshandhaving van dijklichamen,
- lange termijn handhaven van functies op strandvlaktes en eilandkoppen,
- handhaving van afslaglijnen bij zwakke schakels,
- of, bij een toekomstig brede definitie van het kustfundament, voor andere functies in het duingebied.

### 3.3 Behoeft aan kennis, modellen en veldgegevens

#### 3.3.1 Integraal Kustzonebeleid

Met de stap naar integraal kustzonebeleid zijn nieuwe begrippen geïntroduceerd:

- 'zand als ordenend principe';
- 'kustfundament'; en
- 'de kust als zandrivier'.

Het aantrekkelijke van deze beelden is de fysische grondslag. Het kustbeleid baseert zich op basale kenmerken van het fysische kuststelsel om tot een duurzame aanpak te komen. Voor het beleid schuilt de kracht in het basale karakter van de gebruikte fysische kenmerken. Deze spreken een breed publiek aan. Bij een verdere operationalisering van de begrippen in het beleid, is het dan ook van belang dat de relatie met de fysische grondslag van de beelden zo veel mogelijk behouden blijft.

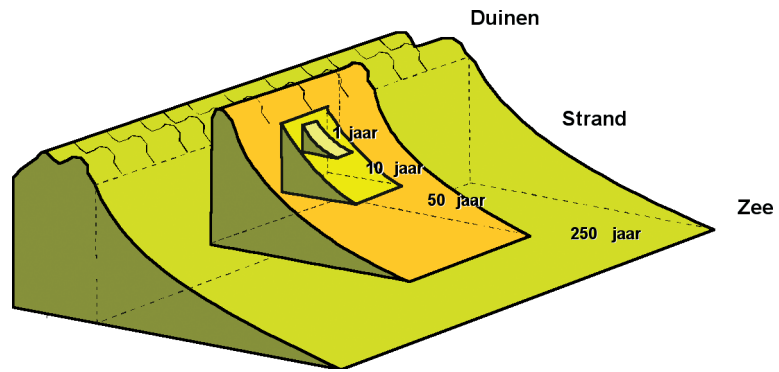
Dat betekent dat er behoefte is aan een verdere uitwerking van de beelden. Discussies over de begrenzing van het kustfundament c.q. de 'zandrivier', illustreren dit. Er is behoefte aan een nadere kwantificering van de ruimtelijke dimensies van morfologisch veranderingen op verschillende tijdschalen.

Ontwerp, uitvoering en evaluatie van het grootschalige kustonderhoud - zoals het vorm krijgt vanaf 2001- roepen nog de nodige vragen op.

- Hoeveel zand is er precies nodig ?
- Hoe moet dat zand in de ruimte en de tijd worden verdeeld ?
- Hoe kan het meest efficiënt invulling worden gegeven aan de drie operationele doelstellingen van het kustbeleid (zie paragraaf 3.1.2) ?
- Wat is de cumulatieve invloed van verschillende grootschalige ingrepen op de zandbalans ?
- Hoe kan de effectiviteit van het beleid worden geëvalueerd ?

.....  
**Figuur 3.3**

Schematische weergave van tijd- en ruimteschalen binnen een kuststelsel (zie ook: Aarninkhof en Tanczos, 2001)



### 3.3.2 Beheersparameter: grootschalige zandbalans

De fysische kennis die nodig is voor het beantwoorden van de vragen concentreert zich op een aantal beheersparameters (of zogenaamde Coastal State Indicatoren- CSI's):

- de Momentane Kust Lijn (MKL) voor de kustlijnhandhaving (zie ook paragraaf 5.1);
- de afslaglijn (zie TAW, 1999) voor de handhaving van afslaglijnen;
- de grootschalige zandbalans van de kust voor de handhaving van de zandvoorraad.

Met een zandbalans wordt de zandvoorraad vastgesteld over een begrensde periode in een begrensde gebied. Welke grenzen moeten we kiezen voor een grootschalige zandbalans?

Theoretisch kennen we een samenhang tussen ruimte- en tijdschaal in het kuststelsel; met de kleinste schalen in de hoog-energetische brandingszone en de grootste schalen in de laag-energetische zones op dieper water en verder in de duinen.

De ruimtelijke grenzen van het actieve kuststelsel verschuiven dus in de tijd. Over de ligging van de grenzen is echter weinig bekend. Relatief het meest weten we nog over de zeewaartse grens. Analyse van JARKUS- en doorlodingsprofielen over een periode van 30 jaar, tonen op veel plaatsen nog morfologische veranderingen tot grotere dieptes dan NAP -12 tot -15 m (Hinton, 2000). Dit is een indicatie dat op deze tijdschaal de zeewaartse grens van de actieve kustzone nog dieper ligt. Mulder (2000) kiest op deze grond voor NAP -20 m als zeewaartse grens van het kuststelsel op een tijdschaal van 50 jaar (zie ook van Koningsveld en Mulder, 2003B). Als criterium voor deze grens zou kunnen gelden dat ter plaatse het netto dwarstransport over een periode van 50 jaar verwaarloosbaar klein is. Wanneer we dit criterium toepassen op de landwaartse grens blijkt deze met onze kennis, (nog) minder duidelijk vast te stellen. De langjarige JARKUS dataset beperkt zich landwaarts veelal tot de eerste duinregel. Echter, Van der Wal (1999) constateert op deze plaats nog duidelijk dwarstransport. Zij becijfert de zandwinst in de duinen door verstuiwing uit de zeereep ruwweg op 2 Mm<sup>3</sup> per jaar. De landwaartse grens van het fysisch actieve kuststelsel op een tijdschaal van decennia zal zich dus verder landinwaarts bevinden dan de -door databeperkingen- meestal gebruikte zeereep.

Indicaties voor mogelijke begrenzingen in de lengterichting van het kuststelsel op een tijdschaal van enkele decennia, zijn -op vergelijkbare wijze met de dwarsgrenzen- door Mulder (2000) afgeleid op basis van het

criterium van verwaarloosbaar netto (langs-)transport. Voor de Zeeuwse en Hollandse kust met de verschillende vaargeulen als duidelijke barrières in het (langs-)transport, lijkt dit redelijk bruikbaar. Evenwel voor de Waddenkust stuit dit op problemen. Het ligt weliswaar voor de hand ieder zeegat als een deelsysteem op te vatten. Echter, zeegaten opereren niet onafhankelijk van elkaar. Het bovenstroomse (hier wordt verwezen naar de kustlangse zandstroom) zeegat levert zand toe aan het benedenstrooms gelegen zeegat. Een ander belangrijk aspect is dat zeegaten werken als een zanddelend systeem, zie einddoel 2, paragraaf 4.1.3. Er is uitwisseling van zand tussen de samenstellende elementen: vloedkom, buitendelta en aangrenzende eilandkust. Voor een goed beheer van het zand in zeegaten is het daarom van belang inzicht te verkrijgen in de zandstroom tussen die elementen. Een kennisonderwerp dat wordt behandeld in Einddoel 2 (zie Hoofdstuk 4). Een moeilijkheid daarbij is dat de begrenzingen van elementen als buitendelta en vloedkom zich verplaatsen. Dit pleit ervoor deze sub-deelssystemen te definiëren met tijdsafhankelijke grenzen.

Zandbalansonderzoek met bijzondere aandacht voor de gevoeligheid van de keuzes voor de verschillende grenzen -in de ruimte en in de tijd-, kan meer duidelijkheid verschaffen over de karakteristieken van het kustfundament en benodigde zandhoeveelheden om het fundament op peil te houden.

### 3.3.3 Morfologisch modelinstrumentarium

Kennis over zandbalansen uit het verleden alleen, is nog niet voldoende om de vragen te beantwoorden. Het beleid vraagt om maatregelen voor de toekomst en verlangt dan ook een prognose over toekomstige ontwikkelingen in de zandbalans. Meest basale methode daarvoor is een statistische extrapolatie van bestaande gegevens. Deze methode heeft echter zijn beperkingen. Invloeden van een verandering in klimaat en zeespiegelstijging, en van toekomstige menselijke ingrepen in het kuststelsel zijn er niet mee te voorspellen. Een morfologisch modelinstrumentarium kan hiervoor een belangrijk hulpmiddel bieden.

Om het morfologische systeem op de verschillende schalen te kunnen beschrijven en om het effect van autonome en mens-gestuurde veranderingen te kunnen bestuderen, zijn verschillende modellen in gebruik en in ontwikkeling.

*Kleine Schaal* (0 tot 5 jaar; 10 - 1000 m) morfologische procesmodellen kunnen onder andere worden toegepast bij het ontwerp van suppleties (inclusief het bepalen van een bijbehorende onderhoudsstrategie), het aangeven van de lokale initiële morfologie rondom constructies en het aangeven van lokale sedimentatie in vaargeulen en havens. Voorbeelden van dergelijke modellen zijn UNIBEST en Delft2D\*MOR.

*Midden Schaal* (5 tot 25 jaar; 100 - 10.000 m) morfologische proces- en gedragsmodellen (zoals Delft3D\*RAM) berekenen het effect op de zeebodem, gedrag van banken/platen en geulen, gedrag van zandwinputten/ontgrondingskuilen.

*Grote Schaal* (25 tot 100 jaar; 1000 - 100.000 m) morfologische modellen doen uitspraken over het effect op gemiddeld plaatareaal, bodemligging en kustlijn. Inmiddels wordt ervaring opgedaan met verschillende Grote Schaal morfologische modellen (PONTOS, ASMITA, Delft3D\*RAM, ESTMORF, empirische relaties, ...).

Er is behoefte aan een duidelijke strategie bij de toepassing en verdere ontwikkeling van deze modellen. Belangrijk aandachtspunt daarbij vormt de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de modeluitkomsten vertaald in maatschappelijke risico's. Prognoses met de modellen zijn onderhevig aan grote onzekerheden. Het kwantificeren van deze onzekerheden is nog lang niet altijd mogelijk. Om een vergelijking mogelijk te maken van de huidige modelnauwkeurigheden met de vereiste/gewenste nauwkeurigheid in beleid en beheer, is het bovendien van belang dat de modellen de juiste beleids/beheersparameters beschrijven. Een duidelijker definitie van deze beleids/beheersparameters (of Coastal State Indicators) is dan ook noodzaak.

### 3.3.4 Veldgegevens

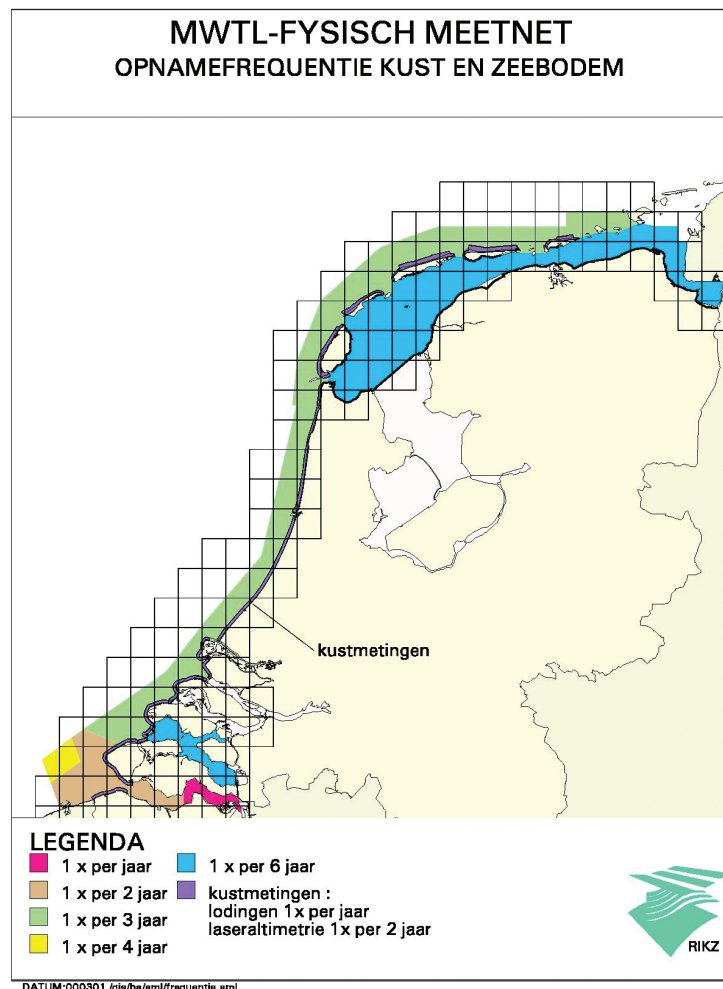
Inzicht in de grootschalige zandbalans vereist de beschikbaarheid van voldoende lange tijdreeksen van bodemdieptegegevens over een voldoende groot gebied.

In de tijd gezien betekent dit gegevens over een periode van (minimaal) enkele tientallen jaren; geografisch gezien bodemdiepte(/hoogte)gegevens in de zone van het zogenaamde kustfundament (dwz tussen NAP -20m en de binnen-duinrand), en van de3 Waddenzee en estuaria in de Delta, welke met het kustfundament één zanddelend systeem vormen.

Het huidige kustmonitorprogramma voorziet grotendeels in deze vraag, zie figuur 3.4. De dekking en de opnamefrequentie van het gehele duingebied vraagt daarbij nog nader aandacht.

Historische dieptegegevens zijn in redelijke mate aanwezig, ook al is daarbij de dekking langs de kust niet overal gelijk (de Kruijff, 2001). Ook hier geldt dat nog nader aandacht nodig is voor gegevens over het duingebied.

**Figuur 3.4**  
Opname frequentie kust en zeebodem.  
Lodingsgebied overdekt bijna het totale Nederlandse kuststelsel uit figuur 3.2.



### 3.4 KUST2005 vorderingen

#### 3.4.1 Nieuwe inzichten Integraal Kustzonebeleid

Om de begrippen 'zand als ordenend principe', 'kustfundamente' en 'de kust als zanddrivier' (zoals geïntroduceerd in NIK, 2002), meer toegankelijk te maken, is de brochure "Zeker Zand" uitgebracht. De communicatie over dit onderwerp blijkt veel aandacht te vragen. Dat komt naar voren uit de discussies in het kader van de uitwerking van de Beleidslijn Kust (voorheen kustbewust) en bij de uitwerking van de plannen voor een mega-suppletieproef voor 2003, mede gericht op handhaving van de afslaglijnen.

Klaarblijkelijk bestaat er nog geen gedragen overeenstemming over:

- de interpretatie van de doelstelling tot handhaving van de zandbalans als overkoepelend beleidsdoel voor de lange termijn;
- het feit dat kustlijnhandhaving sec te realiseren is met orde 6 Mm<sup>3</sup> zand per jaar en dat de resterende 6 Mm<sup>3</sup> per jaar in principe ten dienste kunnen worden gebracht van andere doelen (Integraal Kustzonebeleid!).

Als gevolg hiervan is er ook nog geen duidelijkheid over

- een heldere procedure om tot verdeling van de resterende 6 Mm<sup>3</sup> per jaar over andere doelen te komen.

Wat het laatste betreft is feitelijk is een uitspraak gewenst over

1. de schaal (tijd en ruimte) waarop handhaving van de zandbalans is vereist:
  - a) Willen we dat op een tijdschaal van 50 jaar en een ruimteschaal van de gehele Nederlandse kust, dan kan de jaarlijkse 6 Mm<sup>3</sup> vrijelijk langs de NL kust worden ingezet;
  - b) Willen we dat op een tijdschaal van 50 jaar en een ruimteschaal van afzonderlijke deelsystemen (zandbakken), dan moet een langjarige verdeling langs de kust worden aangehouden zoals bijvoorbeeld gesuggereerd door Mulder (2000). De consequentie van 1.a) kan zijn dat op langere termijn de kustkarakteristiek op regionaal niveau sterk kan veranderen (bijvoorbeeld wanneer op basis van korte termijn overwegingen gekozen wordt voor een prioritaire inzet van de 6 Mm<sup>3</sup> voor de Hollandse kust, ten koste van Delta en Wadden).

Een aanpak volgens 1.b) garandeert voor langere termijn een meer gelijkblijvende karakteristiek op regionaal niveau (bijvoorbeeld een prioritaire inzet van de 6 Mm<sup>3</sup> op jaarbasis voor de Hollandse kust op basis van korte termijn overwegingen, is dan alleen verdedigbaar onder voorwaarde dat op termijn - stel vast op welke termijn! - ook de zandbalans in de andere deelgebieden wordt gecompenseerd).

Feitelijk volgt hieruit een tweede kwestie waarover een uitspraak is gewenst:

2. het **ijk-tijdstip** van de te handhaven zandbalans.  
Is dat bijvoorbeeld 1990 of 2000? En is / moet het ijk-tijdstip voor elk van de deelsystemen gelijk zijn?

Een verdere uitwerking van deze gedachtenlijn staat voor 2003 op het programma.

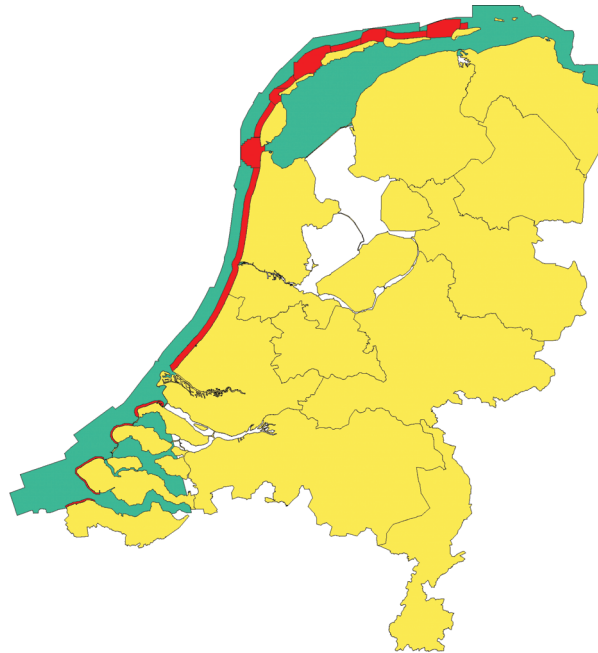
#### 3.4.2 Update grootschalige zandbalans

De zandbalans van het Nederlandse kuststelsel zoals berekend door Mulder (2000), baseerde zich op een dataset welke niet geheel gebiedsdekkend was, zie figuur 3.5. Voor de Waddenkust, maar vooral voor de kust van Holland en de Delta ontbraken veel gegevens. Om tot een beter onderbouwde zandbalans te kunnen komen is als eerste een actie gestart voor een inventarisatie van ontbrekende en beschikbare data.

Dit heeft geleid tot een nieuw en uitgebreid digitaal databestand (de Kruif, 2001), dat zowel voor de Wadden als voor de Delta over de periode 1965 – 2000 gebiedsdekkend is. Voor de Hollandse kust blijven over de periode voor 1995 nog grote gaten bestaan.

**Figuur 3.5**

Lodingsgegevens uit het kustgebied (in rood) die gebruikt zijn bij het opstellen van de zandbalans over het in groen en rood aangegeven gebied.



■ Ge-analyseerde gebieden voor de zandbalans 1965-1995  
 ■ Lodingsgebied volgens kustmonitorprogramma vanaf 1992

Op basis van de vernieuwde dataset is een begin gemaakt met een herberekening van de zandbalans van de verschillende deelsystemen (o.a. de Bok, 2002; Walburg, 2002). Om een vergelijking mogelijk te maken met de zandbalans volgens Mulder (2000), wordt momenteel op deze herberekeningen nog een correctie toegepast voor menselijke ingrepen (suppleties, zand- en schelpenwinning, baggeren en storten).

De begrenzingen voor de deelsystemen zijn scherper gedefinieerd en vastgelegd in een GIS-bestand (zie figuur 3.6). Voor de volledigheid zijn hierbij de Maasgeul en de IJgeul als twee afzonderlijke deelsystemen toegevoegd. Beide vertegenwoordigen deelsystemen waar de zandvoorraad ten dienste van de scheepvaart op peil (= beneden een bepaald maximum) moet worden gehouden.

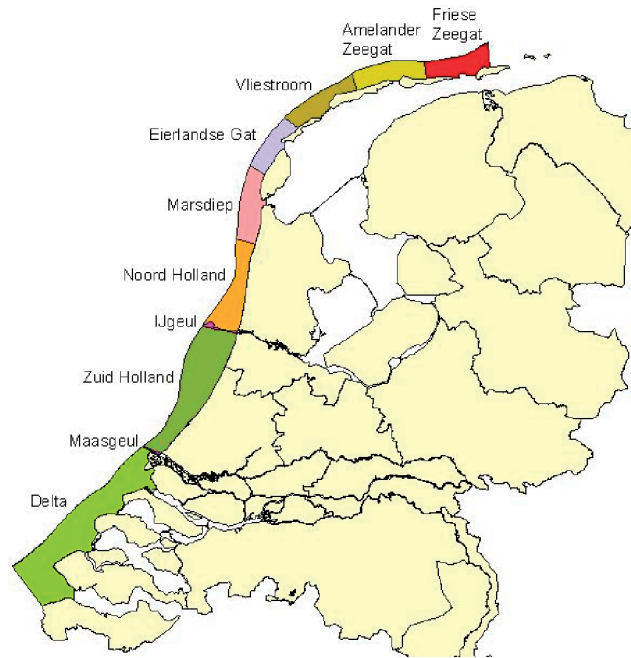
Als zeewaartse grens is conform de 5<sup>e</sup> Nota Ruimtelijke Ordening, de 'doorgaande -20 m lijn' gekozen. Omdat de zandbalans in eerste instantie ten dienste staat van het Nederlandse kustbeleid, is de zuidgrens van het deelsysteem Delta vooralsnog gelegd op de grens met België.

Als opstap naar verder gevoeligheidsonderzoek over de invloed van grenskeuzes op de zandbalans, zijn bij balansberekeningen voor het Zeegat van Texel verschillende definities getest voor de morfologische eenheid buitendelta (Walburg, 2001). Het beeld van een sterk eroderende Marsdiep buitendelta -veelal gebaseerd op 'Hoornse' berekeningen met vaste grenzen in tijd en ruimte- blijkt danig genuanceerd te worden bij het gebruik van tijdsafhankelijke grenzen: de morfologische eenheid buitendelta lijkt zich wel te verplaatsen, maar qua volume redelijk constant te blijven. Dit inzicht is niet zo zeer van belang voor de zandbalans op



**Figuur 3.6**

Nadere definitie van deelsystemen binnen het Nederlandse kuststelsysteem (de Kruijff, in prep.)



(groter) systeem niveau, maar wel voor het begrip van de zeegatwerking. Als zodanig kan het een belangrijke rol spelen bij de oplossing van problemen binnen Einddoel 2.

### 3.4.3 Ontwikkelstrategie morfologische modellen

Een vergelijking van bestaande lange termijn morfologische modellen (Eijsink et al., 2001) en een eerste inventarisatie van de mogelijkheden om met deze modellen een aantal kenmerkende beheersparameters (CSI's) weer te geven (Ruessink en Walstra, 2001) heeft de basis geleverd voor een duidelijker visie op een model ontwikkelstrategie (zie ook Mulder, 2002):

Eijsink et al. (2001) geven twee benaderingen voor verbeteringen van LT-modellen:

- top-down: inbouwen van proceskennis in gedragsmodellen
- bottom-up: inbrengen van gedrag in procesmodellen

Beide benaderingen zijn technisch goed mogelijk.

Aan de bottom-up benadering wordt door Eijsink et al. (2001) echter een meerwaarde toegekend:

- een procesbenadering is conceptueel het meest aantrekkelijk omdat elk gedragsmodel impliciet ook van proceskennis uitgaat;
- een procesmodel kan in principe in ieder morfologisch systeem worden toegepast, zodat in principe elke afbeelding of vereenvoudigd concept mogelijk is;
- door uit te gaan van de ruime mogelijkheden van een procesmodel (zoals Delft3D) voor ruimtelijke en temporele afbeeldingen, is het gemakkelijk een gedragsmodel verregaand te integreren.

Laatstgenoemde argument verwijst naar het belangrijkste basisprincipe voor LT modelontwikkeling:

- een allesomvattend model bestaat niet en zal nooit bestaan: het combineren van gedrags- en procesgebaseerde modellen door een verbetering van de geaggregeerde processen in de gedragsmodellen en het toevoegen van proceskennis is de meest veelbelovende richting.

De bottom-up benadering moge vanuit technisch-wetenschappelijk oogpunt de voorkeur verdienen, voor RWS/RIKZ vormt een eenzijdige bottom-up benadering een bezwaar. Dat bezwaar is gestoeld op twee elementen welke beide verband houden met de verantwoordelijkheid van RWS/RIKZ als beheerder:

1. **'predictability limits'** : praktische problemen spelen zich meestal af op een grotere schaal dan de (proces)schaal van waaruit bij de bottom-up benadering wordt gewerkt. Dat betekent dat vanuit de bottom-up benadering altijd een zekere upscaling zal moeten plaatsvinden tot de 'probleem-schaal'. Rekening houdend met het theoretische gegeven dat er grenzen ('predictability limits') bestaan aan de mogelijkheid van upscaling, bestaat het gevaar dat nooit de probleem-schaal wordt bereikt. Het vinden van deze 'predictability limits' is essentieel voor RWS/RIKZ. Dat kan alleen door een gecombineerde aanpak van top-down en bottom-up.
  2. **probleem gestuurde aanpak** : Vanuit zijn primaire verantwoordelijkheid als beheerder dient bij een gecombineerde benadering, het probleem (top-down) zoveel mogelijk sturend te zijn.
- RWS/RIKZ kiest dan ook voor een strategie waarbij
- een top-down benadering sturend is; en
  - via een combinatie met een bottom-up benadering gezocht wordt naar de 'predictability limits'.

Deze strategie wordt in 2003 verder concreet uitgewerkt.

#### 3.4.4 Completering langjarige reeks bodemdieptegegevens

Hiaten in de tijdreeksen van bodemdieptegegevens over de periode 1965 – 2000, zijn zo veel mogelijk opgevuld. Voor Zeeland en het Wadden kuststelsel zijn op deze wijze redelijk complete reeksen gevormd ( de Bok, 2002; Walburg, 2002 ). Voor de Hollandse kust blijven belangrijke hiaten bestaan. Onderzocht wordt een methode om langs statistische weg, en deel van de hiaten te vullen.

### 3.5 Referenties

#### 3.5.1 KUST2000 / KUST2005 produkten

2000

**Hinton, C. L., 2000**, Decadal Morphodynamic behaviour of the Holland Shoreface, PhD Thesis Flood Hazard Research Centre, School of Social Science, Middlesex University, July 2000

**Mulder, J.P.M., 2000**. Zandverliezen in het Nederlands kuststelsel. Advies voor dynamisch handhaven in de 21e eeuw. Rapport RIKZ/2000.36

2001

**Eysink, W.D., Walstra, D.J.R, Stive, M.J.F., 2001**. Vergelijking van bestaande lange-termijn morfologische modellen, WL Delft Hydraulics rapport Z3005, januari 2001, 51 pagina's + bijlagen

**Frantsen, P.J., 2001**. Bathymetrie van het Nederlandse deel van het continentaal plat, NITG-01-162C.

**Mulder, J.P.M., 2001**. Kustonderhoud in de 21e eeuw: naast kleinschalige, ook grootschalige aanpak. Zoutkrant Maart 2001, No 1.

**Ruessink, G., Walstra, D.J., 2001.** Coastal state indicatoren en lange-termijn modellen, WL Delft Hydraulics rapport Z3175, november 2001

**Walburg, L., 2001.** De zandbalans van het Zeegat van Texel, bepaald met verschillende buitendelta-definities. Werkdocument RIKZ/OS 2001.136X

**Kruif, A. de, 2001.** Bodemdieptegegevens van het Nederlandse kuststelsel. Beschikbare digitale data en een overzicht van aanvullende analoge data. Rapport RIKZ/2001.041

2002

**Bok, C. de, 2002,** Zandbalans van het deelsysteem "Delta".  
Werkdocument RIKZ/2002.114.X

**Kruif, A.C. de, 2002.** Begrenzings van deelsystemen, in prep

**Mulder, J.P.M. en M. van Koningsveld, 2002.** Sustainable coastal policy in the Netherlands. A small- and large scale approach. Abstract ICCE 2002 Cardiff

**Mulder, J.P.M., 2002.** Ontwikkeling van een morfologisch model op nationale schaal. RIKZ Memo dd 19 april 2002

**Walburg, L. 2002.** Zandvolumes in het kuststelsel van de Wadden – niet gecorrigeerd voor menselijke ingrepen, RIKZ/OS/2002.137x,

2003

**Koningsveld M. van, and J.P.M. Mulder, 2003 A.** Sustainable coastal policy in the Netherlands. A small- and large scale approach. Proceedings ICCE 2002 Cardiff

**Koningsveld M. van, and J.P.M. Mulder, 2003 B.** Co-operation between science and coastal management; development of a sustainable coastal policy in the Netherlands. Submitted to Journal of Coastal Research

### 3.5.2 Overige referenties

**Aarninkhof, S. en I. Tanczos, 2001.** Ruimte voor de zandrivier. Een aanzet tot een morfologisch afwegingskader voor de Nederlandse kust. WL Delft Hydraulics Report Z3200

**Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996.** Kustbalans 1995; de tweede kustnota, april 1996

**Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000.** 3e kustnota; Traditie, Trends en Toekomst, december 2000.

**Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Unie van Waterschappen, 2001.** Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening.

**NIK, 2002.** Naar Integraal Kustzonebeleid. Beleidsagenda voor de kust, januari 2002. Nota van ministeries VenW, LNV, VROM, EZ, kustprovincies, Unie van Waterschappen en enkele kustgemeenten. Uitgave project Kustbewust, RIKZ Den Haag

**Rijksinstituut voor Kust en Zee, 1995.** De kust in breder perspectief; basis-rapport kustnota 1995, RIKZ-95.005, februari 1995.

**Roelse P., 1996.**, Evaluatie van zandsuppleties aan de Nederlandse kust 1975-1994, een morfologische beschouwing, RIKZ-96.028, ISBN 90-369-0455-2

**Roelse, P., 2002.** Water en Zand in Balans. Evaluatie zandsuppleties na 1990; een morfologische beschouwing. RIKZ 2002.003 ISBN 90-36-369-3426-5

**RWS/RIKZ, 2002,** Zeker Zand. Brochure RWS/RIKZ

**TAW, 1999.** Leidraad Toetsing op Veiligheid. Technische Advies Commissie voor de Waterkeringen, augustus 1999.

**Tweede kamer, 1990.** Kustverdediging na 1990; beleidskeuze voor de kustlijnverzorging, vergadering 1989-1990, 21 136 nrs. 5-6.

**Wal, D. van der, 1999.** Aeolian Transport of Nourishment Sand in Beach-Dune Environments, Thesis Universiteit van Amsterdam

---

## 4 Zeegaten in Wadden en Delta – Einddoel 2

---

### 4.1 Regionale schaal

Einddoel 2 betreft de ontwikkeling van morfologische kennis op de regionale schaal van zeegaten in het Waddengebied en van zeearmen en hun mondinggebieden in de Delta. De kenmerkende ruimteschaal is 1-50 km; de schaal loopt van individuele geulen, platen en delen van de aangrenzende kust tot een heel mondingsgebied, bijvoorbeeld van het Oostgat en het bankje van Zoutelande tot de gehele monding van de Westerschelde en van de strandhaak bij Ameland tot het hele Zeegat van Ameland en de aangrenzende kust; de bijbehorende kenmerkende tijdschaal in dit natuurlijke (morfologische) systeem loopt van seizoenen tot 150 jaar (zie ook figuur 2.1).

### 4.2 Operationele stand van kennis

Het huidige beleid en het dagelijkse beheer van de zeegaten is een goede weerspiegeling van de operationele stand van kennis over de morfologie. Voor de zeegaten is hierbij bepalend het kustbeleid (zoals weergegeven in Hoofdstuk 3 en 5) en het beleid voor de Waddenzee en de estuaria in de Delta.

#### 4.2.1 Kustbeleid en beleid voor Waddenzee en estuaria

De zeegaten met hun bijbehorende buitendelta's en aangrenzende kustdelen, vormen belangrijke onderdelen van het kuststelsel. Voor de zeegaten geldt de beleidsopgave voor het kuststelsel: een duurzaam kustfundament op nationale schaal en de doelstellingen van de 1ste kustnota (1990): het duurzaam handhaven van de veiligheid en duurzaam behoud van de functies en waarde in het duingebied. (zie ook hoofdstuk 3).

Door hun positie op het grensvlak tussen kust en Waddenzee cq. estuaria, zijn voor de zeegaten evenzeer van belang de beleidsdoelstellingen voor het binnengebied. Voor de Waddenzee betreft dit in hoofdzaak het behoud van natuurlijke ecologische waarden (PKB Waddenzee), voor de Westerschelde een optimalisatie van scheepvaart- en natuurbelangen (Beleidsplan Westerschelde), voor het Haringvliet (en een eventuele openstelling) evenals voor Grevelingen en Oosterschelde, geldt het behoud van natuurwaarden in de Voordelta en in het binnengebied, naast waarden voor recreatie, visserij en scheepvaart.

De morfologie is -letterlijk- drager van functies, zoals het areaal intergetijdgebieden met hoge natuurwaarde en vaargeulen met een duidelijk economisch belang. Een voorbeeld wordt gegeven in de Lange Termijn Visie Westerschelde (2001), waar kennis van het zanddelend systeem van de Westerschelde medebepalend is voor het bagger- en stortbeleid en zandwinning. Overigens is hierbij opmerkelijk dat in de Westerschelde een andere interpretatie wordt gegeven van het begrip zanddelend systeem dan in de Waddenzee. In de Waddenzee wordt zandwinning verboden, terwijl deze in de Westerschelde nog wordt toegestaan. Een discrepantie in het beleid die nader aandacht verdient.

Kenmerkende grondslag voor dit beleid en verwante beleidsvoornemens vormt het morfologische concept van een *'zanddelend systeem'*: de gehele Nederlandse kust met zijn deelsystemen (zoals gedefinieerd in H.3) vormt een (min of meer gesloten) systeem met de Waddenzee en estuaria waarbinnen uitwisseling van zand plaats heeft tussen de verschillende morfologische onderdelen. In de nota 'naar een integraal kustzonebeleid' (2002) wordt de dynamiek van het kustsysteem benadrukt en wordt een vergelijking gemaakt met een traag stromende "zandrivier" (zie ook figuur 3.1).

Bij de zeegaten speelt het concept van de zogenaamde *'zandhonger'* van de getijdebekkens - als gevolg van een stijgende zeespiegel of van een verandering in het getij-debiet in reactie op een gedeeltelijke afsluiting zoals bij de Oosterschelde - , een belangrijke rol als motor binnen het zanddelend systeem (Louters en Gerritsen, 1994).

Basisveronderstelling hierbij is dat de grootte en ligging van geulen en platen in zeegaten en op buitendelta's, in natuurlijke situaties, *in evenwicht* zijn met de lokale hydrodynamische condities. Dit evenwicht is dynamisch, er vinden steeds veranderingen plaats in vorm, afmetingen en ligging van platen en geulen.

#### 4.2.2 Beheer van kust en vaargeulen

Het beheer vraagt om het ontwerp en de uitvoering van maatregelen welke nodig zijn om de beleidsdoelstellingen te realiseren.

- **Interactie van beheersmaatregelen**

Beheersmaatregelen voor het ene doel, kunnen van invloed zijn op het ander. Maatregelen als verdieping van de de Westerschelde ten behoeve van de scheepvaart en openstelling van het Haringvliet hebben consequenties voor het kustbeheer.

Grootschalige ingrepen hebben een *direct* effect op het zanddelend systeem - door te baggeren en te storten of door de aanwezigheid van een 'obstakel' in het zandtransport - en een *indirect* effect - door een verandering in evenwichtligging en zanduitwisseling. De morfologische gevolgen van de ingrepen kunnen consequenties hebben voor, onder andere, natuurwaarden, recreatie en vaargeulen. De verwachte gevolgen van ingrepen worden op basis van bestaande kennis gerapporteerd in verkennende onderzoeken en in MER trajecten.

Een optimaal ontwerp en uitvoering van een beheersmaatregel is gebaat bij een voorspelling van mogelijke effecten. Het belang van accurate voorspellingen van de morfologie ligt vooral in het vaststellen van eventuele negatieve gevolgen waarvoor mitigerende of compenserende maatregelen noodzakelijk zijn. Deze maatregelen werken door in het ontwerp.

Voorspellingen van morfologische ontwikkelingen komen tot stand op basis van kennis van de zandhuishouding van het kustsysteem, evenwichtsrelaties van de morfologie en gedetailleerde kennis van processen op het gebied van de erosie, het transport en de depositie van zand en slib. De kennis is deels beschikbaar in de vorm van numerieke - computer- modellen, en wordt deels verwoord in 'denkmodellen' oftewel 'conceptuele modellen'. 'Conceptuele' modellen hebben de vorm van een kaart waarin de belangrijkste sedimenttransporten door golven en getij en de beschikbare sedimentbronnen staan aangegeven. Bij de kaart hoort een serie 'als-dan' redeneringen over opgetreden en nog op te treden morfologische veranderingen. In numerieke modellen wordt óf de waterbeweging en het sedimenttransport in detail nagebootst, op basis van fysische wetten en regels ('first principles') óf op basis van geobserveerde 'gedragsregels', bijvoorbeeld van het evenwicht tussen debiet en geuldoorsnede.

• **Kustbeheer rond zeegaten**

Bij het kustbeheer rond zeegaten wordt onderscheid gemaakt tussen gebieden waar wèl en waar géén BKL is gedefinieerd. (Figuur 4.1). Gebieden zonder BKL vormen de dijklichamen van Westkapelle, van de Slufterdam en van de Pettemmer Zeewering. Voor de dijken geldt dat handhaving van de (korte termijn) veiligheid wordt gegarandeerd door maatregelen in de sfeer van dijkontwerp; alleen bij de Slufterdam is sprake van additionele zandsuppleties gefinancierd uit andere bronnen dan het kusthandavingsbudget. Een ander uitzonderingsgebied zijn de strandvlaktes op sommige eilandkoppen; gebieden met uitsluitend een functie als natuurgebied. Door op de strandvlaktes geen BKL te definiëren en, gekoppeld daaraan, geen beheersmaatregelen te nemen, wordt volledig vrije ontwikkeling toegestaan. Een specifieke, gebieds-gerichte invulling van de doelstelling tot behoud van functies in het duingebied.

.....  
**Figuur 4.1**  
 Locaties langs de nederlandse kust  
 waar géén BKL is gedefinieerd.



In gebieden met een BKL is rond de zeegaten is kustlijnhandhaving duidelijk anders dan langs de rest van de kust. De kustgebieden rond de zeegaten, verder aangeduid met 'eilandkoppen', hebben een aantal karakteristieken die ze onderscheidt van de ononderbroken Hollandse kust en de centrale gedeelten van de Waddeneilanden. Belangrijkste karakteristiek is de aanwezigheid van getijdegeulen en zandplaten vlak onder de kust. Dezegeulen en platen zijn bepalend voor de kustontwikkeling en verplaatsen in samenhang met de grootschalige morfologische ontwikkelingen in getijdebekkens, zeegaten en buitendelta's. De kustlijnhandhaving rond eilandkoppen kent daardoor een eigen problematiek, die tot uiting komt in zowel (1) de maatlat (BKL) voor het vaststellen van de noodzaak tot een ingreep; en (2) de maatregel (zandsuppletie) om de kust te handhaven.

1) *de maatlat (BKL) voor het vaststellen van noodzaak tot ingrijpen*  
 De ligging van de kustlijn wordt ieder jaar bepaald volgens de BKL/MKL methode (hoofdstuk 5). De definitie van de MKL en de ligging van de BKL

bepalen in hoeverre de dynamiek van de geulen en platen bij eilandkoppennopen tot beheersingrepen om de kustlijn te handhaven.

Wanneer een getijdegeul vlak voor de kust langsloopt zal de ontwikkeling van de MKL de ontwikkeling van de geul volgen. Geulverplaatsing landwaarts leidt dan uiteindelijk tot een ingreep in de vorm van zandsuppleties. Op de kop van Ameland is bij het vaststellen van de BKL de in de jaren '80 aangelande zandplaat meegenomen als onderdeel van de kustlijn. Hierbij is geen rekening gehouden met het feit dat de aangelande zandplaat van nature ook weer erodeert (Israël en Oost, 2001). De erosie van de zandplaat leidde daarom al snel tot een overschrijding van de BKL, hoewel er niet sprake was van een duidelijke bedreiging van de veiligheid (Oost e.a., 2000). De natuurlijke fluctuaties door het aanlanden en eroderen van zandplaten bij dit deel van de kust van Ameland (50-60 jaar) overstijgen de periode voor het vaststellen van de BKL (10 jaar) (Oost e.a., 2000). Ook de ruimteschaal van de fluctuaties (de aangelande zandplaat heeft een lengte van enkele kilometers) overstijgt die van de MKL / BKL methodiek (de raaiafstand is 250 m).

In de 3e kustnota wordt gesteld dat "In gebieden waar geen functies in het geding zijn ten gevolge van fluctuaties van de kustlijn, de benadering van handhaven per raai (circa om de 250 m), kan worden vervangen door een benadering waar de gemiddelde kustlijn wordt gehandhaafd over een groter kustvak (bijvoorbeeld 5-10 km). Dit komt de natuurlijkheid van de kust ten goede en voorkomt onnodige of te vroegtijdige suppleties". Vooralsnog is er geen andere maatlat beschikbaar voor het signaleren van mogelijke problemen per raai. De BKL/MKL methodiek blijft daarom voor eilandkoppennopen de aangewezen methodiek, waarbij kennis van de lokale variatie in de kustlijn medebepalend is.

#### 2) *de maatregel om de kust te handhaven.*

De kustlijnhandhaving bij eilandkoppennopen met een getijdegeul dicht onder kust vindt plaats door middel van strandsuppleties. Het uitvoeren van onderwatersuppleties wordt over het algemeen niet werkbaar geacht, omdat verondersteld wordt dat zand in eerste instantie al niet op de geulwand zal blijven liggen of alsnog snel weggevoerd zal worden door de sterke getijstromingen. Beide veronderstellingen zijn gebaseerd op aannames over het sedimenttransport in getijdegeulen.

In het verleden is veelal - meest recent nog door aanleg van de Eierlandse Dam - met harde kustverdedigingswerken het opdringen van een geul aan de kust tot staan gebracht. Hoewel de harde kustverdedigingsmaatregelen op zich effectief zijn, kunnen ze (onvoorziene) gevolgen hebben voor de rest van het kuststelsel. Bij het handhaven van de kustlijn nabij zeegaten is ook van belang hoe de ingrepen doorwerken in de zandhuishouding van de Nederlandse kust. Traditionele harde kustverdedigingswerken leveren geen bijdrage aan het aanvullen van zandtekorten van de kust en kunnen ook de 'vrije zandstroom' tussen onderdelen van het kuststelsel hinderen. Het uitvoeren van onderwatersuppleties langs eilandkoppennopen heeft wel een positief effect op het aanvullen van het zandbudget.

#### 4.2.3 **Verschillende tijd- en ruimte schalen**

De operationele stand van kennis zoals die naar voren komt in het beleid en beheer kan worden samengevat op drie schaalniveaus. Van groot naar klein: (1) op de schaal van de gehele Waddenzee, Westerschelde en aangrenzende kust betreft dit het zanddelende stelsel, (2) op de schaal van zeegaten en buitendelta's gaat het over evenwichtsligging en cyclisch gedrag van geulen en platen en (3) op de schaal van kust, geul en plaat betreft het processen op het gebied van erosie, transport en depositie van sediment.

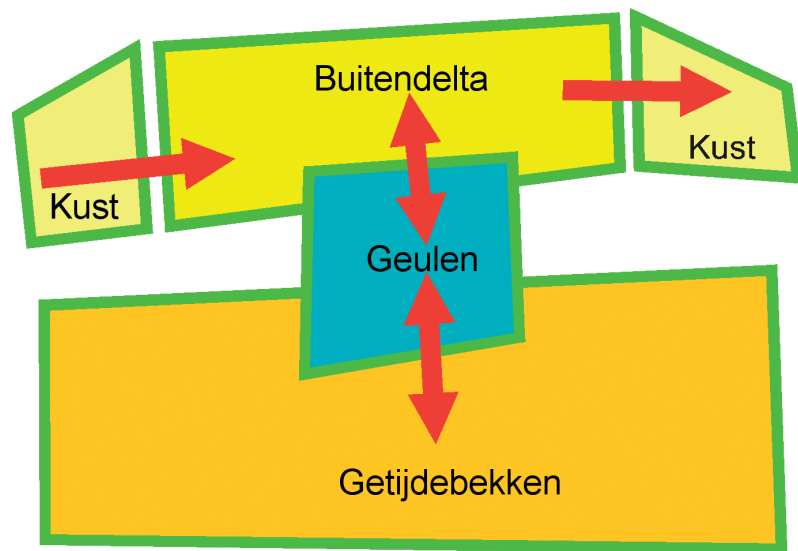


- **Het zanddelend systeem: grootschalige zanduitwisseling**

Het begrip 'zanddelend systeem' heeft betrekking op de uitwisseling van zand tussen de onderdelen van het kuststelsel. Op grote schaal is het systeem in vier componenten op te delen: het getijdebekken (in de Waddenzee), de eilandkusten links en rechts van het zeegat, de buitendelta, en de geulen in de keel van het zeegat (figuur 4.2). Door de getijde- en golfwerking worden er grote hoeveelheden zand en slib heen en weer getransporteerd (figuur 4.2). Wanneer er gemiddeld over een tijdvak geen veranderingen optreden in het zanddelend systeem is er voor het beschouwde tijdvak sprake van een "dynamische" evenwichtsituatie: er wordt dan net zoveel zand het getijdebekken in getransporteerd, als er weer uit. De transportprocessen spelen op korte tijdschalen van seconden en minuten voor golven, tot dagen en weken voor het getij. Het is de optelsom over een lange periode (van orde tientallen jaren) die het zanddelend systeem bepalen. Over een lange periode spelen allerhande subtiele terugkoppelingen een rol, waardoor het grootschalige evenwicht in stand blijft.

**Figuur 4.2**

Schematische weergave van de belangrijkste elementen van het zanddelend systeem van kust, buitendelta, geulen in het zeegat en getijdebekken, met hoofdrichtingen van de sedimenttransporten.



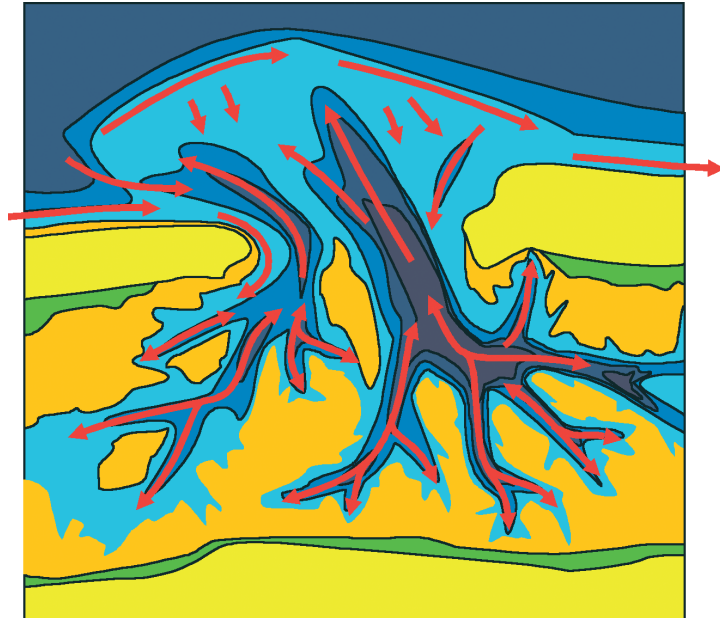
Externe veranderingen in het zanddelend systeem, bijvoorbeeld door de stijging van de zeespiegel of de afdamming van een deel van het getijdebekken, leiden tot morfologische aanpassingen die gericht zijn op het herstellen van een evenwichtsituatie. Bij het voorbeeld van de stijgende zeespiegel neemt het getijdeprisma (het totale watervolume dat gedurende een getij het bekken in- en uitstroomt) toe, maar door sedimentatie op platen en in geulen zal deze toename niet bijzonder groot zijn. Bij de afdamming van een deel van het getijdebekken neemt het getijprisma af en zijn plotsklaps de natte doorsnede van het zeegat en het zandvolume van de buitendelta groter dan passend bij het nieuwe getijdevolume. De essentie van het zanddelend systeem is dat het zand dat gebruikt wordt voor het herstellen van de evenwichtsituatie, onttrokken wordt aan de andere delen van het zanddelend systeem. In het voorbeeld van de afdamming is, volgens de huidige inzichten (een deel van) het overtollige zand uit de buitendelta beschikbaar voor sedimentatie in de te ruime geulen. Bij een stijgende zeespiegel gaat het zand dat in het getijdebekken wordt afgezet op platen en in geulen ten koste van de eilandkusten, wat resulteert in een achteruitgang van de kust. De operationele stand van kennis van het zanddelende systeem ligt aan de basis van het huidige beleid om de zandvoorraad van de gehele Nederlandse kust op peil te houden.

- **Dynamisch evenwicht en cyclische processen**

In het voorgaande stuk is al gesproken over het grootschalige dynamische evenwicht tussen de verschillende onderdelen van het zanddelend systeem. Ook op het schaalniveau van individuele zeegaten en zelfs geulen is sprake van dynamisch evenwicht tussen de waterbeweging en de morfologie, zie

**Figuur 4.3:**

Zandtransporten langs de kust, door het zeegat en in het getijdebekken. Langs de eilandkusten vindt golfgedreven transport van zand plaats, dat over een langere periode één kant op gaat. Dit golfgedreven transport bereikt de buitendelta, waar een deel van het zand naar het getijdebekken wordt getransporteerd en een deel langs het zeegat wordt getransporteerd naar de volgende eilandkust ('sand by-passing'). De getijdestroming transporteert het zand door de keel van het zeegat naar het getijdebekken, waarbinnen het transport verder gaat. In het getijdebekken wordt het zand verder getransporteerd door de getijdestroming en, wanneer het zand de platen bereikt heeft, ook onder invloed van golven.



bijvoorbeeld Louters en Gerritsen (1994) en Steijn (1991). De 'natte doorsnede' van de geulen in het getijdebekken correspondeert met de hoeveelheid water die er door heen stroomt en met het oppervlakte van het kombergingsgebied. Deze empirische relaties worden gevonden voor alle zeegaten en buitendelta's in de wereld, waarbij lokale bijzonderheden zoals de verhouding tussen de invloed van golven en getij en de korrelgrootte van het sediment, voor variatie zorgen. De operationele stand van kennis over evenwichtsrelaties is medebepalend voor het bagger- en stortbeleid in de Westerschelde.

Bij deze evenwichtsrelaties geldt over het algemeen een tijdschaal van enkele tientallen jaren (bepaald door de beschikbare meetreeksen). Vorm en afmetingen van morfologische eenheden kunnen hiermee redelijk worden beschreven. Dat geldt echter (nog) niet voor de locatie. Het cyclische gedrag van geulen en platen op de buitendelta, kan (nog) niet met een empirische relatie worden beschreven. De operationele stand van kennis over cyclisch gedrag is dan ook (nog) gering.

- **Kust-geul-plaat interactie: kleinschalige transportprocessen**

Op het niveau van kust, plaat en geul worden de randvoorwaarden voor de doorsnede van de geul gegeven door bovenstaande evenwichtsrelaties. Deze vertellen echter nog niets over de oorzaak van de veranderingen die er optreden. De hydrodynamische en zandtransportprocessen op dit schaalniveau moeten hierover uitsluitsel geven. De kennis op dit schaalniveau is veelal verpakt in morfodynamische procesmodellen en de onderliggende waterbeweging- en transportformuleringen. Het is moeilijker dan bij de eerder genoemde punten om de operationele stand van kennis op deze schaal terug te zien in het beleid en beheer. De kennis komt bijvoorbeeld naar voren in het feit dat het uitvoeren van onderwatersuppleties op locaties met een geul dicht onder de kust niet wenselijk wordt geacht. Dit komt voort uit de gedachte dat het zand

mogelijk niet op steile geulwanden kan blijven liggen en de gedachte dat het zand op dergelijke locaties snel zal verdwijnen. In beide gedachtes zit operationele kennis verstopd: de evenwichtshelling voor zand is minder steil dan de meeste geulwanden in kwestie en het water stroomt op dergelijke plekken zo snel dat er veel transport op zal treden. De levensduur van de suppletie is dan minder lang dan wenselijk is uit efficiencyoverwegingen. De operationele stand van kennis van de sedimentuitwisseling tussen kust, geul en plaat is aanleiding om tot op heden geen zandige ingrepen onder water uit voeren bij geulen dicht onder eilandkusten.

### 4.3 Behoeftte aan kennis, modellen en veldgegevens

#### 4.3.1 Grootschalige zanduitwisseling

Het duurzaam handhaven van het kustfundament levert vragen op over het zandbudget van de gehele Nederlandse kust (zie Einddoel 1). Specifiek voor zeegaten zijn vragen over het handhaven van het kustfundament en de gevolgen van ingrepen voor het kustfundament. Het handhaven van het kustfundament betekent dat de zandverliezen van het gehele kuststelsel worden aangevuld. Naast de vraag hoeveel zand er daadwerkelijk aangevuld moet worden (Hoofdstuk 4), levert dit specifiek rond zeegaten een vraag op over de werking van het zanddelend stelsel:

- 'Waar gaat het zand heen?'

Dit is direct gerelateerd aan:

- De vraag waar je de zandvoorraad van het kustfundament het beste kunt aanvullen.
- Vragen over de invloed van het baggeren en storten in de getijdebekkens op het kustfundament, met name in de Westerschelde en de Eems-Dollard.
- In het algemeen hoort daar de vraag bij of de ingrepen om het kustfundament op peil te houden het gewenste hebben.

#### 4.3.2 Dynamisch evenwicht en cyclische processen

De kennisbehoefte over 'dynamische evenwichten en cyclische processen' is gekoppeld aan de vraag naar effecten van de natuurlijke veranderingen en de gevolgen van menselijke ingrepen. Vragen vanuit het beleid en beheer die hierbij spelen zijn bijvoorbeeld: (-) Hoe grijpen grootschalige ingrepen in de (mondingsgebieden) van zeearmen en getijdebekkens in op de ligging van geulen (met name vanwege de scheepvaart) en platen (met name vanwege de natuurwaarden)? en (-) kan rond de zeegaten van de Wadden de methode van kustlijnhandhaving aangepast worden aan de lokale grootschalige fluctuaties in de kustlijnligging ('van raai naar vak', 3e kustnota). Onderzoeksvragen die hieruit voortkomen zijn:

- Hoe beïnvloedt golfwerking de ligging van de buitendelta, oftewel, wat is de rol van de golfwerking op de evenwichtsdiepte van buitendelta's
- Welke mechanismen zijn verantwoordelijk voor de (cyclische) verplaatsing van geulen en platen op de buitendelta's
- Wat zijn de verschillende manieren waarop zand langs buitendelta, van het ene eiland naar het volgende eiland getransporteerd wordt en hoe groot zijn deze transporten (sand bypassing)?
- In hoeverre wordt de evenwichtsligging van geulen en platen (permanent) verstoord door grootschalig baggeren en storten.

#### 4.3.3 Kleinschalige transportprocessen

Op de schaal van de zanduitwisseling tussen kust, geul en plaat komt de kennisbehoefte voort uit verschillende aspecten van het kustbeleid en -beheer. De wens om de kustlijnligging te handhaven met zandige ingrepen

vraagt om kennis over de toepasbaarheid van geulwandsuppleties. Voor een goede vergelijking is ook kennis van harde kustverdedigingsmaatregelen nodig. Wanneer geulen verruimt worden, of de geometrie aangepast wordt (van breed en ondiep naar smal en diep) verandert mogelijk de uitwisseling van sediment tussen plaat, geul en kust, waardoor de lokale morfologische ontwikkelingen beïnvloedt worden.

Onderzoeksvragen die hierbij aan de orde komen hebben betrekking op de natuurlijke situatie:

- Wat zijn de onderliggende oorzaken voor de verplaatsing van geulen in de richting van eilandkusten ?
- Wat zijn de oorzaken voor de opbouw en afbraak van zandhaken op eilandkoppen ?

Daarnaast zijn er ook vragen die betrekking hebben op menselijke ingrepen:

- Op welke manier beïnvloeden harde kustverdedigingswerken de uitwisseling van zand tussen plaat-geul en kust ?
- In hoeverre leidt een geulwandsuppletie tot een lokale toename van het sedimenttransport ?

#### 4.3.4 Morfologisch modelinstrumentarium

##### • Gedragsmodellen

Op het schaalniveau van het zanddelende systeem van getijddebekken, buitendelta en aanliggende kust moet het modelinstrumentarium in staat zijn om de sturende factoren op dat geaggregeerde niveau te volgen. Zeespiegelstijging en grootschalige menselijke ingrepen zijn hier voorbeelden van. Er is behoefte aan deze modellen om de gevolgen in kaart te brengen van zeespiegelstijging in het verleden en in de toekomst, en van grootschalige menselijke ingrepen op het zanddelend systeem. Binnen een buitendelta of estuarium is behoefte aan modellen die het dynamisch evenwicht en cyclisch gedrag van geulen en platen kunnen weergeven.

*Numerieke morfologische modellen zijn er in soorten, zoals aangegeven bij Einddoel 1 (par. 3.3.1). Daar wordt ook aangegeven wat de gewenste ontwikkelrichtingen zijn en ingegaan op een aantal aspecten met betrekking tot voorspelbaarheid.*

*Modellen die werken op het niveau van grootschalige zanduitwisseling, evenwichten en cyclisch gedrag zijn veelal gebaseerd op een combinatie van empirische verbanden en procesinzicht waarmee het morfologische gedrag kan worden beschreven.*

*Voorbeelden van deze zgn. gedragsmodellen zijn ASMITA (bijvoorbeeld in Kragtwijk, 2001), en het Shoreface Translation Model (bijvoorbeeld in Cleveringa, 2000). Het geaggregeerde karakter van de modellen wordt op verschillende manieren bereikt. In ASMITA wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van tot zand en watervolumes geschematiseerde onderdelen van de kust. In deze benadering volgen de morfologische veranderingen uit aanpassingen aan het grootschalige evenwicht, via een evenwichtsconcentraties van sediment.*

*De grootte van geulen en platen in estuaria, zeegaten en op buitendelta's en veranderingen daarin komen specifiek aan de orde in gedragsmodellen zoals ESTMORF en MORRES. Deze modellen zijn gebaseerd op evenwichtrelaties voor kenmerkende onderdelen van de kust.*

De evenwichtrelaties die in de modellen gebruikt worden zijn voornamelijk gebaseerd op de kenmerken van de getijddebekken, waar golven een andere invloed hebben op de morfologie dan op buitendelta's. De andere rol van golven komt met name tot uitdrukking in de zeewaartse drempels van de geulen op de buitendelta's. Het is de vraag of deze golfinvloed op

de juiste wijze in een empirisch verband kan worden weergegeven.

- **Calibratie en validatie procesmodellen**

Veel van de kennis over erosie, transport en depositie op het schaalniveau van kust, geul en plaat zit verstopt in gedetailleerde procesmodellen. De cyclus van testen, evalueren en ontwikkelen heeft een korte doorlooptijd bij deze procesmodellen. Nieuwe inzichten op deze gebieden, zoals die bijvoorbeeld voortkomen uit de metingen in de Westerschelde, het Zeegat van Texel en het Zeegat van Ameland, moeten doorwerken in de modellen. Hiervoor is een overzicht van de modeltoepassingen en de modelontwikkelingen van de afgelopen jaren gewenst. Met name ontwikkelingen op het gebied van afregeling, calibratie, verificatie en voorspelbaarheid moeten op rij worden gezet.

Vanuit de modelleers is steeds meer vraag naar metingen voor het afregelen en kalibreren van de modellen. Het betreft dan met name stromings- en golfinformatie. Het is nog onduidelijk wat voor meetinformatie (soort gegevens, frequentie, dichtheid, punt, raai, vlak of ruimte) daadwerkelijk kan bijdragen aan de modellen. Verder moet duidelijk gemaakt worden op welke manier de informatie bijdraagt: gebeurt dit door een kwalitatieve of kwantitatieve vergelijking; wat is de manier waarop omgegaan wordt met natuurlijke variatie en de meetfout?

- **Het 'data-model' en data-model integratie**

Bij het analyseren van morfologische vraagstukken wordt informatie uit veel verschillende bronnen gecombineerd. Enerzijds wordt gebruik gemaakt van verschillende typen veldgegevens, anderzijds worden modeluitkomsten gebruikt. Het samenvoegen van al deze informatie gebeurt nu nog in het hoofd van de onderzoeker of in innige samenwerking in de hoofden van meerdere onderzoekers. Kennis van of 'een gevoel over' onzekerheden is daar vaak bij inbegrepen. Het samenvoegen is niet objectief reproduceerbaar, er is niet te beoordelen of alle informatie is verwerkt en welke waarde aan de verschillende bronnen wordt toegekend. Het gebruik van hulpmiddelen om dit proces te begeleiden, in de vorm van data-model integratie, is gewenst.

*Er zijn op dit moment twee methodes om gegevens te combineren en zo meer informatie te vergaren. De 'methode McLaren' gebruikt de karakteristieken van korrelgrootte verdelingen in een gebied om sedimenttransportpaden te achterhalen. Deze methode is niet objectief reproduceerbaar (Groenenberg en Weltje, 1996). Het Inverse Sediment Transport Model combineert bodemliggingsgegevens uit verschillende jaren met meetgegevens of stromingsinformatie tot sedimenttransportpaden.*

#### 4.3.5 Veldgegevens

De behoefte aan meetinformatie komt voort uit de behoefte aan kennis over het systeem (zie 4.31, -2 en -3). Veldgegevens worden gebruikt bij de studie van analoge ingrepen, de interpolatie/extrapolatie van trends en de analyse van relaties tussen verschillende kenmerken. De analyse van meetgegevens kan ook aanleiding zijn tot het formuleren en toetsen van hypothesen. Meetgegevens maken de calibratie en validatie van numerieke modellen mogelijk.

- **Meetreeksen over lange periodes**

Kennis van het zanddelend systeem vraagt om bodemgegevens en debietmetingen, die over langere periodes (decennia - eeuwen) verzameld zijn. Om de ontwikkeling van het kustfundament te kunnen volgen zullen

ook in de toekomst met enige regelmaat bodemligginggegevens verzameld moeten worden.

Langjarige reeksen van debietmetingen van zeegaten, in combinatie met de waarnemingen van waterstanden, leveren een onafhankelijk toets op de bodemligginggegevens. Wanneer in een getijdebekken het zandvolume volgens de bodemligginggegevens dusdanig toeneemt dat het getijddevolume afneemt, dan moet dit, bij gelijkblijvende waterstanden, ook duidelijk worden uit een afname van het debiet.

Voor een goede analyse van de meetgegevens is het ook belangrijk om de nauwkeurigheid van de metingen te kennen. Hierbij is speciale aandacht nodig voor de veranderingen in de meetmethodes, die oorzaak kunnen zijn voor trendbreuken in de meetreeksen.

Voor het afleiden van evenwichtsrelaties in zeegaten zijn bodemligginggegevens en waterbeweginggegevens noodzakelijk, bestaande uit zowel debieten, waterstanden en golfgegevens. Stromingsinformatie kan ook belangrijk zijn wanneer gekeken wordt naar de stabiliteit van geulen bij een bepaalde (natuurlijke of antropogene) zandaanvoer. Het is overigens niet in een oogopslag duidelijk welke waterbeweginggegevens precies noodzakelijk zijn, omdat zowel in getij als golfwerking een behoorlijke temporele variatie zit. Moet gekeken worden naar de spring- of de doottijd debieten en stroomsnelheden?, zijn alleen stormen belangrijk wanneer naar golfwerking gekeken wordt?

- **Procesmetingen**

Kennisvragen op de gedetailleerde schaal van kust, geul en plaat processen vraagt om metingen op een vergelijkbare detail. Metingen kunnen op verschillende manieren informatie opleveren op de processen. Metingen van de waterbeweging, sedimentconcentraties en bodemligging kunnen aanwijzingen opleveren voor de mechanismen en snelheden van zanduitwisseling tussen morfologische onderdelen van het kuststelsel. De vertaling van de gemeten processen op korte termijn naar de morfologische veranderingen op lange termijn is daarom zelden direct te maken. Uit gedetailleerde bodem(ligging)gegevens kan synoptische informatie over de transporten verzameld worden.

*Voorbeelden hiervan zijn de MacLaren methode, om korrelgrootte informatie te vertalen naar transportpaden en de MEDUSA-methode, om natuurlijke tracers te volgen en zo transportpaden te herleiden. Uit gedetailleerde (multi-beam) bodemligginggegevens kunnen ook transportrichtingen herleid worden.*

Onderzocht moet worden hoe de synoptische informatie gecombineerd kan worden met hydrodynamische informatie om op de manier het transportproces (kwantitatief) te herleiden.

#### 4.4 KUST2005 vorderingen

##### 4.4.1 Nieuwe inzicht in zanddelend systeem

In het werkdocument 'De zandbalans van het Zeegat van Texel, bepaald met verschillende buitendelta-definities' (Walburg, 2001) wordt inzichtelijk gemaakt hoe het zandvolume van de buitendelta afhangt van de gekozen begrenzings. Belangrijkste conclusie met betrekking tot het kustbeleid en beheer is dat, wanneer er balansen worden opgesteld van het zanddelend systeem, de grenzen van de morfologische onderdelen eenduidig moeten worden vastgesteld. De grensdefinitie bepaalt de uitkomst. Het hanteren van verschillende definities levert verschillende volumes, die ook verschillen

in hun ontwikkeling in de loop van de tijd. Een belangrijke conclusie over het zanddelend systeem is dat:

- bij een grootschalige verandering, zoals de aanleg van de Afsluitdijk, de buitendelta slechts beperkt optreedt als zandbuffer. Het zand, dat nodig was voor het herstellen van de grootschalige evenwichtssituatie, werd vrijwel direct onttrokken aan de aangrenzende kustgebieden.

De uitkomsten van het model van Cheung (2001) maken duidelijk dat mate en snelheid van sand-bypassing langs de buitendelta beïnvloed kan worden door (cyclische) veranderingen van de ligging van geulen en platen in het zeegat.

*Het geaggregeerde "sand-bypassing" model van Cheung (2001) is gebaseerd op het model van Kraus (2000) en beschrijft de morfologische ontwikkeling van onderdelen van het zeegatsysteem in termen van volumes ten opzichte van een evenwichtsvolume.*

*Belangrijkste aanpassing ten opzichte van het model van Kraus (2000) is de koppeling van de onderdelen van de buitendelta aan de platen in de Waddenzee. Het model is gebruikt om de morfologische ontwikkelingen van het zeegat van Ameland en de aangrenzende eilandkusten onder de loupe te nemen.*

Conclusie uit het onderzoek:

- Het zandtransport langs de buitendelta, van Terschelling naar Ameland wordt beïnvloed door de ligging van de platen en geulen in het getijdebekken. De cyclische ontwikkeling wordt gedempt en iets vertraagd doorgegeven in het zandtransport langs de buitendelta.

#### 4.4.2 Aanpassingstijd dynamische evenwicht in de Delta

In de Haringvlietmonding en omgeving hebben sinds de jaren '50 veel grootschalige ingrepen plaatsgevonden, die hun weerslag hebben gehad op de morfologie. In Tönis (2000) zijn deze veranderingen in beeld gebracht. Hierbij is onder andere gekeken naar de tijdschaal waarop aanpassingen zich voltrekken. De aanpassingen in het gebied waren gericht op het herstellen van evenwichtscondities. Met name het getijdeprisma is sterk afgenomen door de bouw van de Haringvlietdam en -sluizen. Conclusie:

- De grootste aanpassingen bleken zich in een periode van 10 tot 11 jaar te voltrekken. De resterende aanpassingen nemen veel langer.

Ook de invloed van de golfwerking op de evenwichtsligging is onderzocht, volgens de methode van Gerritsen (1999). De invloed van de golfwerking op de morfologie van het mondinggebied is toegenomen, sinds de bouw van de Haringvlietdam en -sluizen.

Vergelijkbare analyses zijn uitgevoerd voor de Oosterscheldemonding en het bekken, door De Bok (2001). De ingebruikneming van de Oosterscheldekering heeft de uitwisseling van zand tussen het getijdebekken en de monding drastisch gewijzigd: sinds de aanleg van de kering in 1986 wordt er geen zand meer geïmporteerd in het getijdebekken. Verder zijn de hydrodynamische condities sterk gewijzigd. De morfologische veranderingen door de aanleg van de kering hebben de dezelfde orde grootte als natuurlijke veranderingen in het gebied, maar de tijdschaal waarop de veranderingen optreden is veel kleiner, oftewel, de aanpassing na de ingrepen verlopen snel. De aanleg van de Oosterscheldekering en bijbehorende werken heeft geresulteerd in een duidelijke trendbreuk in de morfologische ontwikkelingen. De grootte van de ingreep is echter dusdanig dat dit geen verrassing is. Sinds de aanleg van de kering vindt er in het getijdebekken een herverdeling van sediment plaats van de platen naar de geulen. Dit is een sterke aanwijzing

voor het bestaan van evenwicht tussen hydrodynamica en morfologie in getijdebekken

#### 4.4.3 Transportpaden van zand in geulen

In oktober 2001 is een geulwandsuppletie uitgevoerd in het Oostgat van de Westerscheldemonding. De suppletie bestaat uit glauconietzand afkomstig van het boren van de Westerscheldetunnel, dat een zeer specifieke radioactieve vingerafdruk heeft. Het materiaal kan teruggevonden worden met de MEDUSA® meettechniek (Tönis, 2001; Koomans, 2001), zodat de verspreiding van het suppletiemateriaal in de geul gevolgd kan worden. De eerste resultaten van de studie wijzen erop dat

- het aanbrengen van een geulwandsuppletie mogelijk is, het zand vloeit niet linea recta naar de geulbodem en dat
- de verspreiding van het materiaal gevolgd kan worden met de MEDUSA® meettechniek (Koomans e.a. 2001).

Morfologische studies naar de ontwikkeling van de kust van zuidwest Texel wijzen erop dat suppleties in combinatie met het verruimen van geulen of baggeren van alternatieve geulen geen duurzame oplossing zijn voor de lokale problematiek. Deze uitkomsten zijn vastgelegd in een beheersadvies (Cleveringa, 2001). De vergelijking van de verschillende beheersvarianten in dit rapport biedt aanknopingspunten voor toekomstig werk op dit gebied.

#### 4.4.4 Morfologisch modelinstrumentarium

De morfologische gevolgen van de Zuiderzeewerken zijn onderzocht met het ASMITA model (Kragtwijk, 2001). Hieruit blijkt dat er verschillende tijdschalen inherent zijn aan de formulering, deze zijn aan de geobserveerde veranderingen te koppelen. Verder blijkt dat de ontwikkelingen van bekken, buitendelta's en kust goed voorspeld worden door ASMITA. Belangrijkste constatering, die ondersteund wordt door de analyses van Walburg aan de buitendelta van het Zeegat van Texel, is dat

- veranderingen in het getijdebekken direct kunnen doorwerken aan de kust. De veronderstelling dat de buitendelta van het Zeegat als een buffer optreedt bij morfologische ontwikkelingen lijkt daarmee minder palusibel.

Voor de Westerschelde, inclusief de monding, is een ESTMORF schematisatie opgetuigd (Wang en van Helvert, 2001a en 2001b; WLI Delft Hydraulics, 2001). Hiermee kunnen de morfologische gevolgen in een periode van jaren van een eenmalige ingreep (bijvoorbeeld het verruimen van geulen) worden voorspeld. Voor het mondinggebied vertonen de voorspellingen nog een aantal beperkingen die inherent zijn aan de gebruikte schematisatie. Vergelijking met de uitgebreide sedimentbalans voor de monding moet duidelijk maken of deze beperkingen van wezenlijke invloed zijn op de modeluitkomsten.

Er is een begin gemaakt met verbeteringen en toetsing van het Inverse Sediment Transport Model (ISTM). De ISTM methodiek is ontwikkeld om met bodemliggingen uit verschillende jaren en een beperkte kennis van sedimenttransporten (d.w.z. ruimtelijk beperkt in vergelijking met de resolutie van de bodemliggingsgegevens) de sedimenttransportpaden in detail te reconstrueren (Kuijper en van den Boogaard, 2001). Mogelijk kan het ISTM fungeren als een platform voor het integreren van ruimtelijke informatie uit verschillende bronnen.

#### 4.4.5 Veldgegevens en test van innovatieve meetmethoden

In aanvulling op de veldgegevens uit de normale monitoringsprogramma's - de metingen van de waterstaatskundige toestand des lands (MWTL), de jaarlijkse kustlodingen (JARKUS) en verschillende beheerslodingen van kust



en vaarwegen - richt KUST2005 zich op het verzamelen van gegevens over de interactie tussen geulen, platen en de kust in zeegaten. Gedetailleerde morfologische ontwikkelingen en transportprocessen worden met name gevolgd in het Zeegat van Texel en de Westerscheldemonnd.

De ADCP stromingsmetingen die continue met de TESO veerboot tussen Den Helder en Texel worden uitgevoerd bieden een uitgelezen mogelijkheid om het nut van stroommetingen voor het afregelen van modellen te testen. Hiermee is een begin gemaakt door de metingen te gebruiken bij een modelstudie van het Zeegat van Texel (Luijendijk, 2001) en dit wordt vervolgd in het NWO-ALW 'Outer Delta Dynamics' project. In dit project worden verder framemetingen uitgevoerd om de sedimenttransportprocessen op de grens van plaat naar geul op te helderen. Hiervoor zijn in het Zeegat van Texel, ten zuiden van de Noorderhaaks stroomsnelheden en sedimenttransporten gemeten. In aansluiting op het NWO-ALW Outer Delta Dynamics project zijn een aantal metingen uitgevoerd in het Zeegat van Texel. De Debietmeting Zeegat van Texel (Blok en Mol, 2001): hierbij is in februari op de buitendelta van het zeegat van Texel in drie raaien ieder halfuur de stroming gemeten met varende ADCP's. Dit heeft geresulteerd in de debieten per geul en een totaaldebit van het Zeegat van Texel.

*Langjarige reeksen van debietmetingen van zeegaten, in combinatie met de waarnemingen van waterstanden, leveren een onafhankelijk toets voor de uitkomsten van de bodemligginggegevens. De komende jaren worden ook voor zeegaten waar recente debietinformatie ontbreekt debietmetingen gepland.*

In drie deelgebieden in het Zeegat van Texel (Broersma, 2001), in de noordelijke en zuidelijke helft van de getijdegeul Molengat en ten zuiden van de Noorderhaaks (supra-getijdeplaat in het Zeegat van Texel) is gedetailleerde informatie ingewonnen over de bodemligging met een (nieuwe) multibeam techniek.

**Multibeam** opnamen geven een zeer gedetailleerd beeld van de bodemligging. De opnames laten verschillende bodemstructuren zien, meestal met een duidelijk 3-dimensionaal karakter. Ook het aansnijden van lagen in de ondergrond door getijdegeulen wordt zichtbaar. De techniek levert in het gebied veel gedetailleerde resultaten op dan side-scan sonar. Het is voor morfologisch studies ook beter geschikt dan de gebruikelijke profiel opnames langs de geulas, wegens het –naar het blijkt- 3-dimensionale karakter van de structuren. De metingen leveren zoveel gegevens dat de nabewerking zeer tijdrovend is. Multibeam lodingen kunnen daarom de normale (single beam) bodemliggingsopnamen van de grote vaklodingsgebieden (nog) niet vervangen.

Ook in het Oostgat van de Westerschelde zijn multibeam lodingen uitgevoerd. De gegevens zijn gebruikt om een antwoord te vinden op de vraag naar de optredende transportpaden in de Westerscheldemonnd, gekoppeld aan een proef met een geulwandsuppletie in het Oostgat. Naast de innovatieve lodingsinformatie wordt bij dit probleem gebruik gemaakt van twee andere innovatieve informatiebronnen: zgn. MEDUSA waarnemingen van de sedimentsamenstelling en rechtstreekse transportmetingen door de zgn. AMF Autonome MeetFaciliteit.

**MEDUSA®** : *In de monding van de Westerschelde is in de buurt van het Oostgat gestart met het verzamelen van MEDUSA® gegevens, als onderdeel van de tracerproef / geulwandsuppletie. Eerst is een groot gebied in kaart gebracht om de optimale stortlocatie vast te stellen*

(Tönis, 2001). Daarna is een detailopname van de stortlocatie gemaakt (Koomans, 2001). Op basis van een beperkt aantal bodemmonsters waarvan de korrelgrootte is vastgesteld zijn de MEDUSA® gegevens vertaald in een kaart van de korrelgroottes. Na de stort zijn ook een aantal opnames gemaakt, met tussenpozen (Koomans e.a., 2001). Het stortmateriaal bestond uit glauconiethoudendzand (afkomstig uit de Westerscheldetunnelbuis), dat door een afwijkende radiometrische vingerafdruk goed traceerbaar was met de MEDUSA® techniek. De opnames na de stort zijn gebruikt om de sedimenttransportpaden in het Oostgat te achterhalen. Het glauconiethoudende zand blijkt via een zone met duidelijke bodemstructuren naar het zuiden getransporteerd te worden. De MEDUSA® techniek is derhalve, in ieder geval in combinatie met tracer materiaal bruikbaar voor het vaststellen van lokale sedimenttransportpaden. Ook voor deze sedimenttransportpaden geldt de kanttekening dat deze beperkt zijn tot de onderzochte lokatie, gedurende het onderzoek. Het opschalen van deze transportpaden naar grote gebieden en over langere periodes is nog niet mogelijk.

**AMF Autonome MeetFaciliteit :** In november 2000 is de zogenaamde Autonome Meetfaciliteit van RWS in het Oostgat, in de monding van de Westerschelde geplaatst (ten Brinke en Roberti, 2001). Gedurende 3 dagen is met een uitgebreide set meetinstrumenten zowel de waterbeweging, als het sedimenttransport vastgelegd. Verder is de korrelgrootte van de deeltjes in de waterkolom bepaald met een LISST in-situ laser-particle sizer. Deze metingen leveren gedetailleerde informatie over de sedimenttransportmechanismen op één punt in het Oostgat. Het voordeel van inzet van de Autonome Meetfaciliteit is dat veel gedetailleerde informatie van verschillende parameters wordt vergaard. Vragen over sedimenttransportmechanismen zoals: vinden het zand- en of slibtransport met name tijdens stormen plaats, welke bruto en netto richting heeft het transport van zand en slib onder verschillende omstandigheden kunnen hiermee beantwoord worden. In de toekomst kan deze informatie een bijdrage leveren aan het ontwikkelen, testen en evalueren van sedimenttransportformuleringen. Belangrijk aspect hierbij is dat puntmetingen in het algemeen alleen informatie geven over het meetpunt zelf. Een koppeling met de (ruimtelijke) ontwikkeling van de bodemligging is daarom moeilijk te maken.

Belangrijker dan individuele vernieuwing en verbetering van meettechnieken is het combineren van meetinformatie. Een voorbeeld hiervan is het multi-beam meten van bodemligging en MEDUSA® in het Oostgat . De winst die hiermee behaald wordt is dat het aantal verklaringen voor de gemeten veranderingen afneemt.

## 4.5 Referenties

### 4.5.1 Kust2000 / Kust2005 produkten

2000

**Meetinformatiedienst Zeeland, 2000.** Debietmeting (ADCP) Mond Westerschelde Raai – 12 5 juni 2000, RWS-DZL, rapport ZLMD-00.N.022.

**Oost, A.P., C.G. Israël en D.W. Dunsbergen, 2000,** Kusterosie van noordwest Ameland: ontwikkelingen op verschillende tijdschalen, RWS RIKZ, rapport RIKZ/2000.057.

**Tönis, I., 2000**, Haringvlietmond. op zoek naar evenwicht – Morfologische ontwikkeling van de Haringvlietmonding sinds 1970, RWS RIKZ, werkdocument RIKZ/OS/2000.39x.

2001

**Blok, M. en J.W. Mol, 2001**, Debietmeting zeegat van Texel Februari 2001, RWS DNH rapport DNH/ANI/01.03.

**Bok, C. de en J.M.T. Stam, A.K. Turner, P.M. Maurenbrecher, 2001**, Relation between tidal prism and cross-section area of the inlet of the Eastern Scheldt, Proceedings of the 2nd IAHR symposium on river coastal and estuarine morphodynamics, September 2001, Obihiro, Japan (2001), pag. 483-493.

**Broersma, F., 2001**, Meetverslag morfologisch onderzoek Zeegat Texel, RWS DNH rapport DNH/ANI/01.06.

**Cheung, K.F., 2001**, Sand-bypassing model for the Ameland Inlet, The Netherlands, to be submitted to coastal journal.

**Cleveringa, J., 2001**, Zand voor zuidwest Texel – Technisch advies RIKZ over vier mogelijke ingrepen in het Zeegat van Texel, RWS RIKZ, rapport RIKZ/OS/2001.031.

**Israel, C.G. en A.P. Oost, 2001**, Standhaakontwikkeling op de koppen van de Waddeneilanden, RWS RIKZ, werkdocument RIKZ/OS/2001.116X.

**Koomans, R.L., 2001**, Sedimentverdeling in het Oostgat - Data analyse, Medusa Explorations rapport 2001-P-011.

**Koomans, R.L., E. Oosterhoff, B.A. de Meijer en J.F. Nicolaas, 2001**, Survey in het Oostgat - Data rapport t0, t0.5 en t1, Medusa Explorations, rapport 2001-P-015.

**Kuijper, C., en H.F.P. van den Boogaard, 2001**, Toetsing van de I.S.T.M.methodologie, WLI Delft Hydraulics, rapport Z2727.

**Tönis, R., 2001**, T0 -meting Oostgat m.b.v. Medusa, Medusa Explorations, rapport.

**Walburg, A.M., 2001**, De zandbalans van het zeegat van Texel, bepaald met verschillende buitendelta definities, RWS RIKZ, werkdocument RIKZ/OS 2001.136x

**Wang, Z.B. en M.A.G. van Helvert, 2001a**, ESTMORF-model voor de Westerschelde inclusief de monding, WLI Delft Hydraulics, rapport Z3105.

**Wang, Z.B. en M.A.G. van Helvert, 2001b**, ESTMORF, a model for long-term morphological development of estuaries and tidal lagoons, WLI Delft Hydraulics, rapport Z3105.

**WLI Delft Hydraulics, 2001**, ESTMORF - version 3.0 - Model Principles and User Manual, WLI Delft Hydraulics, rapport Z3105.

2002

**Bok, C. de, 2002**. Long-term morphology of the Eastern Scheldt, RIKZ/2002.108X

**Helvert, M. van, 2002.** Westerschelde berekeningen 2002; baggeren en storten in de monding – fase 1, Z3246, WL I delft hydraulics, 2002

**Koomans, R.L. en E. Oosterhoff, 2002.** Metingen in het Oostgat – De effectiviteit van een geulwandsuppletie, 2001-P-015-R4, 2002

**Stam, J.M.T., M. Groen, L. Walburg, 2002.** Haringvlietmonding: Reconstructie van een afsluiting – Beschrijving, verklaring en modelaanpak van de effecten van de sluiting van de Haringvlietmonding 1970-2000. RIKZ/OS/2002.028, november 2002.

**Stam, J.M.T. 2002.**, Modelleer- en Meetplan Haringvlietmond, beschrijving modelaanpak voor hindcast en voorspelling van morfologische ontwikkelingen in de Haringvlietmonding, RIKZ/OS/2002.138x, november 2002

**Steijn, R.C., 2002.** Vormveranderingen van getijgeulen op buitendeltas door laterale zandtoevoer, A888, ALKYON, 2002

#### 4.5.2 Overige referenties

**Brinke, W.B.M. ten., en J.R. Roberti, 2001.** De autonome meetfaciliteit voor metingen aan waterbeweging, zand- en slibtransport – testrapport en leidraad voor toepassing, RWS RIZA, werkdocument RIZA/2001.073x.

**Cleveringa, J., 2000,** Reconstruction and modelling of Holocene coastal evolution of the western Netherlands, Geologica Ultrajectina 200, Proefschrift Universiteit Utrecht.

**Gerritsen, F., 1999,** The effect of wave action on the stability of channels in tidal entrances, report.

**Groenenberg, R.M. en G.J. Weltje, 1996,** Berekening van residuele transportpatronen aan de hand van ruimtelijke trends in korrelgrootteverdelingen: een test van de McLaren methode, Universiteit Utrecht, Aardwetenschappen, rapport.

**Kragtwijk, N.G., 2001,** Aggregated scale modelling of tidal inlets of the Wadden Sea, Report Delft Cluster Project Coasts, WLI Delft Hydraulics Z2822.

**Kraus, 2000,** Reservoir model for ebb-tidal shoal evolution and sand bypassing, Journal of Waterway, Port, Coastal, and ocean Engineering, 126 (6) pag. 305-313.

**Kustbewust, 2002,** Naar Integraal Kustzonebeleid- beleidsagenda voor de kust, Den Haag.

**Louters, T. en F. Gerritsen, 1994,** Het mysterie van de Wadden: Hoe een getijdesysteem inspeelt op de zeespiegelstijging, RWS RIKZ, Rapport-94.040.

**Luijendijk, A., 2001,** Validation, calibration and evaluation of a Delft 3D-Flow model with ferry measurements, NIOZ – TU Delft – NCK, rapport

**Ministerie van Verkeer en waterstaat, 2000,** 3e kustnota: Traditie, trends en Toekomst, Den Haag.

**Rijkswaterstaat directie Zeeland en Ministerie van de Vlaamse  
Gemeenschap, 2001**, Langetermijnvisie Schelde-estuarium

**Rijkswaterstaat**, Kustlijnkaarten, jaarlijks vanaf 1992, Laatste rapport RIKZ-  
2002.009, april 2002.

**Steijn, R.C., 1991**, Some considerations on tidal inlets, A literature survey on  
hydrodynamic and morphodynamic characteristics of tidal inlets with special  
attention to "Het Friesche Zeegat", WLIDelft Hydraulics, rapport H840.



## 5 De kustnabije zone – Einddoel 3

### 5.1 Lokale schaal

Einddoel 3 betreft de zandige kust met haar breker- en intergetijdbanken en dergelijke op de relatief kleine schalen (tot orde 5 jaar resp. kilometers). Hier wordt gepoogd lacunes in onze kennis omtrent het gedrag van het kuststelsel aan te geven. De kustparallele brekerbanken blijken op de meeste plaatsen in de tijd zeewaarts te verschuiven en onduidelijk is bijvoorbeeld in hoeverre dit een rol speelt in de ontwikkeling van de posities van de waterlijn en overige kustlijnen zoals de zogenaamde Momentane Kustlijn (MKL). Aan de hand van hypothesen worden enkele lacunes geëxpliciteerd. Gaande de uitvoering van het KUST2005-programma zouden deze hypothesen onderbouwd / getoetst dienen te worden. De voortgang hierin, alsmede het gebruik van die hypothesen bij de advisering, geven een maat voor de generieke kennisontwikkeling in KUST2005.

### 5.2 Operationele stand van kennis

#### 5.2.1 Beleid van kustlijnhandhaving en kustveiligheid

Het huidige beleid van dynamisch handhaven van de zandige kust (zie eerste operationele doelstelling, paragraaf 3.1.1), dat is ingezet in 1990, is gebaseerd op kustlijnhandhaving. Dit houdt in dat in zandige gebieden de kustlijn in principe niet landwaarts van de Basiskustlijn (BKL) mag komen te liggen. Voor verreweg het grootste deel van de Nederlandse kust is een BKL-waarde vastgesteld (zie paragraaf 3.1.2). Met zandsuppleties wordt het *volume* zand in de zogenaamde BKL-rekenshijf op peil gebracht, zodra dat de aangenomen lokale minimumwaarde dreigt te onderschrijden die correspondeert met de BKL. Volgens een geaccepteerde rekenmethodiek (zie intermezzo) wordt jaarlijks met de JARKUS-metingen getoetst of de gemeten kustlijn de BKL landwaarts dreigt te passeren. De BKL is in de meeste gevallen de kustlijnpositie zoals die volgens dezelfde methodiek is afgeleid voor het jaar 1990. De onderlinge afstand van de JARKUS-raaien bedraagt zo'n 250 m en de toetsingsperiode zo'n 10 jaar, de schalen van Einddoel 3.

In eerste instantie werden de suppleties uitgevoerd als strandsuppletie. Sinds einde negentiger jaren worden zoveel mogelijk onderwatersuppleties toegepast, onder het motto "suppleer waar het kan onder water, waar het moet op het strand". Het laatste is bijvoorbeeld het geval als de veiligheid in het geding is.

- **Relatie met "Zandverlies dieper water".**

In 2001 is een aanzet gemaakt om voortaan ook het zandvolume op grotere tijd- en ruimte-schalen (orde 50 jaar en kustlangse vakken van 10-tallen kilometers) op peil te houden, zie tweede operationele doelstelling, paragraaf 3.1.1. Hiermee wordt o.a. geanticipeerd op zeespiegelstijging. Daarmee is het beschikbare jaarlijkse budget met 50% verhoogd (tot ruim 40 M€), en wordt ervan uitgegaan dat voortaan ruim  $12 \times 10^6 \text{ m}^3$  zand aan het kuststelsel wordt toegevoegd (i.p.v. de vroegere  $6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). In het gereserveerde budget was al verdisconteerd dat de (BKL-) kustlijnhandhaving voor een belangrijk deel zou worden gerealiseerd met

onderwatersuppleties (lage kuub-prijs). Het laat zich aanzien dat er een afstemming c.q. optimalisatie dient te komen inzake hoeveel zand op dieper water wordt aangebracht (lage kuub-prijs), en hoeveel (en waar) dichter bij de kust als onderwatersuppletie (iets hogere kuubprijs) c.q. op het strand (hoogste kuub-prijs), beide voor de specifieke kustlijnhandhaving.

- **Relatie met de zorg voor de Veiligheid.**

In het hierboven beschreven beleid is het rijk primair verantwoordelijk voor de zorg voor de kustlijnhandhaving. De dagelijkse zorg voor de veiligheid bij de zeeerende duinen is bij lokale instanties gelegd, met name bij de waterschappen die verantwoording schuldig zijn aan de provincies. Deze scheiding tussen kustlijnhandhaving en zorg voor de veiligheid was praktisch pas mogelijk toen de waterkeringen op deltagoogte waren gebracht, en gaat uit van de impliciete aanname dat sindsdien de veiligheid tegen relatief geringe kosten kan worden gegarandeerd zolang de kustlijn op zijn plaats wordt gehouden. Overigens houdt de minister van V&W de eindverantwoordelijkheid voor de veiligheid en worden van rijkswege zonnodig maatregelen genomen (strandsuppleties daar waar het moet, te bespreken in de POK's, de Provinciale Overlegorganen Kust). Recent heeft de zorg voor de instandhouding van de afslaglijnen, met name bij badplaatsen, meer aandacht in het beleid gekregen, zie derde operationele doelstelling, paragraaf 3.1.1. Het voornemen bestaat om een grootschalige proef uit te voeren met een onderwatersuppletie ten einde vast te stellen of en in hoeverre deze een positief effect heeft op de handhaving van de afslaglijnen.

- **Relatie met Recreatie.**

De mogelijkheden tot strandrecreatie, welke o.a. afhangen van de strandbreedte, worden op dit moment in de POK's niet als een rijkstaak ervaren (zie echter ook paragraaf 3.1.2), maar als de zorg van lokale autoriteiten (gemeenten, provincies). Laatstgenoemden laten zelden strandsuppleties uitvoeren, vanwege de hoge kosten, en dringen daarom herhaaldelijk in de POK's aan op strandsuppleties van het rijk, vooral nu menig suppletie onder water wordt uitgevoerd.

### 5.2.2 Beheer: suppleren

Een landelijk meerjaren suppletieprogramma wordt jaarlijks op basis van de Jaarlijkse Kustmetingen (JARKUS) vastgesteld door de minister van V&W, na consultatie van de diverse POK's. Het schema voor het volgende jaar ligt daarmee redelijk vast, dat voor de jaren daarna is meer indicatief. De resultaten van de toetsing worden (nog) gepubliceerd in de jaarlijkse Kustlijnkaarten-boeken van het RIKZ (RIKZ, 2002). Het laten uitvoeren van de suppleties is de taak van de diverse RWS kustdirecties en de Directie Noordzee.

De methodiek achter de toetsing is overal in Nederland nagenoeg hetzelfde (zie intermezzo). Dat houdt in dat nauwelijks rekening wordt gehouden met karakteristieke verschillen in het fysische gedrag van afzonderlijke kustvakken. Deze uniforme en eenduidige methodiek geeft een objectieve basis voor overleg in de POK's tussen de diverse bij de uitvoering van het beleid betrokken partners. Nadeel is een zekere rigiditeit, in de vorm van het automatisme waarmee tegenwoordig suppleties worden toegepast in geval van een dreigende onderschrijding van de BKL. Dit automatisme is geleidelijk in het beleid ingeslopen (immers, de toets werd oorspronkelijk enkel uitgevoerd omwille van een signaalfunctie), en ging op een gegeven moment zelfs zover dat suppleties konden worden uitgevoerd om



de onderschrijding van een enkele raai te keren. Dit laatste gebeurt inmiddels niet meer.

Met het toepassen van onderwatersuppleties is enige flexibiliteit gekomen in het tijdstip waarop een suppletie wordt uitgevoerd, en wel vanuit de gedachte dat het enige tijd duurt voordat de BKL-zone optimaal profiteert van zo'n suppletie, in tegenstelling tot een strandsuppletie die direct aan de BKL-zone ten goede komt (vaak voor 100%). Vooralsnog wordt het zand, afhankelijk van het beschikbare materieel, zo dicht mogelijk bij het strand aangebracht, oftewel zo hoog mogelijk in het profiel, ruwweg tussen NAP -4m en NAP -8m waar ook eventuele brekerbanken liggen.

*De kustlijntoetsing is gebaseerd op JARKUS (jaarlijkse kustdwarse profielmetingen, raai-afstand typisch 200-250m). Uit de profielen wordt het (horizontale) zandvolume in de BKL-rekenschijf bepaald t.o.v. een vaste verticale landwaartse grens. Het boven- en ondervlak van de schijf liggen op vastgestelde (plaatsafhankelijke) hoogten t.o.v. NAP, nl. de duinvoethoogte (zo'n +3m NAP) resp. zo'n -4m á -5m NAP (afhankelijk van het plaatselijke Gemiddeld LaagWater-niveau). Uit een extrapolatie van de regressie door de aldus bepaalde volumina per raai in de voorgaande 10 jaar wordt het te verwachten volume voor het komende jaar (c.q. de komende jaren) bepaald, en vergeleken met het BKL-volume van die raai. In de praktijk deelt men de volumina door de laagdikte en bepaalt horizontale kustlijnposities t.o.v. de RSP-lijn. Bij een dreigende onderschrijding wordt een toekomstige suppletie gepland, afhankelijk van de urgentie (bijv. moment van onderschrijding) voor het komende jaar of (tentatief) voor een daaropvolgend jaar. De BKL-positie per raai is meestal op dezelfde wijze bepaald (extrapolatie opnames 1980-1989). Op sommige locaties (bijv. Egmond) is daarvan bewust afgeweken, bijv. door de BKL meer zeewaarts te situeren i.v.m. de veiligheid.*

*De essentie van de methodiek is dat de noodzaak tot een suppletie niet is gebaseerd op een momentane kustlijnpositie (bijv. GLW), maar op een zandvolume (een veel stabielere maat) en op een voorgeschiedenis van 10 jaar, waardoor toevallige fluctuaties in de afzonderlijke opnames (bijzondere klimatologische omstandigheden, lodingsfouten) deels worden uitgemiddeld. Soms moet men noodgedwongen een kortere voorafgaande periode beschouwen, bijv. wanneer het kustvak eerder (minder dan 10 jaar geleden) is gesuppleerd.*

### 5.3 Behoeftte aan kennis, modellen en veldgegevens

Suppleties hebben afmetingen van enkele kilometers en een ontwerpbeurt van zo'n 5 jaar, en veiligheid bij stormomstandigheden speelt zich af op kortere tijd- en ruimteschalen. Vragen voortkomend uit beheer en beleid inzake kusthandhaving en veiligheid ressorteren derhalve onder einddoel 3. Deze hebben betrekking op de aanleidingen van uit te voeren suppleties, op de (nog bestaande) onzekerheden rond de te verwachten effecten van onderwatersuppleties en het optimale ontwerpen daarvan, alsmede op de relatie tussen kustlijnhandhaving enerzijds en veiligheid en strandbreedte anderzijds.

#### 5.3.1 Suppletiebeleid

In de derde Kustnota is een evaluatie toegezegd van het beleid om daar waar mogelijk de kustlijn te handhaven met onderwatersuppleties in plaats van met strandsuppleties. Er is nog weinig bekend over de mogelijke

gevolgen van onderwatersuppleties in diverse omgevingscondities. Daarom worden bij de meeste uitgevoerde onderwatersuppleties extra monitoringsopnames (loding = waterpassing) uitgevoerd, die alle op een uniforme manier worden geanalyseerd. De effecten van elke onderwatersuppletie worden uitgedrukt in de waargenomen veranderingen in enkele objectieve kentallen, waaronder de MKL, zie Biegel, 2001. Dit levert de basis voor de evaluatie. Daarnaast zullen naar verwachting uit een onderlinge vergelijking van de effecten van de verschillende onderwatersuppleties verbeterde ontwerpregels kunnen worden afgeleid.

De genoemde kentallen betreffen ook de andere functies van het kuststelsel (zie paragraaf 5.1.1) zoals recreatie (kental strandbreedte) en veiligheid (o.a. kental duinvoetpositie). Impliciete aanname in het beleid van kustlijnhandhaving is dat deze functies ook gewaarborgd worden. Met dergelijke kentallen kan kwantitatief worden aangegeven in hoeverre dat het geval is. In de evaluatie van strandsuppleties (project EVAZAND; Roelse, 2002) zijn meerdere kentallen beschouwd. Gezocht wordt nog naar een optimale set van kentallen oftewel "Coastal State Indicators" (CSI's), om de overall status van de functies te beschrijven. Bij dit laatste kan men ook nog denken aan een geaggregeerde CSI bestaande uit een gewogen gemiddelde van de afzonderlijke kentalwaarden. Bij de afzonderlijke kentallen horen minimum waarden, analoog aan de BKL voor de kustlijn, waaraan voldaan zou moeten worden. Deze minimumwaarden kunnen in principe zowel landelijk als locatiespecifiek gekozen worden, en hetzelfde geldt voor de weegfactoren in de geaggregeerde CSI. Op deze wijze kan het relatieve belang van de afzonderlijke functies in een specifiek kustvak tot uiting worden gebracht.

Relatief weinig is bekend over de variabiliteit, bijvoorbeeld binnen een jaar, in de diverse kentalwaarden. Daarmee moet rekening worden gehouden bij het vaststellen van grenswaarden. ARGUS camera's kunnen deze lacunes voor een belangrijk deel opvullen, dankzij hun hoge meetfrequentie (in principe orde 1x per uur) en synoptisch overzicht. Dergelijke camera's worden meer en meer ingezet, en de technieken om de gewenste kentallen uit de beelden te destilleren maken een snelle ontwikkeling door. Het ligt voor de hand dat de diverse kentallen onderling tot op zekere hoogte afhankelijk zijn, via eventuele wetmatigheden. Dit geldt op termijn van jaren (bijvoorbeeld af te leiden uit de jaarlijkse JARKUS opnames), maar wellicht ook binnen het jaar (bijvoorbeeld af te leiden uit ARGUS-beelden). Deze afhankelijkheid kan aanleiding geven tot een onzuivere weging in de geaggregeerde CSI's, als daarmee geen rekening zou worden gehouden. Tevens bepaalt ze in hoeverre de diverse functies gewaarborgd kunnen worden via het sturen op een of enkele kentallen, zoals nu getracht wordt via het op peil houden van de BKL.

Bij een rijzende zeespiegel zouden de afslaglijnen zich op termijn van een vijftigtal jaren landwaarts kunnen verplaatsen. Met name bij badplaatsen zou dit gevolgen kunnen hebben voor bestaande of toekomstige bebouwing (Strategische Visie Hollandse kust 2050). Onduidelijk is wat het effect van de huidige BKL-handhaving is op de langere-termijn ontwikkeling van het kustprofiel, en specifiek op de toekomstige ligging van de afslaglijnen. Een positief effect ligt voor de hand, met name nu middels onderwatersuppleties grotere hoeveelheden zand in het kustnabije systeem worden aangebracht dan voorheen met strandsuppleties. Tevens is het idee geboren dat met extra hoeveelheden zand op de vooroever ("zandbankieren"), bijvoorbeeld in de vorm van een (periodieke ?) megasuppletie, de afslaglijnen actief zouden moeten kunnen worden gehandhaafd. Een proef in deze richting met een megasuppletie is in voorbereiding (Boers et al. 2003).

### 5.3.2 Suppleren als beheersmaatregel

- **Suppletienoodzaak**

De beslissing om een bepaald kustvak te suppleren volgt momenteel grotendeels uit de toetsing volgens de BKL-methodiek, onder voorbijgaan aan de oorzaak van de geconstateerde suppletiebehoefte en aan de specifieke morfologische ontwikkelingen in dat vak.

De vraag is of en in hoeverre in alle gevallen waarin de BKL-methodiek een suppletie voorschrijft deze ook "werkelijk" nodig is, oftewel of niet in bepaalde gevallen zonder suppletie-ingreep de BKL (binnen afzienbare tijd) ook afdoende gehandhaafd zou worden. Mocht dat laatste het geval blijken, dan dient dat dermate overtuigend te kunnen worden aangetoond dat ook een POK kan instemmen met een eventueel besluit om *niet* in te grijpen. Een aanverwante vraag is in hoeverre een eventuele tijdelijke onderschrijding van de BKL acceptabel is als op een later moment een natuurlijke vooruitgang te verwachten valt.

Voor de zandige Nederlandse kust zijn de posities van de duinvoet, GHW en GLW jaarlijks opgemeten sinds ca. 1850, met als resultaat de zgn. bliksemgrafieken. Filteren we fluctuaties op de kortere termijn (orde decade) weg, dan tonen deze grafieken, afhankelijk van de locatie, een structurele achteruitgang, vooruitgang of een redelijk stabiel gedrag op termijnen van tientallen jaren. Soms zijn trendbreuken waarneembaar als gevolg van menselijke ingrepen (bijv. verlenging havenhoofden). Gesuperponeerd op de lange-termijn ontwikkeling zijn soms fluctuaties met periodes van ettelijke jaren (tot tientallen jaren) zichtbaar. Gesuggereerd is dat deze een uiting zijn van "zandgolven" Hieronder verstaat men in dit verband massa's zand die zich langs de kust verplaatsen in de actieve zone. Deze massa's hebben een zekere kustlangse ritmiek, en manifesteren zich tijdens hun tocht langs de kust als periodieke fluctuaties in de genoemde kustlijnen. Het duidelijkst zijn dergelijke verschijnselen aangetoond zandtransport-afwaarts van zeegaten, waar ze het gevolg zijn van het periodiek (t.g.v. een cyclisch gedrag van getijgeulen) aanlanden van zandmassa's. De bijbehorende periodiciteit is in de orde van tientallen jaren. Men kan spreken van heuse volumeveranderingen in de kustvakken.

De fluctuaties in het kustgedrag langs de gesloten kust hebben veel kortere periodes, orde (enkele tot een tiental) jaren. Een verantwoordelijk mechanisme is niet duidelijk aan te geven. De vraag is of we te maken hebben met plaatselijke volumeveranderingen. Wel worden fluctuaties soms ook geconstateerd in de MKL-volumes. Door hun periode (tot zo'n 10 jaar) kunnen deze fluctuaties in de BKL-methodiek (regressie over max. 10 jaar) soms tot een suppletie nopen. Het is derhalve nodig de oorzaak van deze eventuele fluctuaties vast te stellen. Een mogelijke oorzaak is de periodiciteit (orde jaren) in het gedrag van brekerbanken die voor grote delen van de Hollandse kust aanwezig zijn. Periodieke profielveranderingen leiden dan mogelijk (direct of indirect) tot fluctuaties in de parameters afgeleid uit de JARKUS-metingen. Een vergelijking met de schijngestalten van de maan dringt zich op. [N.B. de toppen van de zich zeewaarts verplaatsende brekerbanken liggen lange tijd in de BKL-rekenschijf]

#### **Hypothese aangaande suppletie-noodzaak**

Cyclisch gedrag (d.w.z. het periodiek ontstaan bij de waterlijn, netto zeewaarts verschuiven en afsterven) van brekerbanken voor de Hollandse kust veroorzaakt (direct of indirect) fluctuaties in de kustlijnparameters. Dit kan in de BKL-methodiek leiden tot een schijnbare (extra) erosie gedurende een voldoende aantal jaren zodat suppleren nodig lijkt.

Mocht de hypothese juist zijn, dan zouden zo, althans vanuit de optiek van kustlijnhandhaving, feitelijk onnodig suppleties worden uitgevoerd, vooral in gebieden met een redelijk stabiel kustgedrag of zelfs enige sedimentatie op de wat langere termijn. Met andere regressieperiodes of ondergrenzen van de BKL-schijf zou dit probleem dan te ondervangen zijn.

- **Suppletie uitvoering**

Met strandsuppleties kan het kustlijnhandhavingbeleid goed worden uitgevoerd, zoals is gebleken sedert eind van de jaren 80 (Roelse, 2002). De benodigde suppletiehoeveelheid (per raai) is het jaarlijkse (MKL-) zandverlies x de ontwerpleeftijd (typisch 5 jaar) x een plaatsafhankelijke toeslag van 10-25% die een versnelde erosie na de suppletie verdisconteert. Sedert eind jaren 90 is menig suppletie (inmiddels meer dan 10; zie fig. 5.1), daar waar dat kon, uitgevoerd onder water, met als oogmerk een mogelijk lagere prijs voor hetzelfde resultaat en het vermijden van overlast voor de recreatie. Sinds kort geldt ook als argument dat meer zand voor dezelfde prijs (als bij een strandsuppletie) in het kuststelsel wordt gebracht ten behoeve van het grootschalige kuststelselonderhoud. Strenge ontwerpregels zijn er (nog) niet. Qua hoeveelheid geldt vooralsnog ongeveer 2x zoveel zand als voor een strandsuppletie ter plekke nodig zou zijn geweest, hetgeen ruwweg ook neer komt op dezelfde kosten. Voor de kustlangse positie geldt het te behandelen kustvak met ter weerszijden zo'n 500-1000m, vooral zandtransportafwaarts, en voor de kustdwarse positie geldt zo hoog mogelijk in het profiel. Ook onderwatersuppleties worden uitgevoerd op basis van een verwachte BKL-onderschrijding. Hooguit wordt er een afweging gemaakt of niet beter een strandsuppletie kan

.....  
**Figuur 5.1**

Locaties van onderwatersuppleties (aangeduid met A t/m O), uitgevoerd sinds 1993



worden uitgevoerd, hetgeen in een enkel geval daadwerkelijk is gebeurd, al of niet in combinatie met een aanvullende onderwatersuppletie. Vanuit de praktijk bestaat er behoefte aan preciezere ontwerpvoorschriften.

Een vergelijking van de effecten van reeds uitgevoerde onderwatersuppleties, dat wil zeggen empirische kennis, levert het basismateriaal om tot deze voorschriften te komen. Daartoe is het vooralsnog noodzakelijk de diverse uitgevoerde en uit te voeren onderwatersuppleties vergezeld te laten gaan van een **monitoringprogramma** dat vooral bestaat uit het extra (frequentie, raaidichtheid) peilen van de bodem op en rond het suppletiegebied (Spanhoff, 2001). In een enkel geval kan het aanbeveling verdienen ook andere parameters (golfhoogte, bodemsamenstelling, e.d.) te meten. Gevoeligheidsberekeningen met morfodynamische modellen kunnen behulpzaam zijn bij de vergelijking en generalisatie van de ervaringen van de afzonderlijke onderwatersuppleties, zie ook paragraaf 5.3.

Concreet luiden de vragen vanuit de praktijk dan ook:

- In welke gevallen (hydrodynamische en morfologische omstandigheden, ontwerpdoelstelling) moeten onderwatersuppleties wel of niet worden toegepast, en
- hoe ziet eventueel een verantwoord ontwerp er dan uit.
- Is het volume van het suppletielichaam bepalend, de afstand uit de kust of juist de hoogte t.o.v. NAP, of speelt de combinatie van deze (en evt. andere) factoren een rol?
- Hoe zit het met kopeffecten?

De meeste tot op heden uitgevoerde onderwatersuppleties bestaan uit een zandlichaam met horizontaal bovenvlak op NAP-4.5/-5m, aangelegd tegen de zeewaartse flank van een buitenste brekerbank, met een volume van zo'n 250-500 m<sup>3</sup>/m<sup>1</sup>. Het suppletielichaam vervormt dan tot een nieuwe (extra) brekerbank. Misschien is dit niet zo verwonderlijk, omdat het toegepaste volume suppletiezand (per m<sup>1</sup>) van dezelfde orde is als een bankinhoud, en er aan de zeewaartse flank van de buitenste bank enige ruimte is voor een nieuwe bank. De oorspronkelijke bank verschuift landwaarts, met een ondieper wordende top die mogelijk grotendeels verantwoordelijk is (schaduwwerking) voor de landwaartse zandvangst uit het golfgedreven langtransport. Men kan zich afvragen wat zou gebeuren als veel minder zand (per m<sup>1</sup>) wordt aangebracht, op dezelfde locatie als anders, bijvoorbeeld 5 jaar achter elkaar steeds 1/5 van de hoeveelheid. Praktisch is het effect van weinig aangebracht zand slecht vast te stellen. Inzicht zou kunnen komen van het verhogen van de zandhoeveelheid en dan terug te redeneren van grotere hoeveelheid, via "normale" hoeveelheid naar kleinere hoeveelheid suppletiezand. Onzeker is in hoeverre dit kan, omdat de effecten sterk niet-lineair zijn. Bij Delfland is in 2000 een onderwatersuppletie uitgevoerd, de tweede in dit gebied, die kustlangs in drie delen is opgedeeld, met elk een andere aanlegvorm en/of zandhoeveelheid.

#### **Hypothese aangaande suppletie-uitvoering**

Brekerbanken fungeren als efficiënte kustlangse zandtransporteurs, en het aantal banken wordt vooral bepaald door een "zandoverschot" in het profiel t.o.v. een "minimum-profiel", dat hoort bij de heersende omgevingscondities, c.q. wordt bepaald door de hoeveelheid zand die door het dwarsprofiel moet worden doorgevoerd of afgevoerd.

Een zandoverschot kan bijvoorbeeld vergroot worden door een aangebrachte (onderwater-) suppletie. Wijzigende randvoorwaarden (golven, stroming, langtransporten van zand) kunnen eveneens leiden tot een andere zanddoorvoer of tot een ander zandoverschot t.o.v. een (nieuw) minimumprofiel.

De hypothese wordt ondersteund door de constatering dat een voldoende hoeveelheid suppletiezand (per m<sup>1</sup>) met voldoende ruimte (zeewaarts) leidt tot een extra bank. Bij Terschelling daarentegen is het suppletiezand aangebracht in de trog tussen twee (buitenste) brekerbanken en wordt het zand snel verdeeld over de bestaande banken (NOURTEC, 1997). Kennelijk ontbreekt de noodzakelijke ruimte voor een extra bank en wordt het aantal banken niet alleen door de hoeveelheid zand bepaald.

De netto zandhoeveelheden die gemoeid zijn met dwarsprofielveranderingen zijn meestal (in Nederlandse omstandigheden) klein t.o.v. de bruto hoeveelheden die (per zelfde tijdseenheid) in de brandingzone in transport zijn. Dit stelt een profiel in staat snel (orde weken) te reageren op een wijziging in hydrodynamische omstandigheden (lokale golven, stroming) zoals ten gevolge van een verstoring in de vorm van een onderwatersuppletie in de (nieuwe) brandingzone.

N.B. Deze eerste grove aanpassing, bijvoorbeeld onder vorming van een brekerbank uit het suppletielichaam, verloopt daarom relatief snel, mits voldoende transport aanwezig is; de latere, fijnere aanpassingen gaan over in het natuurlijk gedrag met bijbehorende langere tijdschalen.

### 5.3.3 Morfologisch modelinstrumentarium

Idealiter kan via prognostische morfodynamische berekeningen voorspeld worden hoe het kuststelsel zal reageren, in tijd en ruimte, op een hypothetische onderwatersuppletie, en kan aldus uit een aantal mogelijke varianten dat ontwerp gekozen worden dat het best past bij de gekozen doelstelling van de ingreep en bij de beschikbare middelen in termen van geld en materieel (hoppers). Een numeriek model dat dergelijke berekeningen met voldoende betrouwbaarheid kan maken is (nog) niet voorhanden. Het verst ontwikkeld is het (dwars-) profiel-model UNIBEST, waarin de bestaande proceskennis is en wordt opgenomen. Dit model is nog steeds in ontwikkeling. Voorzover de respons op een onderwatersuppletie te beschrijven is door enkel dwarstransporten, zou dit model toegepast moeten kunnen worden. (zie ook van Rijn et al., 2003). Helaas stellen de ervaringen tot op heden teleur, o.a. door onvolkomenheden in het model, met name in het (vanuit BKL-optiek belangrijke) overgangsgebied water-strand. Aan verbetering wordt gewerkt, zie paragraaf 5.5.

Daarnaast speelt een rol dat langstransporten, en gradienten daarin, mogelijk in hoge mate de respons van het kuststelsel op een onderwatersuppletie bepalen. Dit laat zich enkel met een 3D-model beschrijven, zoals DELFT3D. De voorspelkracht daarvan is minder ver gevorderd dan van UNIBEST. Vooralsnog zijn de mogelijkheden van een praktisch gebruik bij voorspellingen van deze modellen nog beperkt. Wel kunnen gevoeligheidsberekeningen met deze morfodynamische modellen op dit moment al behulpzaam zijn bij de vergelijking en generalisatie van de ervaringen van de afzonderlijke onderwatersuppleties die dienen te leiden tot verbeterde ontwerprichtlijnen.

### 5.3.4 Veldgegevens

Gegeven de vele onzekerheden over de werking van ons kuststelsel, en van onderwatersuppleties daarin, bestaat er vooralsnog een grote behoefte aan veldmetingen, met name aan bodemopnames met een voldoende ruimtelijk beslag (raailengte en -dichtheid) en frequentie (enkele malen per jaar). Dit geldt in het bijzonder in gebieden rond (toekomstige) onderwatersuppleties. Daarnaast worden eisen gesteld aan de nauwkeurigheid van de lodingen (te denken valt aan foutenmarges van maximaal 10 cm). In het verleden werden deze marges niet of nauwelijks gehaald, zoals bij de JARKUS-metingen. Inmiddels is de lodingsnauw-

keurigheid verbeterd met de LRK plaatsbepaling via satellieten (LRK=Long-Range Kinematics), die momenteel waterstaatsbreed wordt ingevoerd. Onduidelijk is nog welke nauwkeurigheden gehaald worden. Verdere verbetering is bereikt met de WESP in het belangrijke overgangsgebied water-strand, waarbij de WESP het additionele voordeel heeft van een betere inzetbaarheid (dan een schip in de brandingszone) bij minder gunstige weersomstandigheden (Kinneking en van Hilster, 2000; van Kapel, 2002). Daarmee leent de WESP zich ook uitstekend voor meer projectmatige metingen als bij onderwatersuppleties, zoals gebleken bij die bij Egmond, Bergen en Callantsoog.

Ook de WESP kent beperkingen in de hoeveelheid raaien die praktisch kan worden bemeten in een gegeven tijdsspanne. Het ARGUS-videosysteem daarentegen maakt een tiental synoptische opnames per dag (in principe elk uur) van een ruimtelijk gebied van enkele kilometers ter weerszijden van het station. Uit de beelden kunnen de gezochte kentallen zoals strandbreedte en bankposities worden afgeleid op indirecte wijze via enkele algoritmes. Daarmee is de nauwkeurigheid waarschijnlijk wat lager dan die van directe metingen. Echter dankzij de hoge frequentie en het synoptische beeld is ARGUS bijzonder geschikt voor specifieke vragen, zoals inzake de variabiliteit gedurende het jaar in de diverse CSI's. ARGUS en WESP zijn derhalve complementaire systemen, waarbij de WESP voorlopig ideaal geschikt is om de ARGUS-resultaten te iken en te valideren.

## 5.4 KUST2005 vorderingen

### 5.4.1 Toename inzicht in onderwater suppleren

De kennis omtrent het effect van onderwatersuppleties is/wordt gehaald uit de (onderlinge vergelijking van de) waargenomen effecten van de verschillende (in Nederland) uitgevoerde onderwatersuppleties. De optredende fenomenen zijn kwalitatief en kwantitatief dermate nieuw dat er weinig directe aanknopingspunten met bestaande kennis te vinden zijn. De voorspellende kracht van morfodynamische modellen is gering. Eerder leveren de genoemde waarnemingen materiaal om deze modellen te toetsen en verbeteren.

De waargenomen effecten van de uitgevoerde onderwatersuppleties verschillen onderling, hoogstwaarschijnlijk door de per locatie andere hydrodynamische (golven en stroming) en morfologische omstandigheden. Zo hangen de brekerbanken in het ongestoorde systeem qua aantal en dynamiek af van de locatie. De meeste suppleties zijn aangelegd zeewaarts van de buitenste bank, voor zover aanwezig. Alleen de onderwatersuppletie Terschelling is tussen de buitenste brekerbanken geplaatst. De aanlegdiepte is zo'n -4.5m a -5.0m NAP, en wordt beperkt door het beschikbare materieel. Ondieper is in principe mogelijk, maar praktisch even duur als een strandsuppletie. De maximale diepte waarop zand is gestort bedraagt zo'n -8m NAP, en wordt gedecteerd door de totaal aan te brengen hoeveelheid zand per strekkende meter (normaal orde 250-600 m<sup>3</sup>/m<sup>1</sup>) en de plaatselijke profielvorm. Er bestaat een tendens om grotere hoppers relatief goedkoop de bulk van de suppletie op dieper water te laten aanleggen, terwijl kleinere schepen de bovenlaag voor hun rekening nemen.

Bijna alle onderwatersuppleties, mogelijk uitgezonderd die bij Scheveningen, laten duidelijke en snelle morfologische aanpassingen zien. In de eerste opname na de suppletie is het oorspronkelijk redelijk vlakke suppletieoppervlak al vervormd. Daarbij wordt de top van de landwaarts gelegen brekerbank, indien aanwezig, meestal verhoogd en landwaarts verplaatst. Afgezien van de onderwatersuppletie Terschelling, ontstaat er in de bovenlaag

van de suppletie een extra, zeewaartse bank/trog-combinatie t.o.v. het oorspronkelijke systeem. Deze trog is bij Ter Heijde, waar oorspronkelijk nauwelijks een bank aanwezig was, zeer sterk ontwikkeld, mogelijk vanwege de aanwezigheid van strandhoofden. Alleen bij Terschelling ontstond geen nieuwe extra bank/trog-combinatie. Waarschijnlijk kon het suppletiezand daar snel in het oude bankensysteem worden "opgenomen" omdat het tussen bestaande banken was aangebracht.

Kustlangs gezien gedragen de onderwatersuppleties zich verschillend. Die bij Zuid-Holland vertonen kustlangs een sterk homogeen morfologische gedrag, in tegenstelling tot die bij Terschelling en Ameland waar het effect kustlangs sterk verloopt. Daar wordt de zandwinst in de BKL-schijf naar het oosten (zandtransportafwaarts) sterker; bovendien verschuift het hele suppletielichaam in de loop van de tijd oostwaarts langs de kust met zo'n 400 m/jaar.

Bijna alle onderwatersuppleties laten een gewenst positief effect op de BKL-rekenshijf zien, deels door de bijdrage van de toppen van de nieuwe en/of verhoogde brekerbank, en deels doordat het profiel bij de kust verhoogd wordt. MKL-winst is het gevolg van (i) profielaanpassingen na de onderwatersuppletie, die meestal grotendeels onder de rekenshijf ligt, waarbij per saldo het volume rond de suppletiediepte afneemt en dat erboven toeneemt ("dwarstransport") en van (ii) "schaduwwerking", waarbij de suppletie zorgt voor extra golfbreking zodat het langstranport in de brandingzone landwaarts van de suppletie verminderd wordt zodat zand kan worden ingevangen. In het laatste geval neemt het zandvolume in het gesuppleerde kustvak toe na de suppletie, zoals met name het geval bleek bij Terschelling en Katwijk en Noordwijk.

In het ideale geval houdt het ontwerp van een onderwatersuppletie rekening met een gewenste verhouding van de effecten van dwarstransport en schaduwwerking, en met de tijdconstantes en grootteordes waarmee deze zullen optreden. Locatie en volume van de onderwatersuppletie worden daar dan op afgestemd. Vanuit einddoel 3 moeten hiertoe middelen worden geleverd. Op den duur bestaan deze middelen hopelijk uit numerieke modellen. De komende jaren valt eerder te denken aan (geleidelijk toenemende) empirische kennis waarbij in eerste instantie het ontwerp van een volgende onderwatersuppletie gebaseerd wordt op eerdere ervaringen in een vergelijkbare (morfologische en hydrodynamische) situatie.

#### **5.4.2 Verbeteringen in toetsen van modellen**

Er is gewerkt aan de morfodynamische modellen UNIBEST en DELFT3D die (op den duur) bruikbare voorspellingen moeten kunnen doen van morfologische veranderingen in het kuststelsel op de tijd- en ruimteschalen van Einddoel 3. Recent is vooral aandacht besteed aan UNIBEST. Omdat er in het verleden diverse versies van het model zijn ontwikkeld en toegepast bleek het nodig om een goede documentatie van een geaccepteerde standaard-versie op te stellen, waarop volgende versies kunnen worden gebaseerd. Daarnaast is een zogeheten testbank van laboratorium- en veldgegevens opgebouwd, waarin ook de parameterwaarden en modelresultaten van simulaties van deze gevallen zijn opgenomen. Deze testbank maakt het mogelijk om, aan de hand van simulaties van dezelfde cases, de performance van toekomstige versies van UNIBEST kwantitatief te vergelijken met die van eerdere versies. Verder zijn enkele gebreken in het model geïdentificeerd, zoals slechte rekenresultaten in de ontwikkeling rond de waterlijn. Met name deze gebreken maken dat UNIBEST vooralsnog niet bruikbaar is voor de praktijk van het ontwerpen van een onderwatersuppletie. Voor DELFT3D is een soortgelijke testbank ontwikkeld.



### 5.4.3 Monitoring suppleties verbeterd

Bij de meeste onderwatersuppleties is een monitoringsprogramma opgesteld, soms na enkele aanloopproblemen waardoor een t0-meting bijvoorbeeld ontbreekt. Van een tiental suppleties wordt een database opgebouwd en geëvalueerd. De diverse Informatiediensten van Rijkswaterstaat hebben LRK ingevoerd of werken daaraan, hetgeen de betrouwbaarheid van de metingen naar verwachting verbetert. Bij de Noord-Hollandse onderwatersuppleties (Egmond, Bergen, Callantsoog) wordt de WESP gebruikt.

Bij Egmond staan 2 ARGUS-camera's. De eerste is geplaatst op de zgn ARGUS-mast ten zuiden van Egmond ten behoeve van het inmiddels voltooide Europese project COAST3D, de tweede is in 1999 geplaatst op de vuurtoren Jan van Speijk in de hartlijn van de onderwatersuppletie. Beide camera's zijn in gebruik. Die op de Jan van Speijk wordt ingezet bij de evaluatie onderwatersuppletie Egmond, die van de ARGUS-mast in het Europese project COASTVIEW.

In het project COASTVIEW worden ARGUS-gerelateerde CSI's verder ontwikkeld. Een eerste voorlopige set is geformuleerd (Davidson, 2002)

## 5.5 Referenties

### 5.5.1 KUST2000 / KUST2005 produkten

*Tot 2000*

**Aarninkhof, S.G.J., 1996.** Quantification of bar bathymetry from video observations, H2443, WL I delft hydraulics, april 1996

**Aarninkhof, S.G.J., 1999.** Argus & Kustbeheer, Z2720, WL I delft hydraulics, oktober 1999

**Aarninkhof, S.G.J., 1999.** Schatting bodemligging uit Argus videobeelden, Z2720, WL I delft hydraulics, oktober 1999

**Aarninkhof, S.G.J., 1999.** Waterlijndetectie uit Argus videobeelden; gebruikershandleiding, Z2720, WL I delft hydraulics, november 1999

**Anonymous, 1999.** Zand suppleren onder water - Het alternatief voor het fundament van Nederland, Brochure RIKZ

**Biegel, E.J., R. Spanhoff en A.M. Walburg, 1999.** Evaluatie onderwatersuppletie Ameland. Interimrapportage, 1999. Werkdocument RIKZ/OS-99.162x.

**Biegel, E.J., R. Spanhoff en A.M. Walburg, 1999.** Evaluatie onderwatersuppletie Delfland. Interimrapportage, 1999. Werkdocument RIKZ/OS-99.147.

**Boers, M. 1999.** Voorspelling vooroeversuppletie met Unibest-TC. Werkdocument RIKZ/OS-99.171X.

**Boutmy, A.E.G., 1998.** Morphological impact of IJmuiden harbour. Validation of Delft3D 1968-1996. Afstudeerwerk van de TUDelft, rapport Z2321, WL I delft hydraulics.

**De Graaff, R.F., 1996.** Hydrodynamic modelling and video imaging of a rip current system, Z2079, WL I delft hydraulics, augustus 1996

**Janssen, P.C., 1997.** Intertidal beach level estimations from video images, Z2079.2, WL I delft hydraulics, april 1997

**Van Kessel, T., 1999.** Automatische bepaling beeldverschuiving Argus; gebruikershandleiding, Z2720, WL I delft hydraulics, november 1999

2000

**Aarninkhof, S.G.J., 2000.** Automatische aanmaak van stapelbeelden; gebruikershandleiding Argus Stack Tool (AST), Z2919, WL I delft hydraulics, juni 2000 (inclusief Matlab applicatie AST)

**Aarninkhof, S.G.J., 2000.** Automatische aanmaak van compositiebeelden; gebruikershandleiding Argus Merge Tool (AMT), Z2919, WL I delft hydraulics, juni 2000 (inclusief Matlab applicatie AMT)

**Aarninkhof S.G.J., 2000.** Inbedding data hydrodynamica in de Argus werkomgeving - concept opzet, memo, WL I delft hydraulics, november 2000

**Aarninkhof S.G.J. 2000.** Strandbreedte bepaling Egmond met behulp van de Argus videotechniek, Z3006, WL I delft hydraulics, december 2000

**Biegel, E.J., 2000.** Advies suppletie Vlieland 2000+. Werkdocument RIKZ/OS/2000.133x.

**Biegel, E.J., R. Spanhoff en A.M. Walburg, 2000.** Evaluatie onderwatersuppletie Egmond. Interimrapportage, 2000 (concept). Werkdocument RIKZ/OS/00.xxx.

**Caljouw, M., 2000.** Video-based monitoring of the Egmond beach- and shoreface nourishments - Evaluation of the 1999 nourishments with the help of the Argus video system, Z2773, WL I delft hydraulics, augustus 2000 (met een samenvatting in het nederlands: Video observaties van de strand- en vooroever suppleties te Egmond)

**Kinneging, N.A. en de Hilster, N, 2000.** Optimalisatie WESP. Nauwkeurigheidanalyse van de Water en Strand Profiler ten behoeve van het rapport Toekomst WESP. Rapport MDGAP 2000.46, Meetkundige Dienst, Delft.

**Lesser, G. and D. Roelvink, 2000.** On-line sediment transport within Delft3D-Flow. Delft Hydraulics report Z2899.

**Rijn, L.C. van, 2000.** Hydrodynamics, sediment dynamics and morphodynamics during storm events 1998. Delft Hydraulics report Z2897.

**Roelvink, D., D.J. Walstra en B.G. Ruessink, 2000.** Delft Hydraulics report Z2897.

**Van Beijnen, W., 2000.** Morfo-dynamiek rondom strandsuppleties ter hoogte van Egmond aan Zee. Concept-afstudeerrapport TUDElft.

**Van Kessel T. en S.G.J. Aarninkhof, 2000.** Automatische bepaling beeldverschuiving Argus - gebruikershandleiding versie 2, Z2919, WL I delft hydraulics, november 2000 (inclusief Matlab applicatie Autogeom)

**Van Veen, C., 2000.** A probabilistic two-line model. Afstudeerrapport TUTwente, december 2000.

**Walstra, D.J., 2000.** Userguide for UNIBEST-TC. Delft Hydraulics report Z2897.

**Walstra, D.J., 2000.** Overzicht werkzaamheden GKO project 2. Delft Hydraulics/WL Rapport Z2897.

2001

**Biegel, E.J., 2001.** Overzicht tools ten behoeve van de analyse van onderwatersuppleties. Werkdocument RIKZ/OS/2001.115x.

**Davidson, M., 2001.** Initial report on video-derived coastal state indicators (CSIs)

**Rijn, L.C. van, 2001.** Longshore sediment transport. Delft Hydraulics report Z3054.20.

**Rijn, L.C. van, J.A. Roelvink and W. ter Horst, 2001.** Approximation formulae for sand transport by currents and waves and implementation in DELFT-MOR. Delft Hydraulics Report Z3054.20.

**Spanhoff, R., 2001.** Voorlopige richtlijnen monitoring en ontwerp onderwatersuppleties (Concept-rapport). Werkdocument RIKZ/OS/2001/114X.

**Uittenbogaard, R.E. and T. van Kessel, 2001.** Numerical simulation of wave-current driven sand transport. Delft Hydraulics Report Z3054.10.

**Walstra, D.J.R. and B.G. Ruessink, 2001.** Benchmarking database for UNIBEST-TC and DELFT3D, Part II. Delft Hydraulics report Z3054.30.

2002

**Aarninkhof S.G.J. en T. van Kessel, 2002.** Schatting bodemligging brandingszone uit Argus videobeelden, Z3326, WL I delft hydraulics, 2002

**Duin, M.J.P. van en N.R. Wiersma, 2002.** Evaluation of the Egmond shoreface nourishment – part I: data analysis, Z3054, Z3148, Delft Cluster, 2002

**Duin, M.J.P. van, 2002.** Evaluation of the Egmond shoreface nourishment – part III: validation of the morphological modelling Delft3D-MOR, Z3054, Z3148, Delft Cluster, 2002

**Kapel, R.E. van, 2002.** Toekomst WESP, ANI01.02.

**Nipius, L.J., 2002.** Evaluations of nourishments at Emond with Argus video monitoring and Delft3D-MOR.

**Reintjes, C.M., 2002.** Muilocaties voor de kust bij Egmond aan Zee – Relaties tussen muilocaties en volumeveranderingen, IMAU, R02-02

**Rijn, L.C. van, B.G. Ruessink, J.P.M. Mulder (eds), 2002.** COAST3D Egmond – The behaviour of a straight sandy coast on the time scale of storms and seasons, Process knowledge and guidelines for coastal management, end document, march 2002.

**Spanhoff, R. 2002.**, Evaluatie onderwatersuppletie Ameland – interimrapportage 2002, RIKZ/OS/2002.105X.

**Spanhoff, R., E.J. Biegel en A.M. Walburg, 2002.** Evaluatie Zuid-Hollandse onderwatersuppleties. Interimrapportage, 2002. Werkdocument RIKZ/OS/2002.109x.

**Spanhoff, R., 2002.** Evaluatie onderwatersuppletie Callantsoog. 2002. Werkdocument RIKZ/OS/2002.415x.

**Wiersma, N.R., 2002.** Evaluation of the Egmond shoreface nourishment – part II: validation of the morphological UNIBEST-TC model, Z3054, Z3148, Delft Cluster, 2002.

2003

**Rijn, L.C. van, D.J.R. Walstra, B. Grasmeijer, J. Sutherland, S. Pan , J.P. Sierra, 2003.** The predictability of cross shoe bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process based Profile models, Coastal engineering, 47(2003) 295 - 327

#### **5.5.2 Overige referenties**

**ARCADIS, Nieuwe Gracht, ALKYON, 2002.** Strategische Visie Hollandse kust 2050.

**Boers, M., L. Uit den Bogaard, J. Asjes, 2003.** De megasuppletie bij Egmond aan Zee – Nadere analyse van de effectiviteit en risico's van verschillende varianten, januari 2003, CONCEPT

**RIKZ, Kustlijnkaarten, jaarlijks vanaf 1992, Laatste rapport RIKZ-2002.009, april 2002.**

**Roelse P.,** Evaluatie van zandsuppleties aan de Nederlandse kust 1975-1994, een morfologische beschouwing, RIKZ-96.028, ISBN 90-369-0455-2

**Roelse, P.,** Water en zand in balans – evaluatie zandsuppleties na 1990; een morfologische beschouwing, RIKZ/2002.003, ISBN 90-36-369-3426-5

**NOURTEC, 1997.** Innovative nourishment techniques evaluation, Final report. Coord. Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management / RIKZ, The Hague, The Netherlands, 105 pp with figures.

**Rijksinstituut voor Kust en Zee, 2002.** Naar integraal kustzonebeleid; beleidsagenda voor de kust.

---

## 6 De Noordzeebodem- Einddoel 4

---

### 6.1 Regionale schaal

Einddoel 4 betreft de ontwikkeling van morfologische kennis op de schaal van de Noordzee. Kenmerkende ruimteschalen zijn 1-100 km. De bijbehorende tijdschalen variëren van 10-100 jaar. De rapportage richt zich op grootschalige zeezandwinning. Daarbij te denken aan volumes van enkele tientallen tot honderden miljoenen kubieke meters.

Sinds een aantal jaren bestaan er plannen voor grootschalige zeezandwinning met name voor de uitbreiding van de Maasvlakte (Maasvlakte 2) en een vliegveld in zee (Flyland). Voor de winning van het zand wordt gedacht aan zandwinputten met een diepte beneden de zeebodem van 5-20 m. Een andere mogelijkheid voor zandwinning is het afgraven van de Zeelandbanken. In deze rapportage wordt speciaal aandacht gegeven aan het morfologisch gedrag van zandwinputten en banken en de mogelijke effecten van de zandwinning op de kustlijnhandhaving/kustveiligheid en aspecten als vaargeulen, platforms, kabels en pijpleidingen.

### 6.2 Operationele stand van kennis

#### 6.2.2 Noordzeebeleid

In het jaar 2000 was de operationele stand van kennis voor de winning van zeezand op de Noordzee beperkt tot volumes die aanzienlijk kleiner zijn dan 10 miljoen kubieke meters. De voorwaarden voor de winning van deze relatief kleine hoeveelheden zeezand zijn beschreven in het Regionale Ontgrondingsplan Noordzee/Milieu Effect Rapportage (RON/MER) (Rijkswaterstaat, 1991). Deze voorwaarden hebben zowel betrekking op de uitvoering als op de gevolgen voor het milieu. Het bepalen of aan de verschillende voorwaarden wordt voldaan vereist kennis van de waterbeweging, morfologie en ecologie in en om het wingebied. Wat betreft fysische effecten (waterbeweging en morfologie) wordt hierop in detail ingegaan in Hoogewoning en Boers (2001).

Gezien de schaalvergroting is het twijfelachtig of de voorwaarden voor vergunningverlening als beschreven in de huidige RON/MER van toepassing zijn op zandwinning met veel grotere volumes. Mede in verband hiermee wordt gewerkt aan een RON/MER 2. Voor het schrijven daarvan is onder meer kennis nodig van het morfologisch gedrag van grootschalige zandwinputten en Zeelandbanken. De in het jaar 2000 bestaande kennis daarover was voornamelijk gebaseerd op in het kader van KUST2000 uitgevoerde numerieke model berekeningen, Svasek (1998), Walstra et al, (1998) , Walstra et al. (1999), en Klein (1999) en een vergelijking van het gedrag van zandwinputten met dat van zandbanken, Nemeth (1998). De in deze studies beschreven modelresultaten vormden een eerste stap in het vergaren van kennis die nodig is voor het opstellen van algemene voorwaarden voor vergunningverlening van grootschalige zeezandwinning. Wel geven zij al een indicatie van de eerder genoemde effecten van

schaalvergroting met als voorbeeld het optreden van een evenwichtssnelheid bij langere, in de stroomrichting zandwinputten (Svasek, 1998). In het volgende worden de resultaten van deze studies in het kort weergegeven.

### 6.2.2 Hydro- en morfodynamische effecten zandwinning

In Svasek (1998) worden de resultaten van 2DH numerieke berekeningen naar de waterbeweging in grote en diepe zandwinputten beschreven. Daarbij is gebruik gemaakt van het model WAQUA. Zover kan worden nagegaan is de Coriolis term op nul gezet. Zandwinputten zijn rechthoekig. Verschillende combinaties van lengte, breedte en diepte zijn onderzocht. Lengtes en breedtes variëren tussen 2 en 20 km. Dieptes variëren tussen 2 en 10 m. De diepte van de ongestoorde zeebodem is 20 m. Het is uit het rapport niet duidelijk met welke taludhelling is gewerkt. Berekeningen zijn gemaakt met een stationaire stroming met een snelheid van 1 m/s. Daarnaast zijn berekeningen gemaakt met een M2 getij. De daarbij optredende maximale snelheden waren 0.6 m/s. In afwezigheid van de zandwinput was de getijsnelheid rectilineair. In de berekeningen is de hoek tussen de langsas van de zandwinput en de richting van de getijstroom gevarieerd. Een belangrijke conclusie uit de berekeningen is dat, gaande langs de langsas, er een aanzienlijke variatie in snelheid is. Met name in de omgeving van het talud treden grote snelheidsgradiënten op. Bij een put waarbij de langsas samenvalt met de stroomrichting neigt gaande van het bovenstrooms naar het benedenstrooms talud de snelheid naar een evenwichtswaarde; pas op een zekere afstand benedenstrooms van het bovenstrooms talud blijft de snelheid constant. Naar deze afstand wordt verwezen als de aanpassingslengte. Afhankelijk van de lengte, breedte en diepte van de put is de "evenwichtsnelheid" groter of kleiner dan de snelheid daarbuiten. Bij putoriëntaties waarbij de langsas niet samenvalt met de stroomrichting is het moeilijk algemene conclusies te geven.

Klein (1999) heeft stroompatronen in grootschalige zandwinputten berekend uitgaande van de 2DH vergelijkingen met en zonder Coriolis term. Berekeningen zijn uitgevoerd voor een stationaire en een niet-stationaire (getij) waterbeweging. Voor het oplossen van de vergelijkingen is gebruik gemaakt van de hydrodynamische module van het modelsysteem Delft3D-MOR. De dimensies van de onderzochte putten en de stroomsnelheden waren van dezelfde grootteorde als die in Svasek(1998). Wat betreft de waterbeweging zonder Coriolis gelden dezelfde conclusies als die in Svasek(1998). Wanneer het Coriolis effect wordt meegenomen wordt de asymmetrie in het stroombeeld versterkt. De stroom concentreert zich aan één kant van de put gedurende de eb en aan de ander kant gedurende de vloed. Ook de in en uitstromings patronen worden beïnvloed. Het asymmetrisch stroombeeld heeft een significant effect op de getijgemiddelde stroming.

Voor een beter begrip zijn analytische oplossingen voor de waterbeweging ontwikkeld. Uiteindelijk zullen deze ook een bijdrage leveren aan de te gebruiken procesbeschrijving van het te ontwikkelen morfodynamisch model. In Appendix A van Ribberink (1989) wordt de waterbeweging in een lange en nauwe put met een rechthoekig planform beschouwd. De langsas van de put is parallel aan de stroomrichting. In dat geval kunnen de 2DH vergelijkingen zodanig worden vereenvoudigd dat een analytische oplossing mogelijk is. Deze oplossing laat zien dat gaande van het bovenstrooms naar het benedenstrooms talud de snelheden toenemen en naderen tot een evenwichtswaarde.

Met betrekking tot loslaten van stroom op een talud laten 3-D waterbewegingsommen zien dat bij relatief steile hellingen (1:2) de stroom loslaat (Jensen et al, 1999).

In Walstra et al. (1998) en Walstra et al. (1999) worden berekeningen naar het gedrag van de doorsnede van een geul onder de invloed van getij, inclusief reststroom, en golven beschreven. Een geul kan worden opgevat als een grensgeval van een zandwinput met een breedte die klein is ten opzichte van de lengte. In de berekeningen is gebruik gemaakt van het 2DV model SUTRENCH (van Rijn, 1987). Er is gewerkt met een zogenaamd morfologisch getij. De initiële vorm van de doorsnede is een trapezium. Berekeningen zijn gemaakt met waterdiepten variërend van 15-25 m, bodembreedten variërend van 300 – 2400 m, geuldiepten variërend van 2-14 m en taludhellingen variërend van 1:7 – 1:30. Onafhankelijk van de verschillende initiële dimensies verplaatst de geul zich over een periode van 50 jaar over een afstand van ongeveer 500 m in de richting van het rest zandtransport. De doorsnede wordt breder en ondieper, het bovenstrooms talud wordt steiler en het benedenstrooms talud wordt flauwer.

Klein(1999) heeft morfologische berekeningen uitgevoerd voor dezelfde grootschalige zandwinputten zoals gebruikt in de stromingsberekeningen en voor de geul zoals die gebruikt is in de studie van Walstra et al. (1998). Het stromingsveld bestaat uit een M0, M2 en M4 component. Verder is er een golfveld met een significante golfhoogte van 1 m en een piekperiode van 6 s. opgelegd. In de berekeningen voor de geul is Coriolis niet meegenomen. Het sedimentatie erosie patroon in de zandwinputten varieert sterk met de putafmetingen en putoriëntatie. Op tijdschalen van een eeuw treden significante veranderingen in de bodem op. De berekeningen met de geul tonen eenzelfde beeld als die in Walstra et al.(1998). De geul verplaatst zich in de richting van het netto zandtransport met een snelheid van orde 10 m per jaar. Het bovenstrooms talud wordt steiler en het benedenstrooms talud wordt flauwer.

Naast de modelstudies zijn er aanwijzingen dat in kwalitatieve zin het gedrag van zandwinputten kan worden vergeleken met dat van grootschalige zandbanken. Gebaseerd hierop is in Nemeth (1998), gebruik makend van een analytische oplossing, gekeken naar de groei van grootschalige zandbanken onder invloed van het getij. De analytische benadering is gebaseerd op Hulscher et al. (1993). Bij zandbanken wordt gedacht aan een ritmisch patroon in de zeebodem met golflengten van 1-10 km. Hoewel dit patroon niet direct overeenkomt met een zandwinput of zandstort is het wel mogelijk uit de resultaten globale conclusies te trekken met betrekking tot het gedrag van deze kunstmatige verstoringen. De respons van een initiële verstoring in de vorm van een ritmisch, sinusoidaal zandbanken patroon hangt af van de interactie van de verstoring en de waterbeweging. Een belangrijke rol speelt daarbij de golflengte (van het banken patroon) en de oriëntatie ten opzichte van de stroomrichting. Afhankelijk hiervan groeit of verdwijnt de initiële verstoring. Een zelfde respons is te verwachten bij zandwinputten en zandstorten. Een zandput of zandstort vlakkt uit of er ontwikkelt zich een dynamisch patroon met toenemende amplitude. In deze studies wordt de morfologische tijdschaal van de veranderingen gemeten in eeuwen. Vergelijking van analytische en numerieke (Delft 3D) resultaten tonen een goede overeenkomst voor stationaire stroming. Echter, in geval van getijbeweging vertoont het numerieke model geen groeiende componenten, terwijl volgens het analytische model dat wel het geval is. De oorzaak hiervan wordt gezocht in de opgelegde randvoorwaarden.

### 6.3 Behoeftte aan kennis, modellen en veldgegevens

#### 6.3.1 Beoordeling gedrag grootschalige zandwinning

De in deze paragraaf geschetste kennisbehoefte is de kennisbehoefte zoals die bestond in het jaar 2000, de aanvang van het programma KUST2005.

Zoals aangegeven in paragraaf 6.1 is de kennis van het gedrag van grootschalige zandwinputten bij de start van KUST2005 voornamelijk gebaseerd op modelberekeningen. Wel waren er veldgegevens beschikbaar omtrent het gedrag van (kleinschalige) zeezandwinputten. Deze gegevens zijn echter, anno 2000, niet systematisch bekeken.

Welke kennis van het gedrag van zandwinputten en Zeelandbanken nodig is dient onder meer te worden gebaseerd op een toetsings of beoordelingskader. Dit kader gaat uit van waarden en belangen welke in het geding kunnen komen bij grootschalige zandwinning. In navolging van de studie die verricht wordt voor het vliegveld in zee zijn deze waarden en belangen ondergebracht in de twee thema's Ecosysteem en Gebruiksfuncties (Flyland, 2002). Ieder thema is onderverdeeld in aspecten. Voor het thema Ecosysteem zijn dit bodemdieren, vissen, vogels en zeezoogdieren en voor het thema gebruiksfuncties, visserij, scheepvaart, havens en geulen, infrastructuur, kustveiligheid/kustlijnhandhaving. Onder infrastructuur wordt hier verstaan platforms, kabels en pijpleidingen op de zeebodem. Op dit moment (2000) bestaat er geen duidelijk toetsings of beoordelingskader, inclusief de daarbij behorende coastal state indicators (CSI), voor grootschalige zeezandwinning.

Uit de resultaten van de in paragraaf 6.1 beschreven modelberekeningen blijkt dat verschillen in putgeometrie leiden tot verschillende stroombeelden en daarom verschillende morfologische veranderingen. Daarbij hoort ook het loslaten van de stroom bij steile taludhelling en de mogelijke gevolgen daarvan voor de zuurstofhuishouding. Er bestaat dus behoefte aan richtlijnen voor het ontwerp van een zeezandwinput (putafmetingen, locatie). Een voorspellend morfodynamisch model kan hierbij een belangrijk hulpmiddel zijn.

#### 6.3.2 Morfologisch modelinstrumentarium

Zoals aangegeven in paragraaf 6.2 kunnen, uitgaande van de in een toetsings of beoordelingskader gestelde eisen, morfodynamische modellen een belangrijke rol spelen bij het ontwerpen van zeezandwinputten. Het zal duidelijk zijn van het in paragraaf 6.1 gestelde dat de basisstructuur voor zo'n model in de vorm van Delft3D-RAM aanwezig is. Echter de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de daarmee uitgevoerde berekeningen zijn nooit getoetst aan veldmetingen. Veder wordt opgemerkt dat hetzelfde basismodel Delft 3D-RAM ook wordt ingezet bij de andere "grootschalige" Einddoelen. Het verschil met de andere Einddoelen is dat het model zich nu moet richten op de voor zeezandwinning geldende (nog te definiëren) CSI's.

Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de modelberekeningen worden bepaald door de ingebouwde proceskennis en door de opgelegde randvoorwaarden. Bij proceskennis moet in eerste instantie gedacht worden aan de relatie tussen waterbeweging, inclusief getijden en golven, en zandtransport. Laboratoriumproeven en veldmetingen zijn nodig om die relatie te verbeteren. Het randvoorwaarde probleem concentreert zich op het schematiseren van opgetreden stroom en golfcondities gedurende de periode dat de zandwinput aanwezig is (geschat op 10-100 jaar). Verder



blijkt uit de in paragraaf 6.1 gerapporteerde berekeningen dat het Coriolis effect een niet te verwaarlozen rol speelt bij de stroming in en om grootschalige zandwinputten. Het correct weergeven daarvan in het model stelt speciale eisen aan de randvoorwaarden

### 6.3.3 Veldgegevens

Veldmetingen, inclusief de ontwikkeling van meetapparatuur, vormen een belangrijke schakel in de vermeerdering van proceskennis en uiteindelijk de toetsing en indien nodig ontwikkeling van een morfodynamisch model. Daarbij kan worden gedacht aan grootschalige, in ruimte en tijd, metingen in een bestaande of nog te graven zeezandwinput. Bij voorkeur zou deze put moeten liggen in dat deel van de Noordzee waar grootschalige zandwinning het meest waarschijnlijk is.

Naast het toetsen en ontwikkelen van een morfodynamisch model kunnen de resultaten van veldmetingen ook direct leiden tot vermeerdering van operationele kennis. Daarbij te denken aan het loslaten van stroom op het talud bij een zekere helling, het zuurstofgehalte in de put en aanslibbing.

Zoals eerder gemeld zijn voorafgaand aan het jaar 2000 een aantal metingen, voornamelijk bathymetrische opnamen, gedaan in bestaande kleinschalige zandwinputten en geulen. De gegevens daarvan zijn verder uitgewerkt in het kader van KUST2005 en worden besproken in paragraaf 6.5.2.

## 6.4 KUST2005 vorderingen

### 6.4.1 Verkenning mogelijk beoordelingskader

Als eerste aanzet om te komen tot een beoordelingskader voor grootschalige zeezandwinning is op 15 en 16 mei 2002 een workshop gehouden. Aan de workshop werd deelgenomen door medewerkers van RIKZ, DNZ en TNO. Voor een verslag van de workshop wordt verwezen naar van Breukelen (2002). De voor deze rapportage relevante aanbevelingen worden hieronder in het kort weergegeven.

*Er mag geen zuurstofloosheid in de put optreden. (Ecosysteem; bodemdieren, vissen)*

Naast een mogelijke toename van "chemical oxygen demand" (COD) en "biological oxygen demand" (BOD) tengevolge van bezinking van detritus speelt de verticale uitwisseling en de verversingstijd van het water in de zandwinput een cruciale rol in de zuurstofhuishouding. De verticale uitwisseling wordt in hoge mate beïnvloed door gelaagdheid. De huidige gedachte is dat zo lang de stroom op het talud niet loslaat, de kans op gelaagdheid gering is en de verversingstijd klein genoeg is om significante afname van het zuurstofgehalte te voorkomen. Het loslaten van de stroom houdt verband met de getijsnelheid en de taludhelling. In Bijlage G van het verslag van de workshop wordt gesteld dat bij een taludhelling van 1:100 en flauwer zuurstofloosheid niet optreedt.

*Ten behoeve van de scheepvaartveiligheid moet de initiatiefnemer een modelonderzoek doen naar de optredende stroompatronen in en om de put en het effect daarvan op alle type vaart.. (Gebruiksfunctie; scheepvaart)*

Voor het voorspellen van stroompatronen in en om de put wordt gebruik gemaakt van numerieke waterbewegings en golf modellen. In bijlage G van het verslag van de workshop wordt gesteld dat "met de huidige kennis en huidige modellen dit (stroom- en golfpatronen) goed inzichtelijk is te

maken". Hoewel niet expliciet genoemd wordt aangenomen dat hierbij wordt gedacht aan 2DH waterbewegingsmodellen en het golfmodel SWAN. In hoeverre het mogelijk is het effect van veranderende waterbewegings- en golfpatronen op de scheepvaart te bepalen wordt in het verslag buiten beschouwing gelaten.

*Er dient ten opzichte van offshore constructies (platforms, kabels, pijpleidingen) voldoende afstand bewaard te worden. (Gebruiksfunctie; infrastructuur)*

Voornamelijk gebaseerd op waarnemingen van het gedrag van Euro-Maas geul en IJgeul (e.g. Ribberink.1989) wordt verwacht dat zandwinputten in de tijd migreren en vervormen. Daardoor bestaat het gevaar dat de fundaties van platforms worden ondermijnd en kabels en pijpleidingen bloot komen te liggen. Om de gewenste afstand tussen zandwinput en deze constructies te bepalen is het zaak de morfologische veranderingen van de zandwinput te voorspellen. Hiervoor is kennis nodig van zowel waterbeweging als zandtransporten. Uiteindelijk is het zaak dat deze proceskennis wordt samengebracht in een 3-D morfodynamisch model. In Bijlage G van het verslag van de workshop wordt gesteld dat het ontwikkelen van zo'n model de taak is van de overheid. Het is de bedoeling dat deze taak binnen het programma KUST2005 wordt uitgevoerd, zie ook paragraaf 6.3.1.

In Bijlage G van het verslag van de workshop worden afhankelijk van de diepte voor een grootschalige zandwinput van 400 miljoen m<sup>3</sup> veiligheidsmarges aangegeven voor de afstand van de put tot pijpleidingen, kabels, platforms e.d. Opgemerkt wordt dat die marges zijn gebaseerd op expert judgement. Zij dienen daarom nader te worden onderbouwd o.a via model resultaten. In verband hiermee wordt Bijlage G gesteld dat het voor de overheid van belang is "het onderzoek naar zandtransport te ondersteunen, ten einde verificatie materiaal te verkrijgen voor de morfologische modellen, die in de toekomst de veiligheidsmarges kunnen verkleinen".

*Er dient voldoende afstand bewaard te worden tot de doorgaande 20 m dieptelijn. (Gebruiksfunctie; kustveiligheid/kustlijnhandhaving)*

Door het migreren van de zandwinput bestaat de kans dat de put zich uitbreid tot in de kustzone (landwaarts van de 20 m diepte lijn). Ook hiervoor worden in Bijlage G veiligheidsmarges genoemd. Deze dienen verder te worden onderbouwd gebruikmakend van een 3-D morfodynamisch model.

#### **6.4.2 Ontwerprichtlijnen voor zeezandwinputten**

Uit veldgegevens van kleinschalige zeezandwinputten, zie paragraaf 6.5.2, zijn er aanwijzingen dat relatief diepe putten, waarbij de stroom de bodem niet volgt, snel opvullen met slib. Het gaat hier om putten buiten de actieve kust i.e. voor de Nederlandse kust putten op een diepte > 10 m.

Uit een eerste analyse van de stroommetingen in Verdiepte loswal, zie paragraaf 6.5.2, volgt dat met betrekking tot het volgen van de stroom van de bodem en de daarmee verband houdende zuurstofconcentratie een taludhelling van 1:30 en flauwer aanvaardbaar is.

#### **6.4.3 Golfeffecten afgraven Zeelandbanken**

Afgraven van de Zeelandbanken voor zandwinning kan mogelijk tot een verhoging van golfhoogten leiden voor de kust van Zeeland en de Zuid-Hollandse kust ten zuiden van Hoek van Holland. Hiernaar is onderzoek gedaan met behulp van de golfmodellen SWAN en ENDEC (Boers en

Jacobse, 2000). De conclusie is dat een eventuele zandwinning op de zeebanken praktisch niet van invloed is op de spectrumvorming en de golfrichting in de nabijheid van de kust.

#### **6.4.4 Modelbenaderingen schematische zandwiningen**

Numerieke morfodynamische modellen als Delft3D-RAM hebben het nadeel dat door de vele processen die worden meegenomen de resultaten van de berekeningen ondoorzichtig worden. Om een beter begrip en gevoel te krijgen voor de uitkomsten van zo'n model is een analytische oplossing ontwikkeld voor de morfologische veranderingen van de doorsnede van een relatief nauwe zandwininput (geul) ten gevolge van de getijstroom (van de Kreeke et al, 2002). De getijstroom staat loodrecht op de as van de geul en is opgebouwd uit een reststroom (M0) en een M2 en M4 component. De laatste twee bepalen de getijasymmetrie. Uitgaande van vereenvoudigde vergelijkingen waarbij de dominante fysische processen zijn gehandhaafd, wordt aangetoond dat als gevolg van de reststroom en getijasymmetrie de geuldoorsnede zich verplaatst. Deze conclusie geldt zowel voor bodem- als gesuspendeerd transport. Wanneer het hellingseffect (bodemtransport) en horizontale diffusie (gesuspendeerd transport) wordt meegenomen verbreedt en verondiept de geul. Daarnaast treedt een versteiling op van het bovenstrooms (ten opzichte van de richting van verplaatsen) talud. Deze conclusies komen kwalitatief overeen met de numerieke resultaten uit Walstra et al (1998). Voor beide zijn uitdrukkingen ontwikkeld die de migratie en vervorming van de doorsnede beschrijven. Voor getijcondities zoals die gelden voor de IJgeul en uitgaande van gesuspendeerd transport wordt op een afstand van 1000 m vanuit het centrum van de 600 m brede geul na 100 jaar een verdieping van 1 m voorspeld.

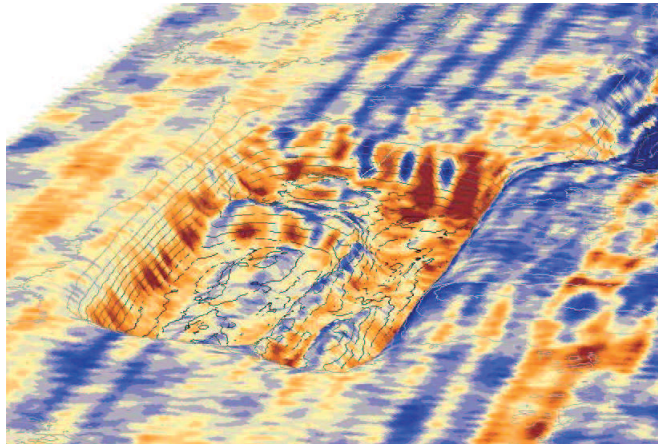
Gebruikmakend van de veldmetingen in Verdiepte Loswal, zie paragraaf 6.5.2, en het hiervoor genoemde analytische model, is in 2002 een begin gemaakt met het testen en verder ontwikkelen van een morfodynamisch 3-D model voor het voorspellen van morfologische veranderingen in zeezandwinputten.

#### **6.4.5 Veldgegevens: analyse kleinschalige winningen**

In het kader van KUST2005 is uitgaande van bestaande veldgegevens een studie gedaan naar het gedrag van bestaande kleinschalige zandwinputten (Bader, 2001). De resultaten daarvan zijn ook te vinden op RWS-intranet <http://www.minvenw.nl/rws/rikz/projecten/kust2005>. Een aantal zandwinputten in de Noordzee zijn gemonitord over verschillende perioden. De voornaamste conclusie uit deze literatuurstudie is dat over die periode geen significante veranderingen in zandwinputten plaats hebben gevonden. Een uitzondering hierop is de relatief kleine Simon Stevin put. Deze put vulde in een periode van een jaar op met slib. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in deze put de stroom de bodem niet volgt. Helaas zijn geen stroomgegevens beschikbaar.

Voor het vermeerderen van proceskennis en de verdere ontwikkeling van een 3-D morfodynamisch model, zijn in de periode oktober 1999 – maart 2000 uitgebreide metingen gedaan in en nabij de zandwininput Verdiepte Loswal (Hoogewoning, 2000). De afmetingen van de put zijn 10x500x1000 m met een volume van ongeveer 5 miljoen m<sup>3</sup> (Fig. 6.1). Bij de metingen is in het bijzonder aandacht geschonken aan de hydrodynamica. Getracht is de snelheid en waterstandmetingen zodanig in te richten dat daaruit de grootte orde van de termen in de 3-D waterbewegings vergelijkingen kunnen worden afgeschat. Naast waterstanden en snelheden zijn geleidbaarheid, temperatuur, zuurstof gehalte en troebelheid gemeten.

.....  
**Figuur 6.1**  
 Zandwinput Verdiepte Loswal



Naast controle en opschonen is een eerste analyse van de data uitgevoerd (Svasek, 2001a, 2001b en 2001c). In de analyse is door toepassing van een harmonische analyse de astronomische en wind- en dichtheids-gedreven stroming gescheiden. Bij het bepalen van de astronomische componenten is speciaal aandacht geschonken aan M2 en M4 en de ruimtelijk verdeling van deze componenten. Tezamen bepalen zij de getijsymmetrie die een belangrijke rol kan spelen in het sediment transport. Daarnaast is een poging gedaan de wind-gedreven reststroom te scheiden van de getij en dichtheids-gedreven bijdrage. De maximale verticale gemiddelde stroomsnelheden in het ongestoorde gebied zijn ongeveer 0.7 m/s. De snelheden in de put wijken daar weinig vanaf. Snelheidsmetingen over het talud met helling 1:30 tonen aan dat de stroom het talud blijft volgen. Zuurstofgehalten bij de bodem buiten en binnen de put zijn niet significant verschillend.

## 6.5 Referenties

### 6.5.1 KUST2000/ KUST2005 producten

*Tot 2000*

**Boers M. en J.J.Jacobse, 2000.** Zandwinning op de zeebanken; Effecten op golfcondities langs de kust van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Eilanden. Rapport RIKZ-OS-2000.138x.

**Klein, 1999.** Large-scale sandpits. WL/Delft Hydraulics. Rapport Z2615

**Nemeth, A.A, 1998.** Modelling the dynamic behaviour of sand extraction pits and tidal sandbanks. Theses Universiteit van Twente.

Svasek, 1998. Waterbeweging in zandwingebieden t.b.v. product K2000\*ZW

**Walstra, D.J.R., L.C.van Rijn en S.G.J.Aarninkhof, 1998.** Sand transport at the middle and lower shoreface of the Dutch coast. WL/Delft hydraulics. Rapport Z2378.

**Walstra, D.J.R, L.C.van Rijn, S.E. Hoogewoning en S.G.J.Aarninkhof, 1999.** Morphodynamic modelling of dredged trenches and channels. Coastal Sediments 1999, pp 2355-2360.

*2000*

**Boers, M., 2000.** 'Zandwinning op de zeebanken – Effecten op golfcondities langs de kust van de Zeeuwsche en Zuid-Hollandse eilanden', RIKZ, RIKZ/OS-2000.138X.

**Breukelen, M. van, 2000.** 'Inventarisatie van de informatiebehoefte met betrekking tot grootschalige zandwin- en stortprojecten - Faserapport', TNO, DIS-RPT-000027.

**Hoogewoning, S.E., 2000.** Putmor field measurements. Work document RIKZ/OS-2000.132.x

Kreeke, J. van de, 2000. 'Haalbaarheid grootschalige zandwin/stortproef - Taak 1', Hydrest, Inc.

**Kreeke, J. van de, 2000.** 'Monitoring verdiepte loswal - metingen, Taak2', Hydrest, Inc.

**Kreeke, J. van de, 2000.** 'Monitoring verdiepte loswal; dataverwerking en analyse, Taak3', Hydrest, Inc.

**Mulder, J.P.M., 2000.** 'Veldonderzoek grootschalige zandwinning en zandstort in de Noordzee – Fase 1 van een haalbaarheidsstudie', RIKZ, RIKZ/OS/2000/30X.

2001

**Bader, C.J.M., 2001.** Zandwinning; literatuur, data en website. Werkdocument RIKZ/OS/2001.132x

**Breukelen, M. van, 2001.** 'Beheersvragen grootschalige diepe zandwinputten Noordzee', TNO, DIS-RPT-010015.

**Breukelen, M. van, 2001.** 'Rapport workshop "Praktijkproef diepe zandwinput als informatiebron?"', TNO, DIS-RPT-010026.

**Hoogewoning, S.E. en M. Boers, 2001.** 'Fysische effecten Zeezandwinning', RIKZ, RIKZ/2001.050.

**Kreeke, C. v.d., 2001.** 'Lessen uit Metingen Verdiepte Loswal voor een Grootschalige Zandwin- en Stortproef', Hydrest, Inc.

**Kreeke, C. v.d., 2001.** 'Verslag "Ontwikkeling Analytische Modellen voor de Morphodynamica van Zandwinputten" ', Hydrest, Inc., memo.

**Mulder, J.P.M., 2001.** 'Onzekerheden rond grootschalige zandwinning, aard, grootte en consequenties', RIKZ, RIKZ/OS/2001.120X.

**Svasek B.V., 2001a.** 'Putmor, field measurements at a temporary sand pit - Part 1: processing and validation', Svasek B.V., 01037/1177.

**Svasek B.V., 2001b.** 'Putmor, field measurements at a temporary sand pit - Part 2: Data analysis', Svasek B.V., 01244/1177.

**Svasek B.V., 2001c.** 'Putmor, field measurements at a temporary sand pit - Part 3: Final report', Svasek B.V., 01453/1177.

**Walstra, D.J., 2001.** 'Het Morfologisch model UNIBEST-TC - De status in 2001', WL delft hydraulics, Z3148.30.

**Walstra, D.J.R. en M. van Koningsveld, 2001.** 'Evaluation of Unibest-TC and the implications for CZM - Application of Unibest-TC on beach and shoreface nourishments at Egmond', WL delft hydraulics, Z3025.00.

**Walstra, D.J.R., M. van Koningsveld, S.G.J. Aarninkhof en B.G. Ruessink (2001).** 'Methodological approach to model development for UNIBEST-TC - Part A: Evaluation', WL delft hydraulics, Z3148.10.

**Walstra, D.J.R., M. van Koningsveld, S.G.J. Aarninkhof en B.G. Ruessink (2001).** 'Methodological approach to model development for UNIBEST-TC - Part B: Development and Testing', WL delft hydraulics, Z3148.10.

2002

**Breukelen, M. van en J.A. van Woerden, 2002.** 'Workshop Toetsingskader Grootschalige Zandwinning op de Noordzee', TNO, I&I-RPT-020021.

**Rijn, L.C. van en D.J.R. Walstra, 2002.** 'Morphology of pits, channels and trenches - Part I: Literature review and study approach', WL delft hydraulics, Z3223.

**Van de Kreeke, J., S.E. Hoogewoning en M. Verlaan, 2002.** An analytical model for the morphodynamics of a trench in the presence of tidal currents. Continental Shelf Research 22 (11-13): 1811-1820

**Walstra, D.J.R., 2002.** 'Morphology of pits, channels and trenches - Part II: Model Verification of Delft3D with PUTMOR dataset', WL delft hydraulics, Z3223.

**Walstra, D.J.R., L.C. van Rijn en G. de Boer, 2002.** 'Morphology of pits, channels and trenches - Part III: Investigation of the longshore and cross-shore impact of various pit designs', WL delft hydraulics, Z3223.

**Willems, D., 2002.** 'Bridging a gap?!', Universiteit van Twente, Master thesis.

#### 6.5.2 Overige referenties

**Flyland, 2002.** Thema "Mariene Ecologie en Morfologie", Overkoepelend Eindrapport, Fase 1. Effecten en kennisleemten m.b.t. inpassing van een luchthaven in zee. Fly 2002-01.

**Hulscher, S. J.M.H., H.E. de Swart and H. de Vriend, 1993.** The generation of offshore tidal sand banks and sand waves. Continental Shelf Research 13 (11), 1183-1204

**Jensen, J.H., E.O. Madsen en J. Fredsoe, 1999.** Oblique Flow over dredged channels. I: Flow Description. J. of Hydraulic Engineering, vol.125, No11, pp 1181-1189.

**Ribberink, J., 1989.** Zeezandwinning. Waterloopkundig Laboratorium. Rapport H 825

**Rijkswaterstaat, 1991.** Regionaal ontgrondingsplan Noordzee/Milieueffect rapportage (RON/MER). Directie Noordzee

**Van Breukelen, M., 2002.** Workshop Toetsingskader Grootschalige Zandwinning op de Noordzee. TNO rapport. 22 mei

**Van Rijn, L.C., 1987.** Mathematical modeling of morphological processes in the case of suspended sediment transport. Doc.theses, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands

Bijlagen hoofdstuk 2 .....	2
Bijlage 2.1: JARKUS-raaien .....	3
Bijlagen hoofdstuk 3 .....	7
Bijlage 3.1: Duinafslag volgens DUROS .....	8
Bijlagen hoofdstuk 4 .....	11
Bijlage 4.1: Voorwaarden van stormselectie.....	12
Bijlage 4.2: Frequentieverdelingen stormparameters.....	13
Bijlage 4.3: Extrapolatie van de correlatiestructuur .....	15
Bijlage 4.4: Controle asymptotische afhankelijkheid .....	17
Bijlage 4.5: Windsnelheid versus stormduur .....	19
Bijlage 4.6: Afhankelijkheid op basis van de stormduur .....	20
Bijlage 4.7: Overschrijdingsfrequenties stormduren.....	25
Bijlage 4.8: Afhankelijkheid stormduur .....	28
Bijlage 4.9: Klassenindeling van de geëxtrapoleerde stormen .....	31
Bijlagen hoofdstuk 5 .....	37
Bijlage 5.1: Golfspectra op de rekenrand .....	38
Bijlage 5.2: Uitvoer grove grid .....	39
Bijlage 5.3: Uitvoer fijne grid .....	45
Bijlage 5.4: Uitvoer detailgrid.....	48
Bijlage 5.5: Invloed van de stormklasse op de significante golfhoogte.....	63
Bijlage 5.6: Uitvoer van de piekperiode.....	65
Bijlage 5.7: Spectrum ontwikkeling langs een raai .....	66
Bijlagen hoofdstuk 6 .....	71
Bijlage 6.1: Resultaten duinafslag; eindprofielen .....	72
Bijlage 6.2: Frequentieverdeling duinteruggang.....	73
Bijlage 6.3: Frequentieverdeling afgeslagen hoeveelheid duinzand .....	79

## **Bijlagen hoofdstuk 2**

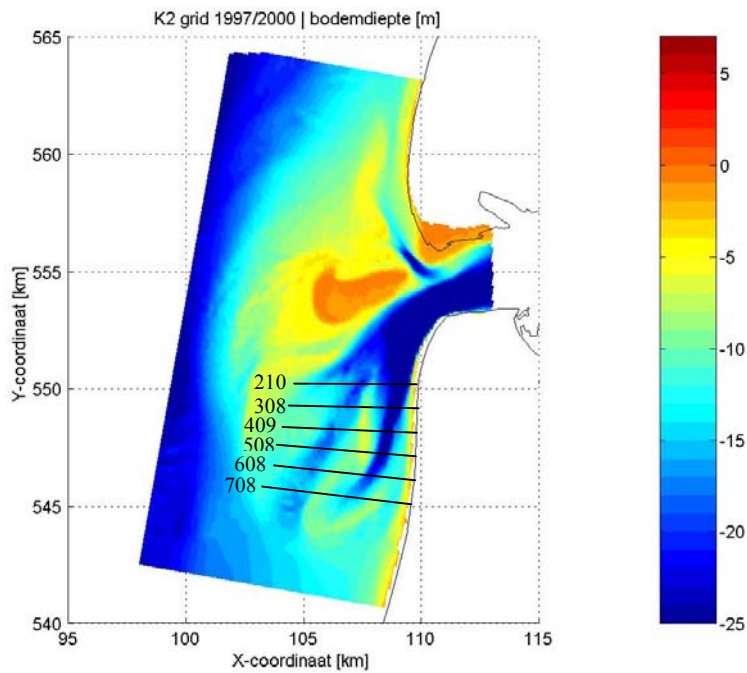
Bijlage 2.1: JARKUS-raaien .....	3
----------------------------------	---



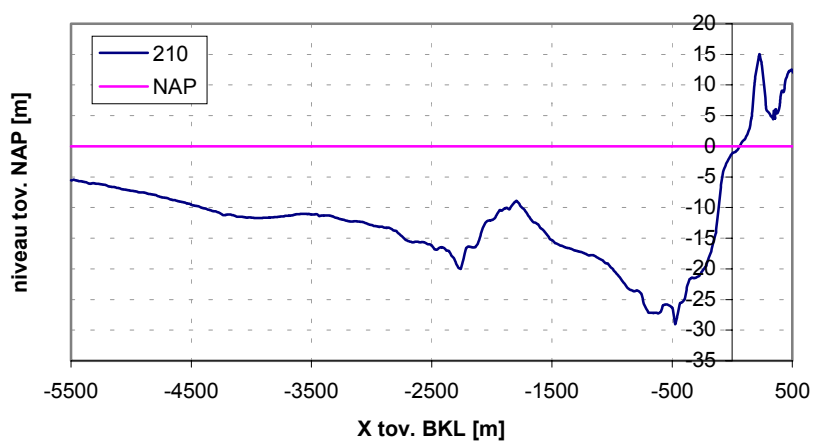
## Bijlage 2.1: JARKUS-raaien

### Algemeen

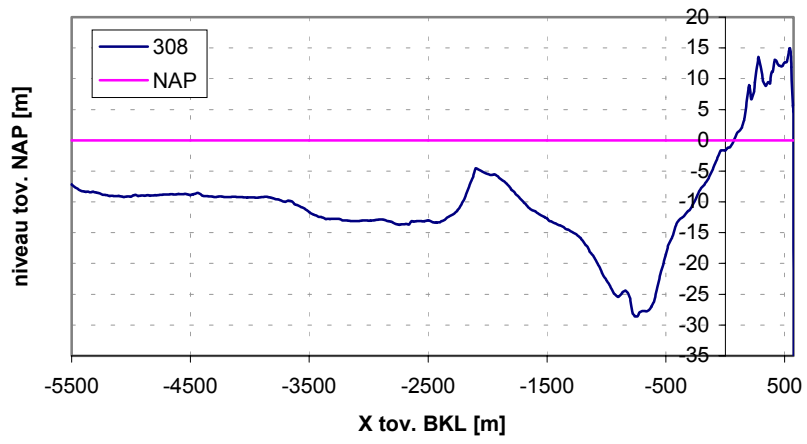
In onderstaande figuren zijn de JARKUS-raaien weergegeven die tot het onderzoeksgebied behoren. De eerste figuur laat een overzicht zien van waar de raaien zich bevinden:



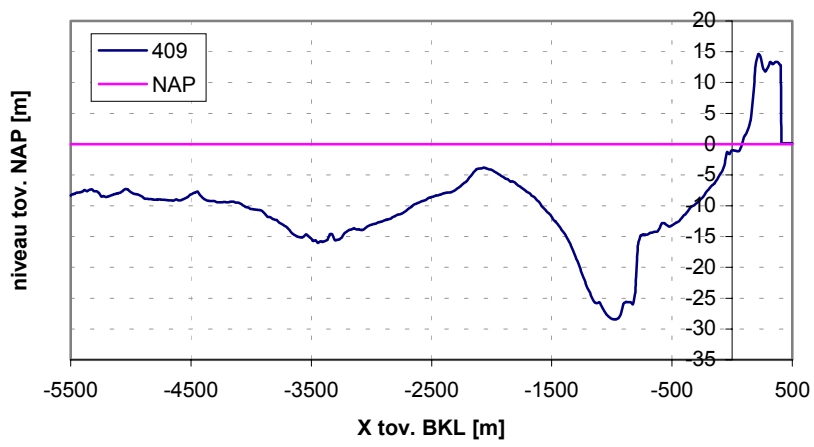
### JARKUS-raai 210



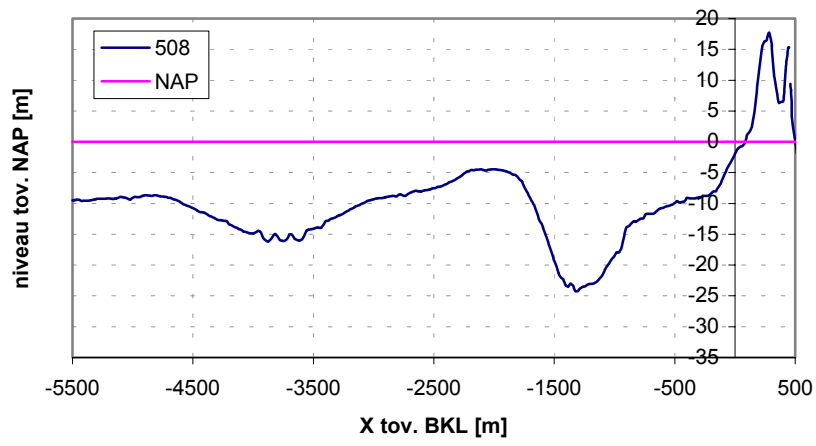
### JARKUS-raai 308



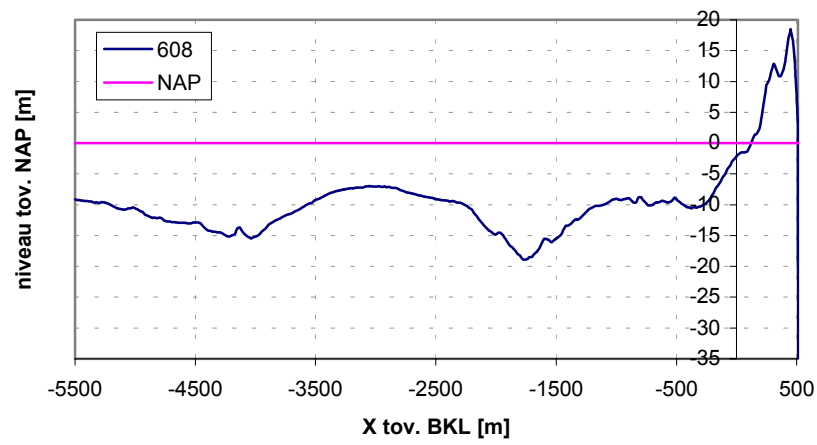
### JARKUS-raai 409



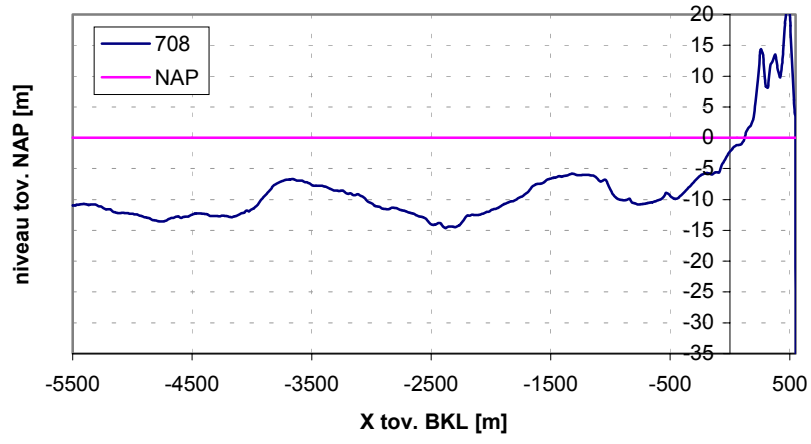
### JARKUS-raai 508



### JARKUS-raai 608



### JARKUS-raai 708



## **Bijlagen hoofdstuk 3**

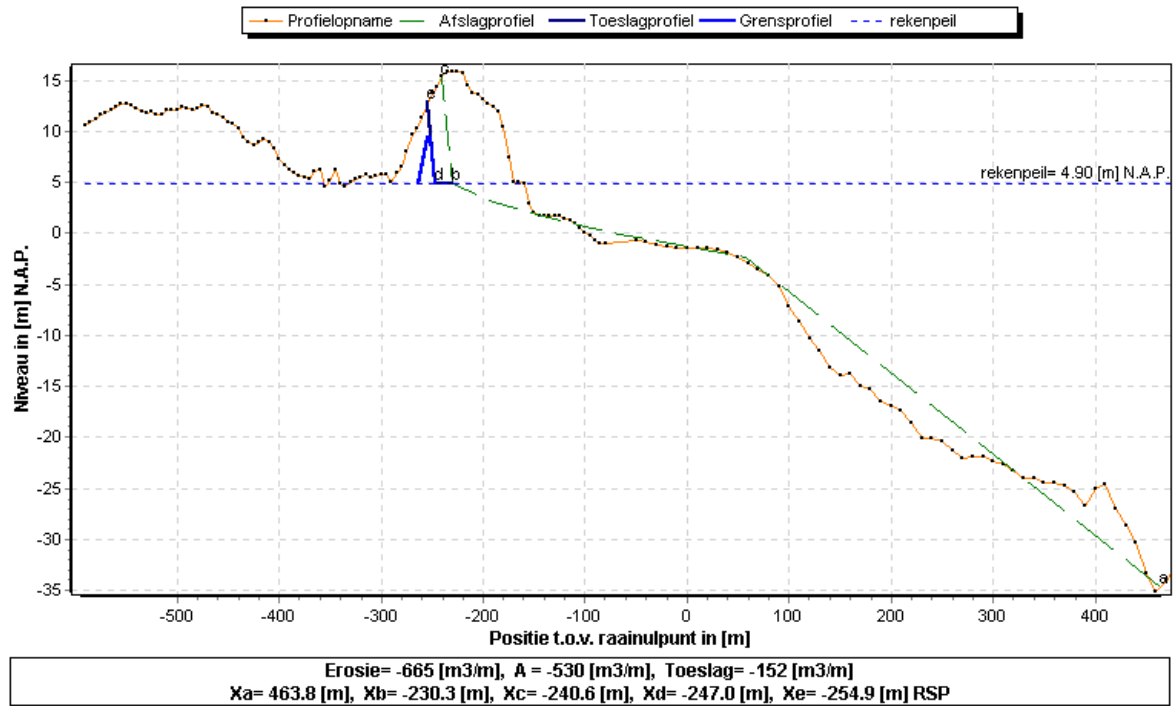
Bijlage 3.1: Duinafslag volgens DUROS.....	8
--	---

## Bijlage 3.1: Duinafslag volgens DUROS

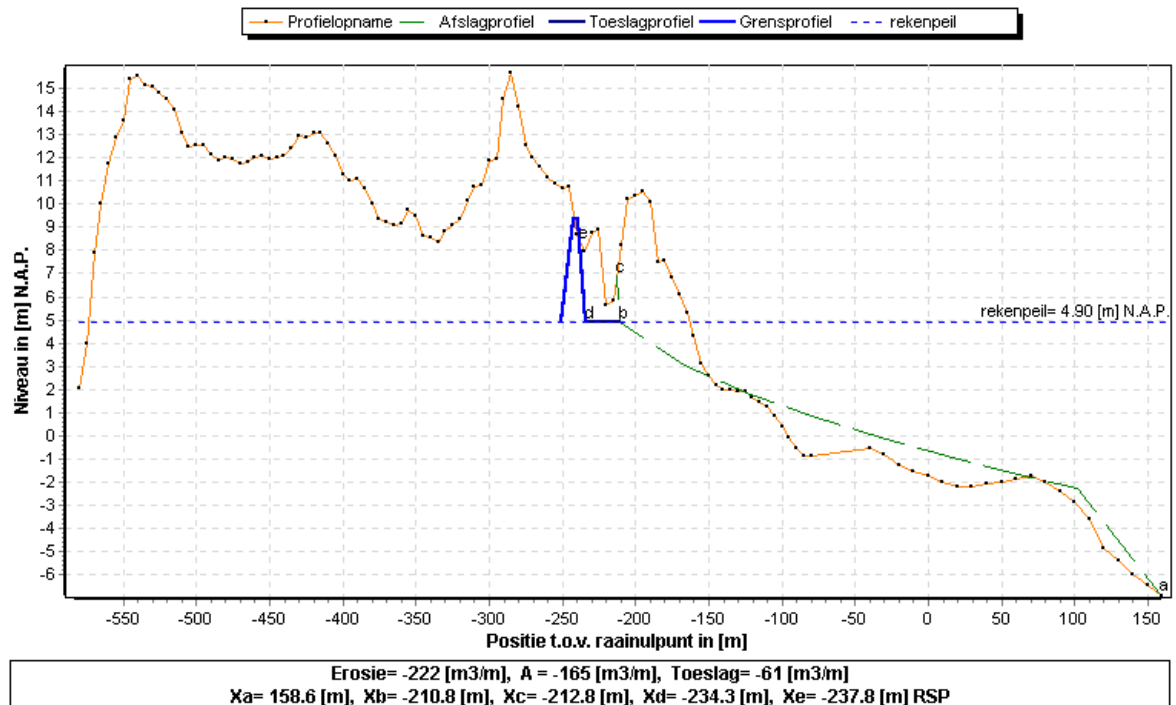
### Algemeen

In onderstaande figuren zijn de eindprofielen getekend van de ontwerpafslagen in het gebied van interesse.

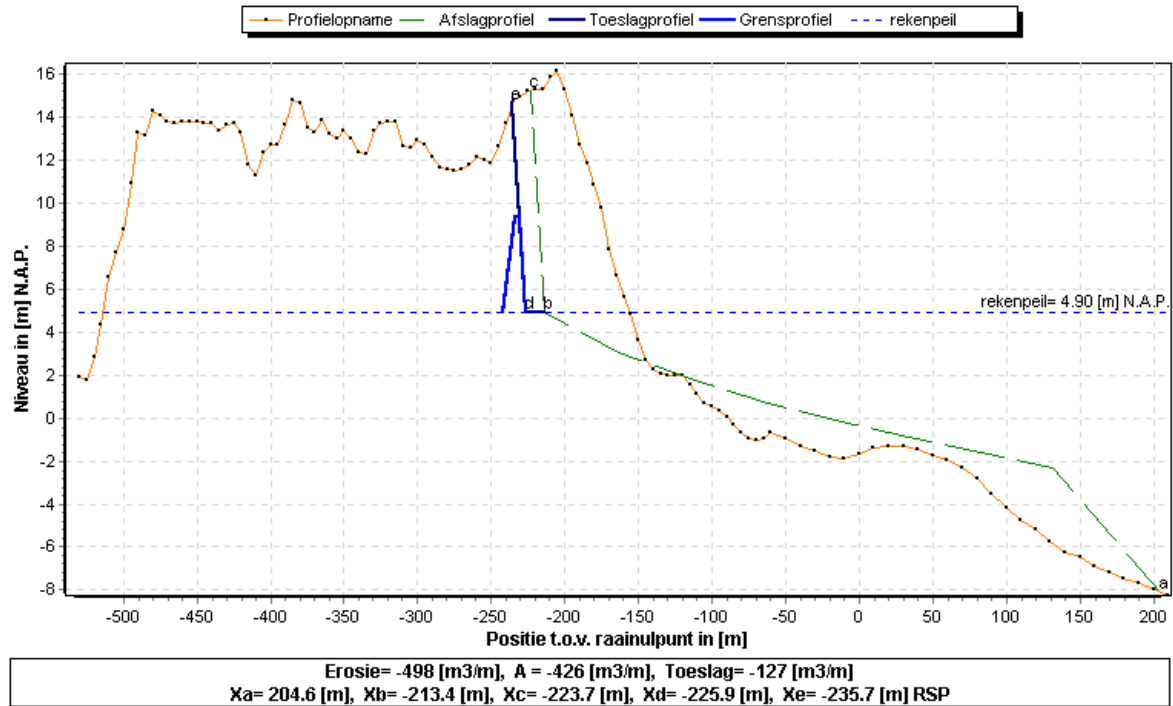
JARKUS-raai 210:



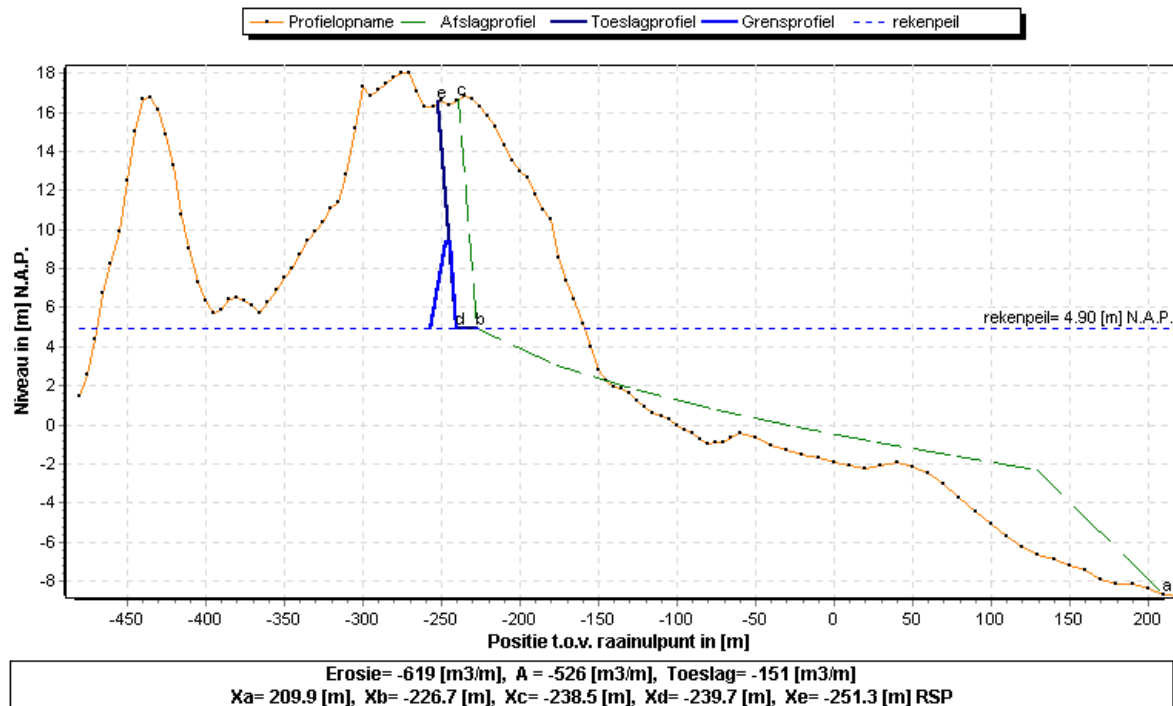
JARKUS-raai 308:



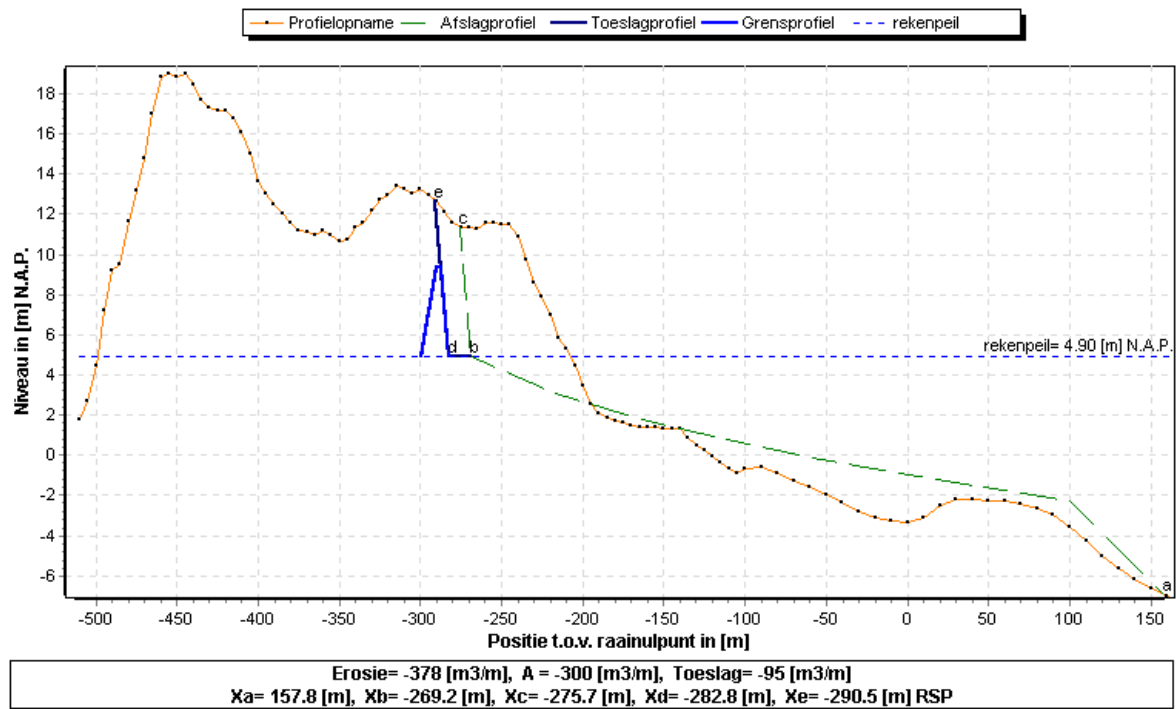
JARKUS-raai 409:



JARKUS-raai 508:



JARKUS-raai 608:





## **Bijlagen hoofdstuk 4**

Bijlage 4.1: Voorwaarden van stormselectie.....	12
Bijlage 4.2: Frequentieverdelingen stormparameters.....	13
Bijlage 4.3: Extrapolatie van de correlatiestructuur.....	15
Bijlage 4.4: Controle asymptotische afhankelijkheid .....	17
Bijlage 4.5: Windsnelheid versus stormduur .....	19
Bijlage 4.6: Afhangelijkheid op basis van de stormduur .....	20
Bijlage 4.7: Overschrijdingsfrequenties stormduren.....	25
Bijlage 4.8: Afhangelijkheid stormduur.....	28
Bijlage 4.9: Klassenindeling van de geëxtrapoleerde stormen .....	31

## ***Bijlage 4.1: Voorwaarden van stormselectie***

### **Algemeen**

De golfdata zijn onttrokken uit een stormdatabank [Productieversie HYDRA-K, 2002] met simultane stormgegevens over de periode 1979-1997 van de golfmeetstations SON, ELD, K13, YM6 en EUR. De voorwaarden voor het noteren van een storm in de databank staan hieronder gegeven.

### **Dataselectie**

De eerste selectie van de stormperiodes vindt plaats door die periodes te selecteren, waarbij tenminste 1 van de 5 golfmeetstations 1 van de drempels voor golfhoogte, windsnelheid of waterstand wordt overschreden. Deze drempels zijn gebaseerd op 5% overschrijdingskansen.

Vervolgens worden deze selecties per meetstation aangepast. Daartoe worden eerst nieuwe drempels bepaald voor de golfhoogte, windsnelheid en de opzet, nu gebaseerd op 10% overschrijdingskansen. Periodes waarbij bij dat station binnen de beschouwde storm-periode geen enkele drempel wordt overschreden worden verwijderd en aan het begin en einde van de overgebleven stormperiode worden de reeksen weggehaald waarin geen enkele drempel wordt overschreden. Per station wordt op een dergelijke manier alleen de relevante data verkregen.

De golfreeksen bestaan uit uurlijkse waarnemingen die zijn gecontroleerd en waarin de hiaten zijn opgevuld met een neurale netwerk programma. De golf-, wind- en waterstandsopzetreeksen zijn licht glad gestreken (lopend middelen over drie waarden) om te voorkomen dat er teveel niet significante piekjes worden geselecteerd.

## Bijlage 4.2: Frequentieverdelingen stormparameters

### Algemeen

De frequentieverdelingen van de stormparameters voor het station ELD hebben volgens [Roskam, A.P., e.a., 2000] de conditionele Weibull vorm:

$$F(x) = p_c \cdot \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\alpha + \left(\frac{\omega}{\sigma}\right)^\alpha\right) \quad (4-1)$$

Hierin is:

x	= beschouwde stochast	[x]
F(T <sub>s</sub> )	= frequentie van overschrijding van de stochast	[1/jr]
ω	= drempelwaarde (ondergrens) voor de stochast	[x]
p <sub>c</sub>	= overschrijdingsfrequentie van de drempel ω	[1/jr]
σ	= schaalparameter van de verdelingsfunctie	[x]
α	= vormparameter van de verdelingsfunctie	[-]

In onderstaande tabel staat per richting en per stormparameter de bijbehorende Weibull parameters gegeven:

Richting 210:

Stormparameter	Weibull-parameter			
	ω	p <sub>c</sub>	α	σ
h	1,55	0,018	1,54	0,324
U <sub>wind</sub>	22,40	0,380	2,76	14,31
T <sub>p</sub>	8,80	0,240	3,00	5,491
H <sub>m0</sub>	4,00	0,282	2,62	2,85

Richting 240:

Stormparameter	Weibull-parameter			
	ω	p <sub>c</sub>	α	σ
h	1,55	0,397	1,39	0,463
U <sub>wind</sub>	22,40	0,490	2,66	15,08
T <sub>p</sub>	8,80	0,928	3,00	6,217
H <sub>m0</sub>	4,00	0,940	2,62	3,501

Richting 270:

Stormparameter	Weibull-parameter			
	ω	p <sub>c</sub>	α	σ
h	1,55	1,369	1,65	0,877
U <sub>wind</sub>	23,40	0,390	2,43	14,16
T <sub>p</sub>	8,80	2,850	3,00	6,671
H <sub>m0</sub>	4,00	2,530	2,62	3,686

Richtung 300:

Stormparameter	Weibull-parameter			
	$\omega$	$p_c$	$\alpha$	$\sigma$
h	1,55	1,046	1,80	1,110
$U_{wind}$	21,40	0,390	2,38	13,70
$T_p$	8,80	2,877	3,00	7,171
$H_{m0}$	4,00	1,970	2,62	3,777

Richtung 330:

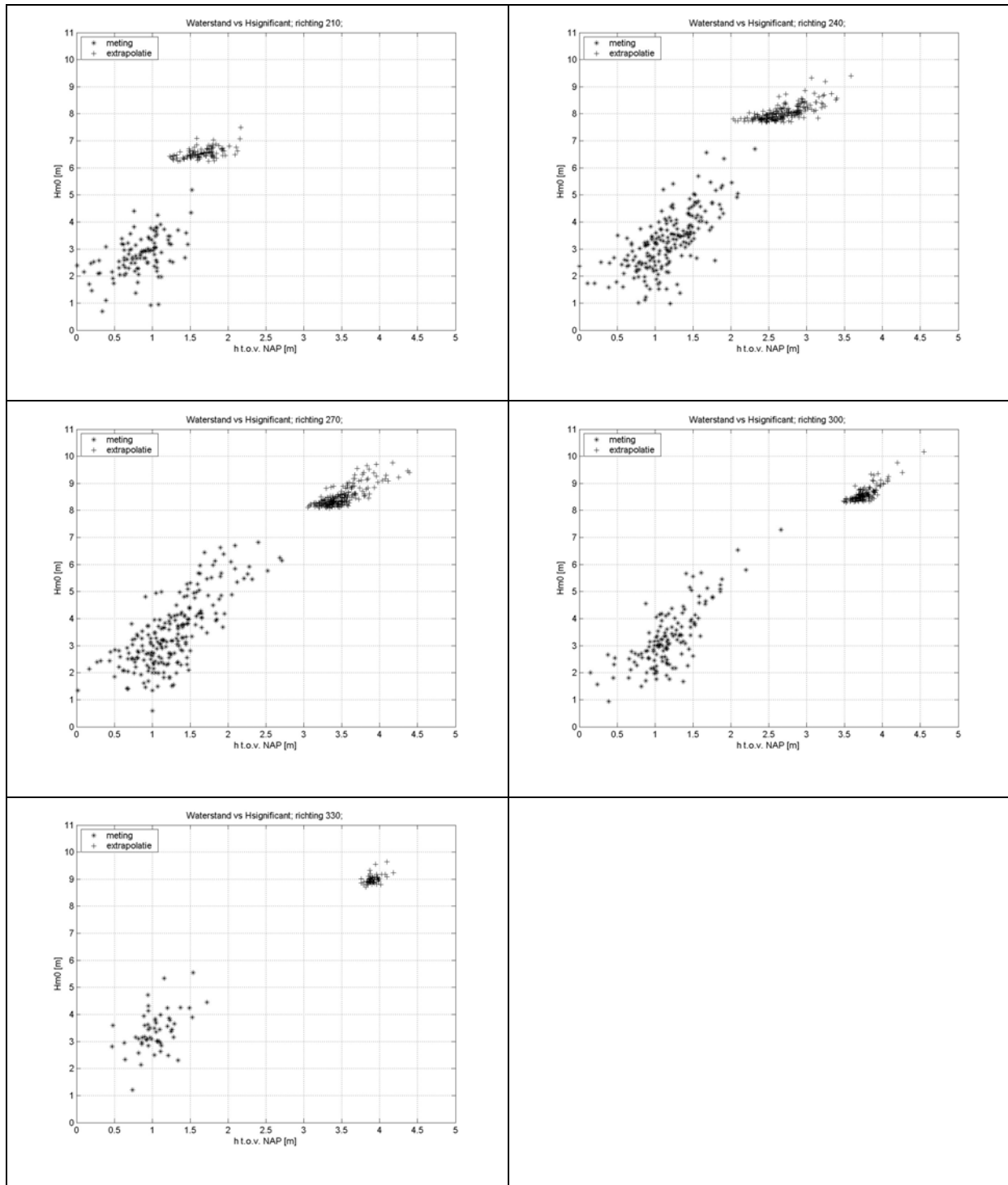
Stormparameter	Weibull-parameter			
	$\omega$	$p_c$	$\alpha$	$\sigma$
h	1,55	0,372	1,83	1,205
$U_{wind}$	19,40	0,450	2,42	12,08
$T_p$	8,80	2,010	3,00	7,465
$H_{m0}$	4,00	1,105	2,62	3,966

## Bijlage 4.3: Extrapolatie van de correlatiestructuur

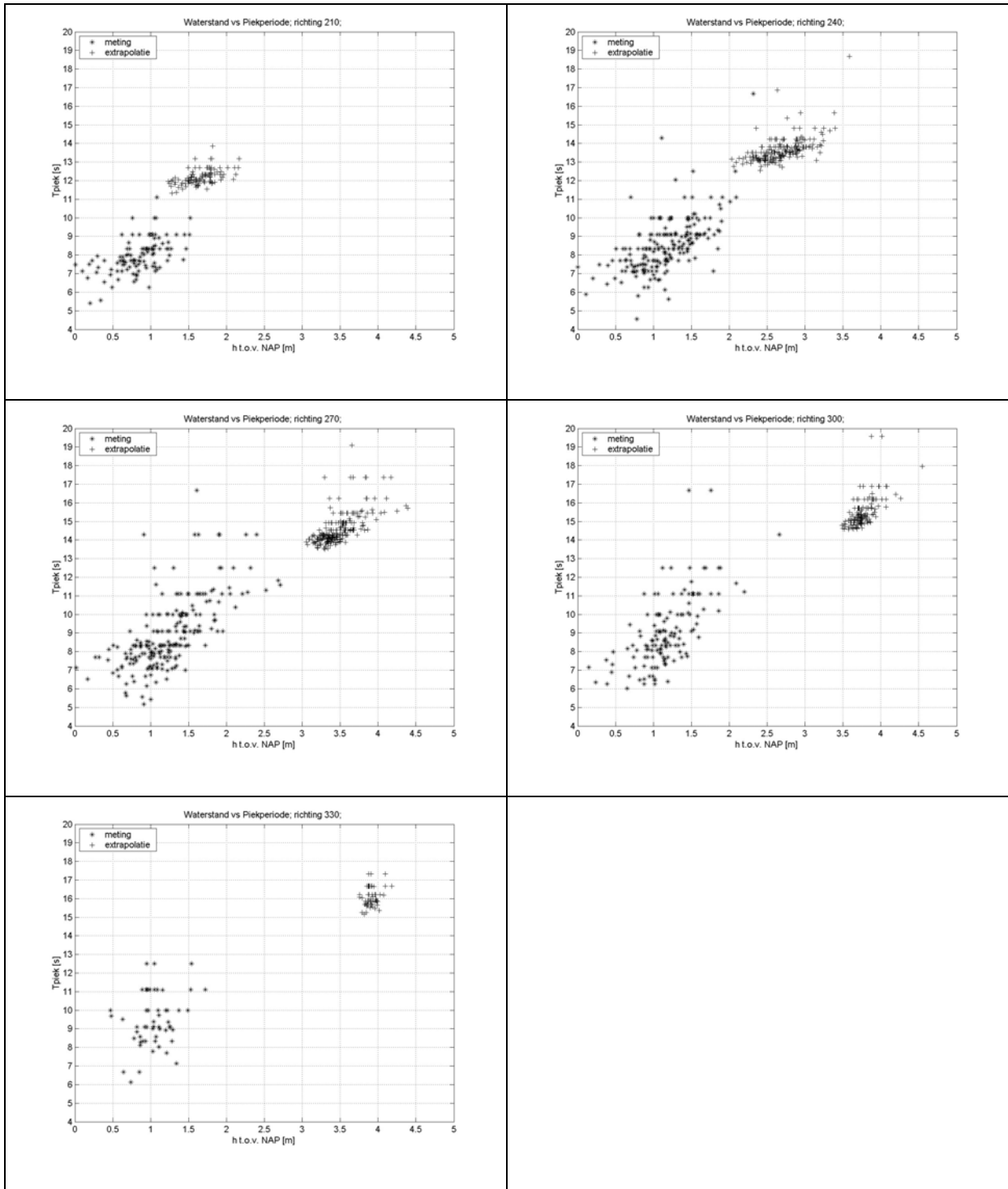
### Algemeen

De geëxtrapoleerde datasets zijn te beschouwen als stormen met per storm een geëxtrapoleerde waarde voor de windsnelheid, waterstand, piekperiode en significante golfhoogte. In de onderstaande figuren staan de golfparameters uitgezet tegen de waterstand en opgedeeld in de stormrichtingen. De originele metingen staan ook gegeven.

Waterstand versus significante golfhoogte:



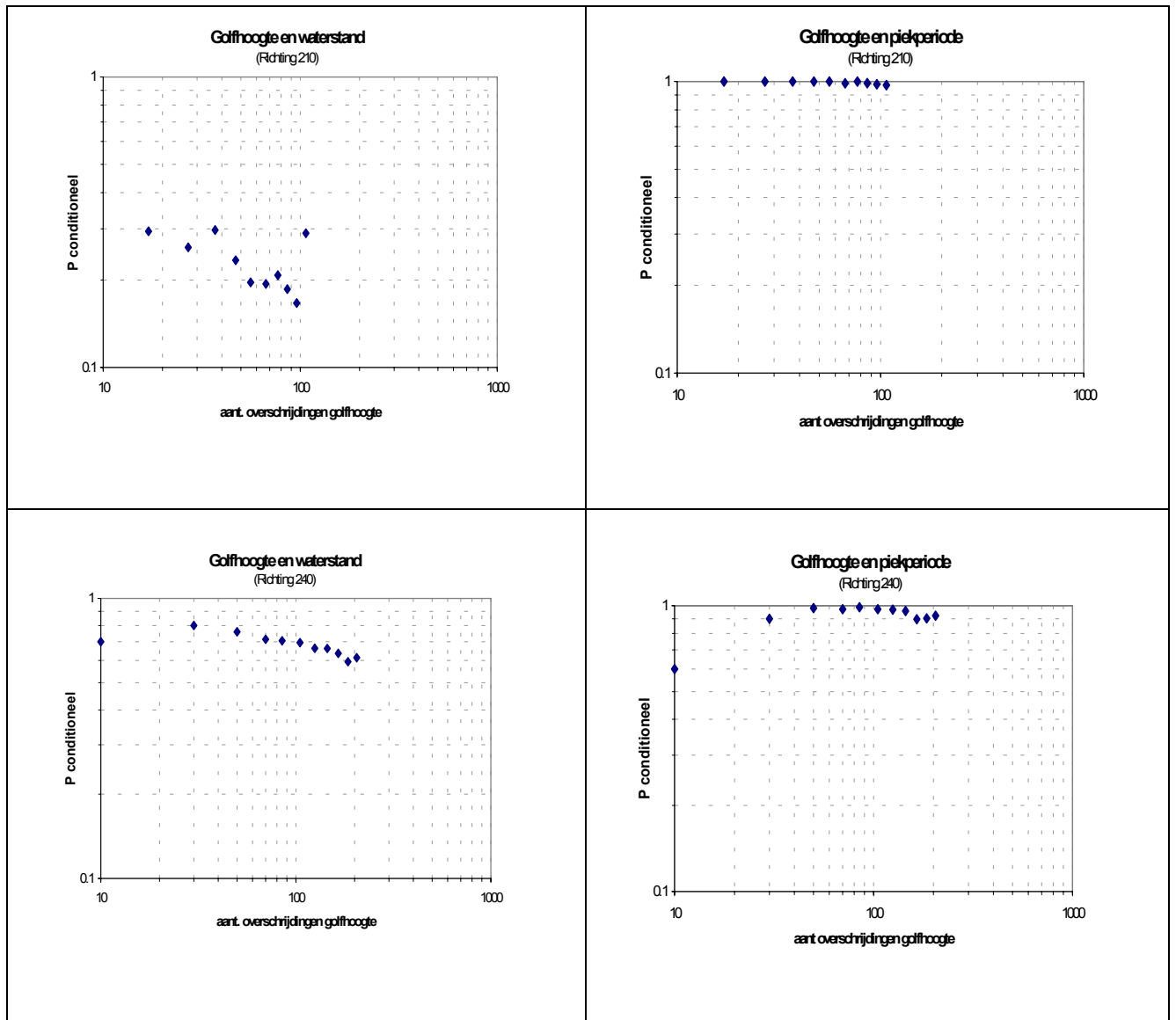
# Waterstand versus piekperiode:

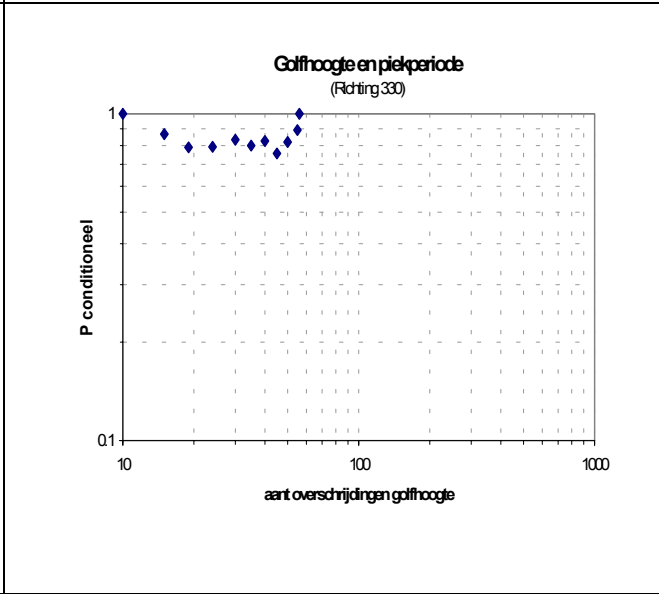
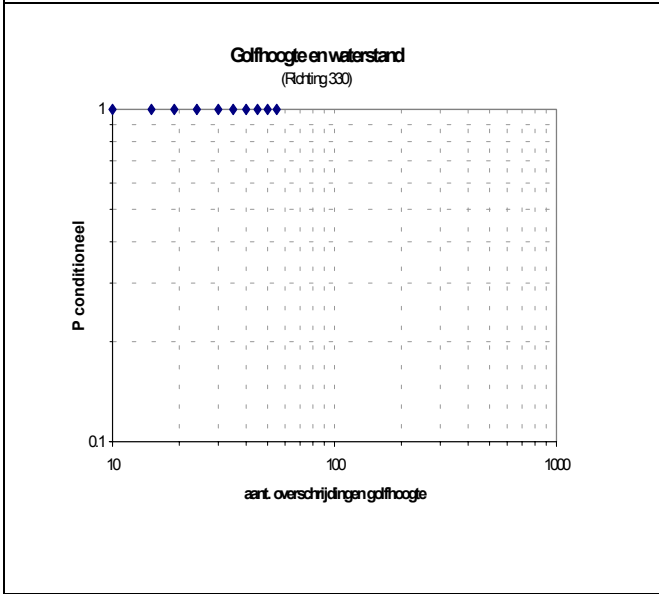
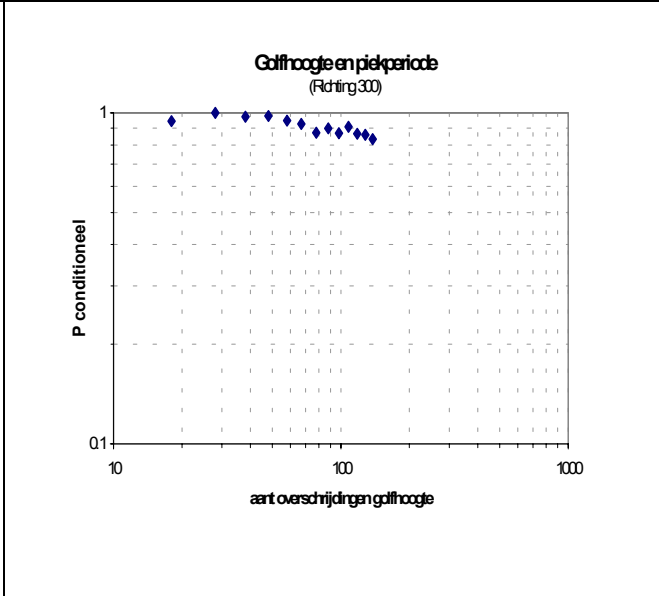
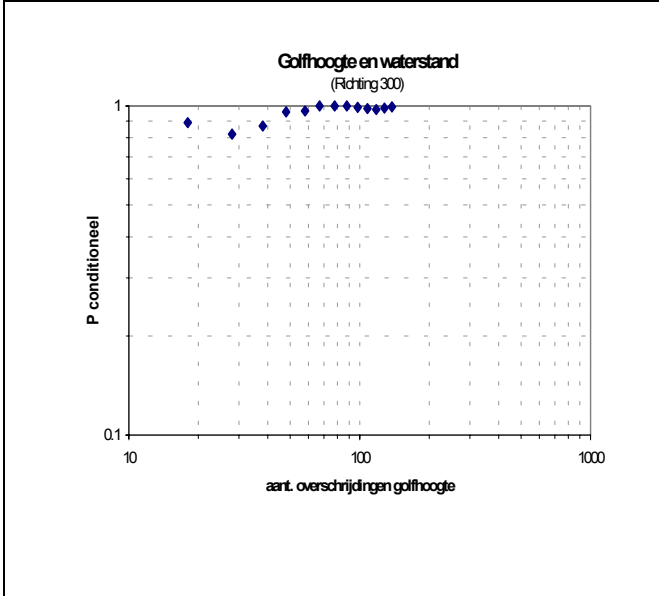
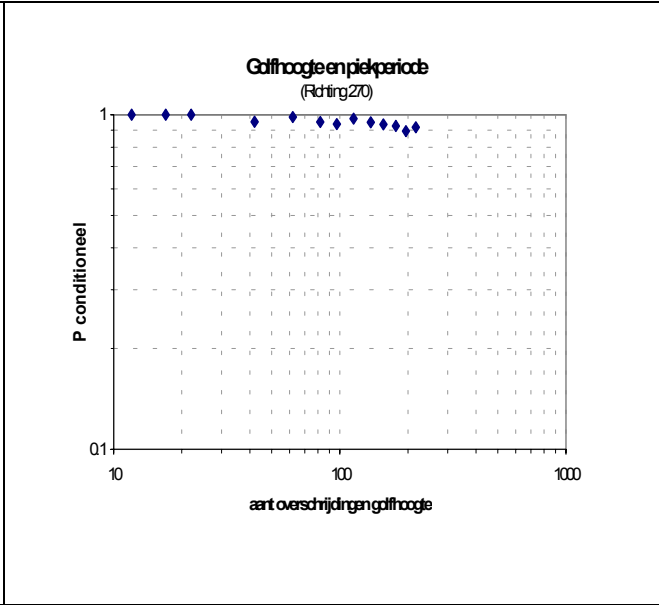
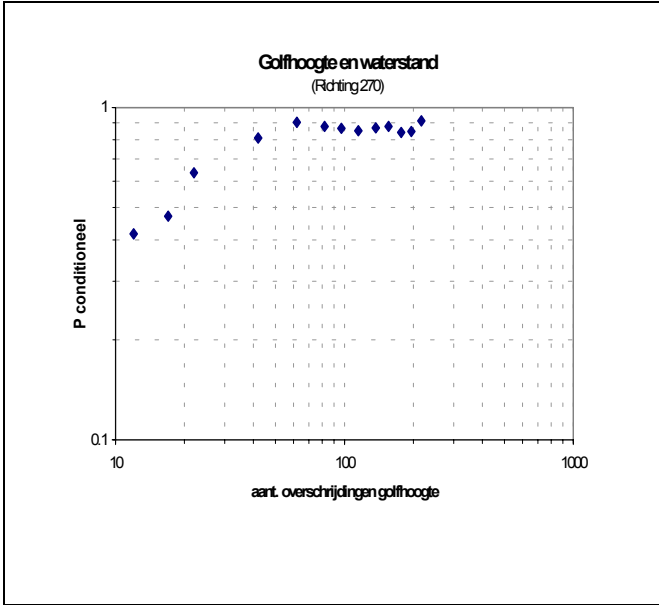


## Bijlage 4.4: Controle asymptotische afhankelijkheid

### Algemeen

In onderstaande figuren staan (gelijk aan De Valk, C.F., 1996) de figuren die asymptotische afhankelijkheid aan dienen te tonen. De figuren zijn per stormrichting gegeven:

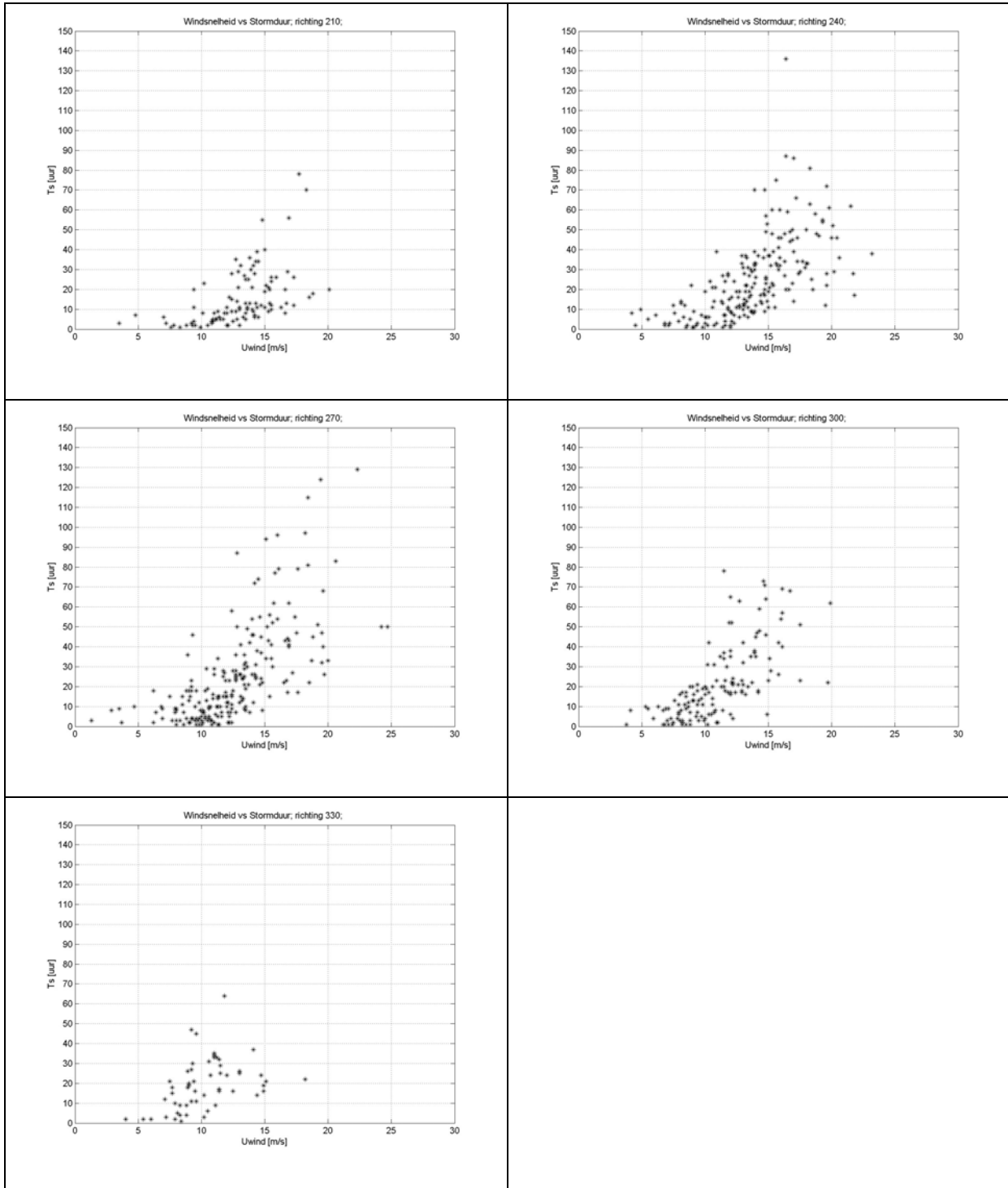






### **Bijlage 4.5: Windsnelheid versus stormduur**

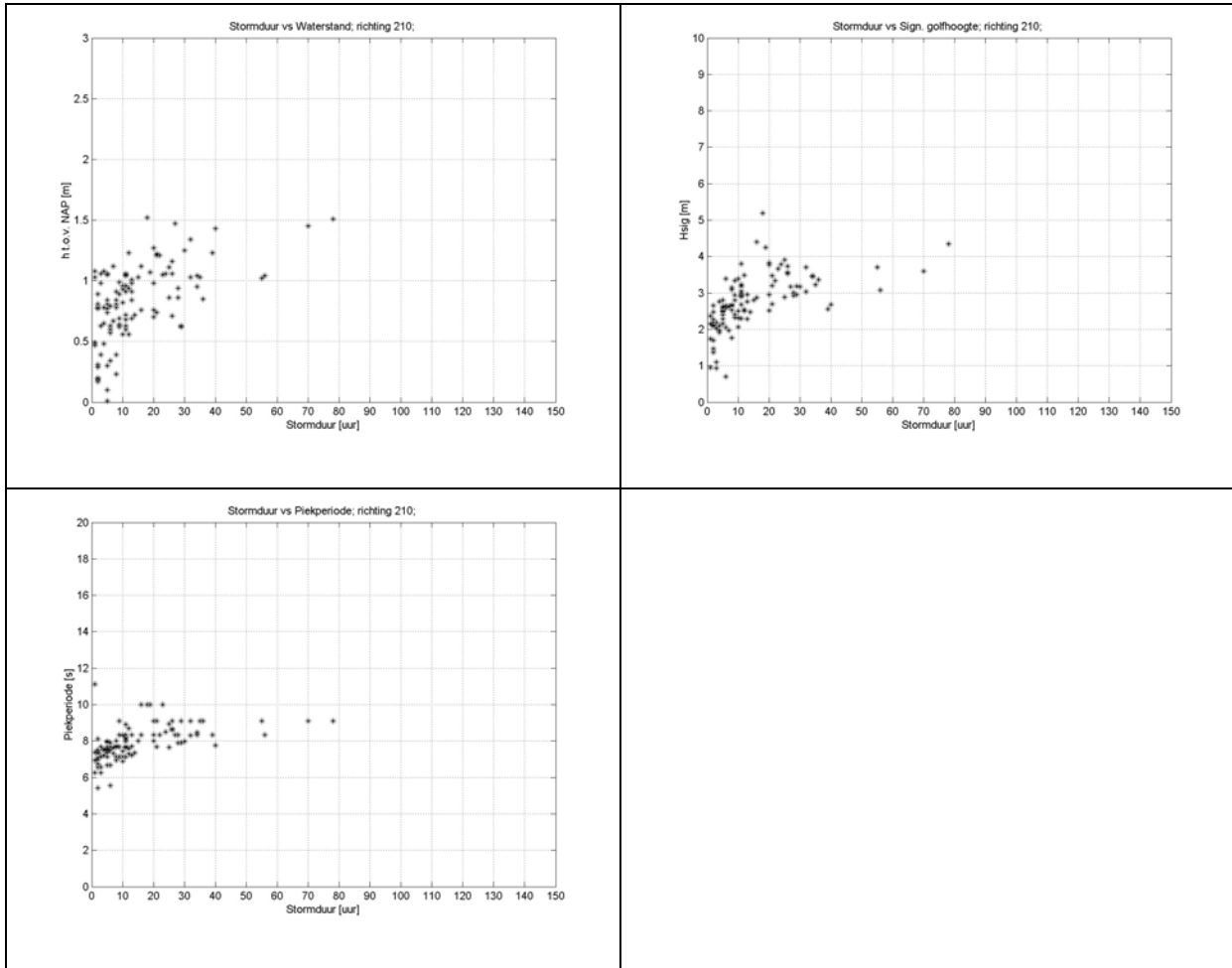
In onderstaande figuren staan voor elke richting de stormduren uitgezet tegen de windsnelheid:



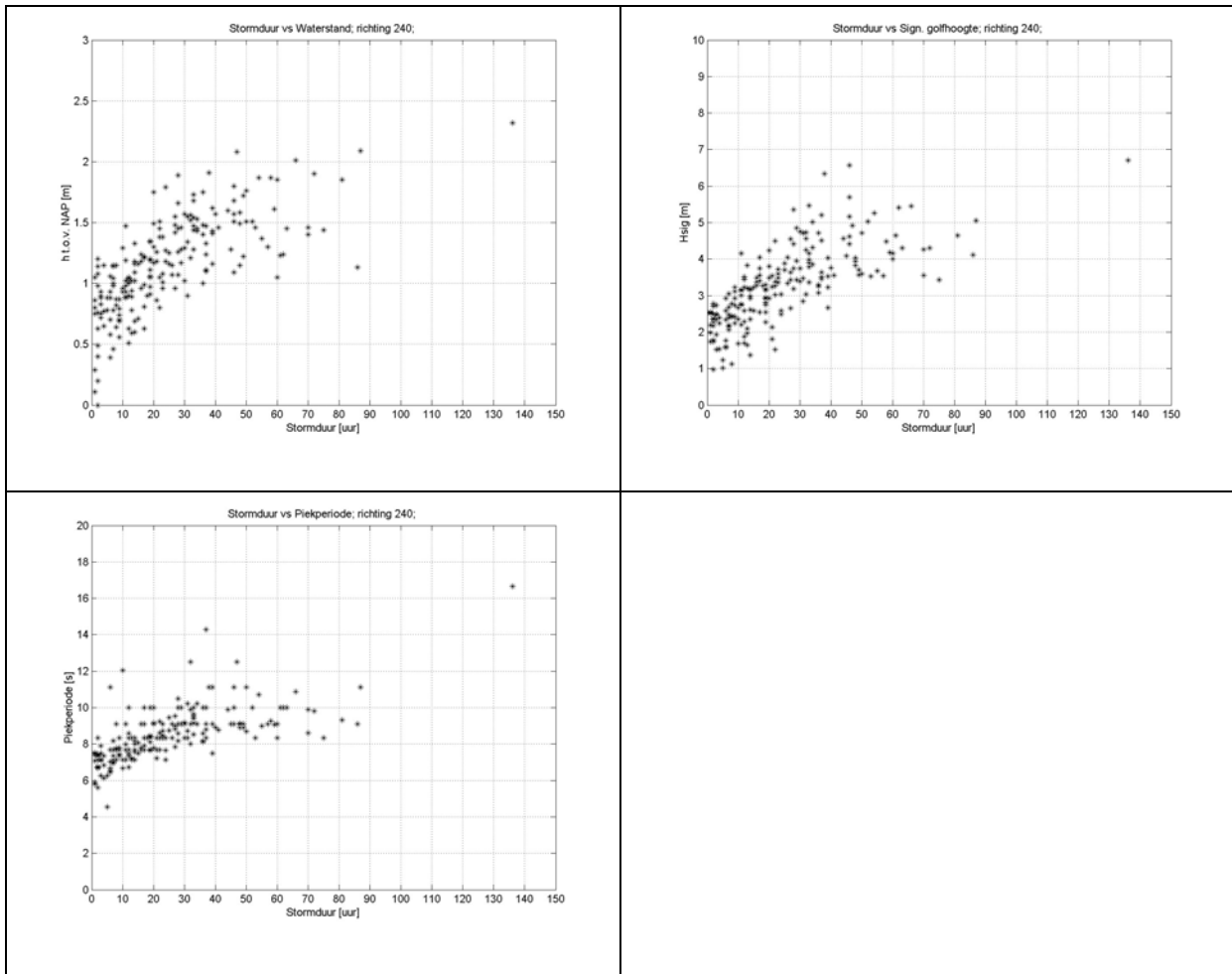
### **Bijlage 4.6: Afhankelijkheid op basis van de stormduur**

In onderstaande figuren zijn de stormparameters waterstand, significante golfhoogte en piekperiode uitgezet tegen de stormduur. Er is een opdeling gemaakt naar richting.

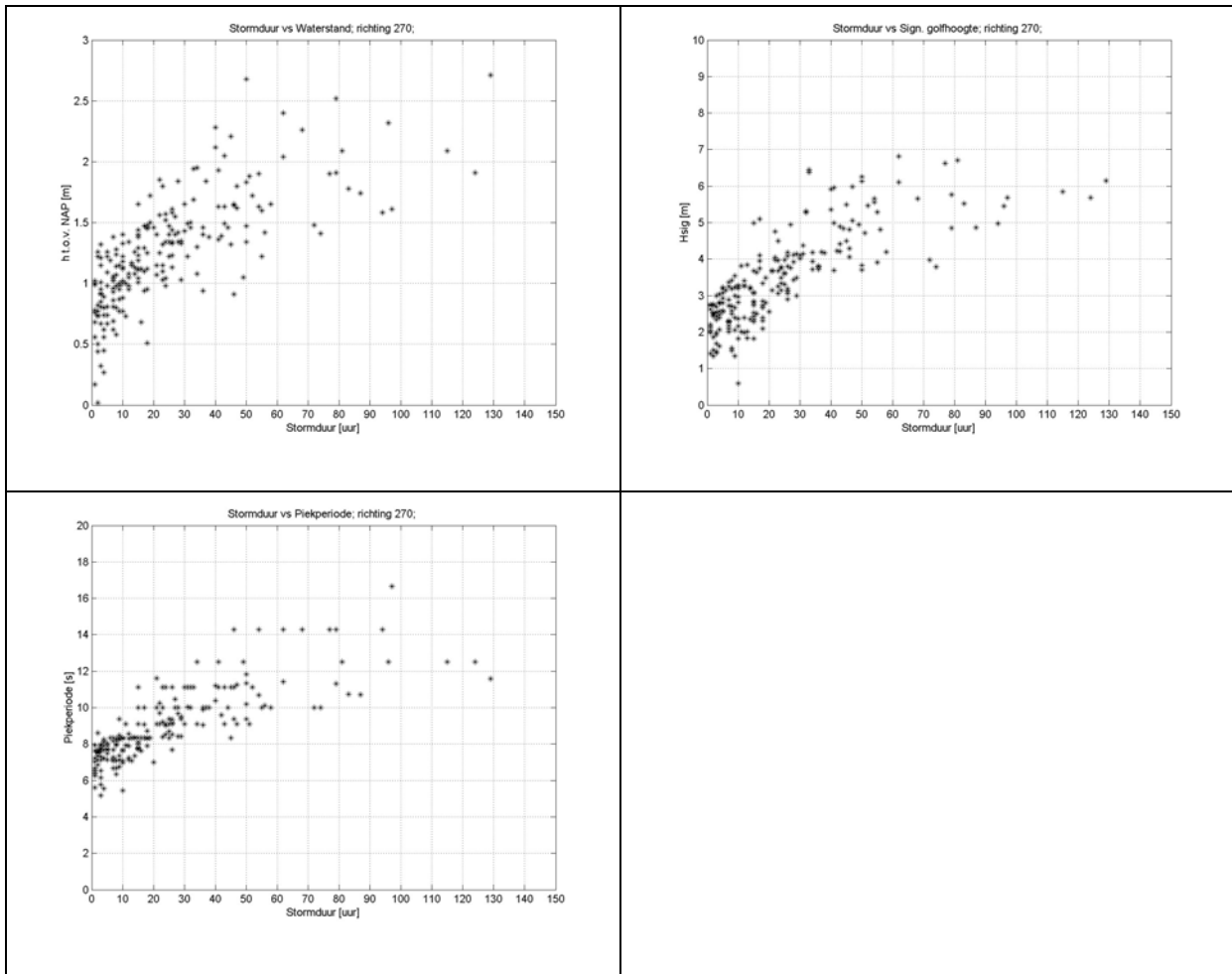
Richting 210:



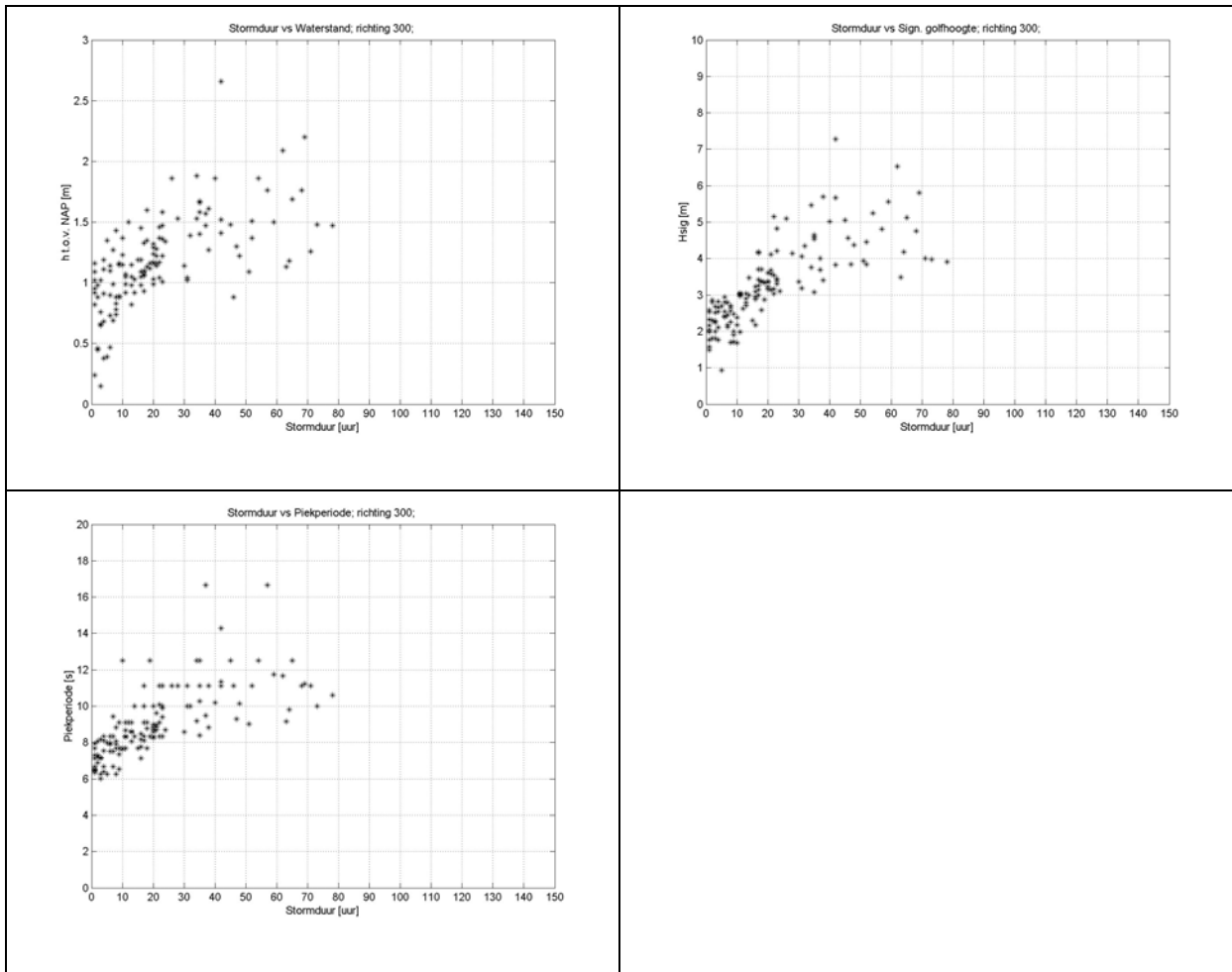
## Richting 240:



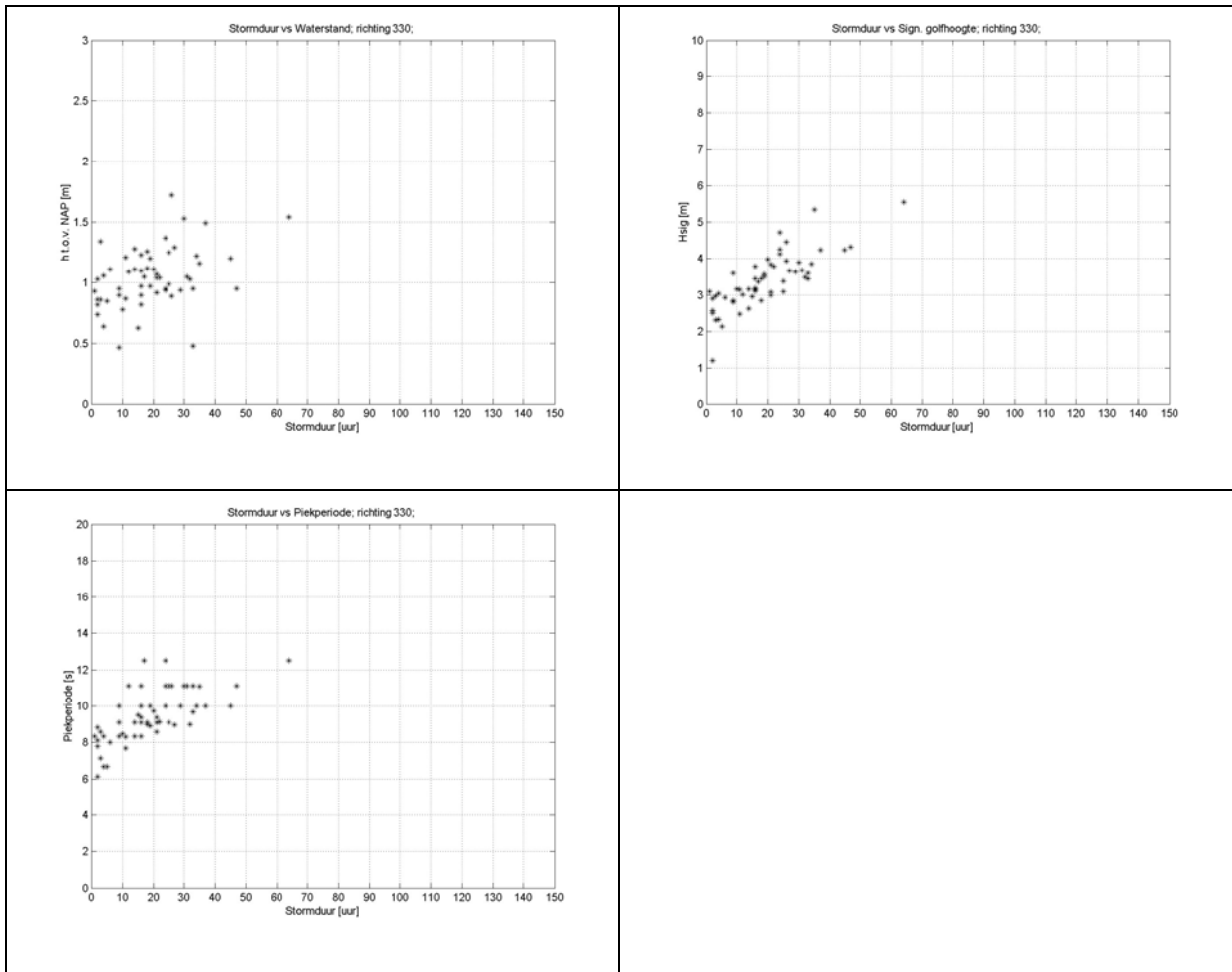
## Richting 270:



# Richting 300:



# Richting 330:

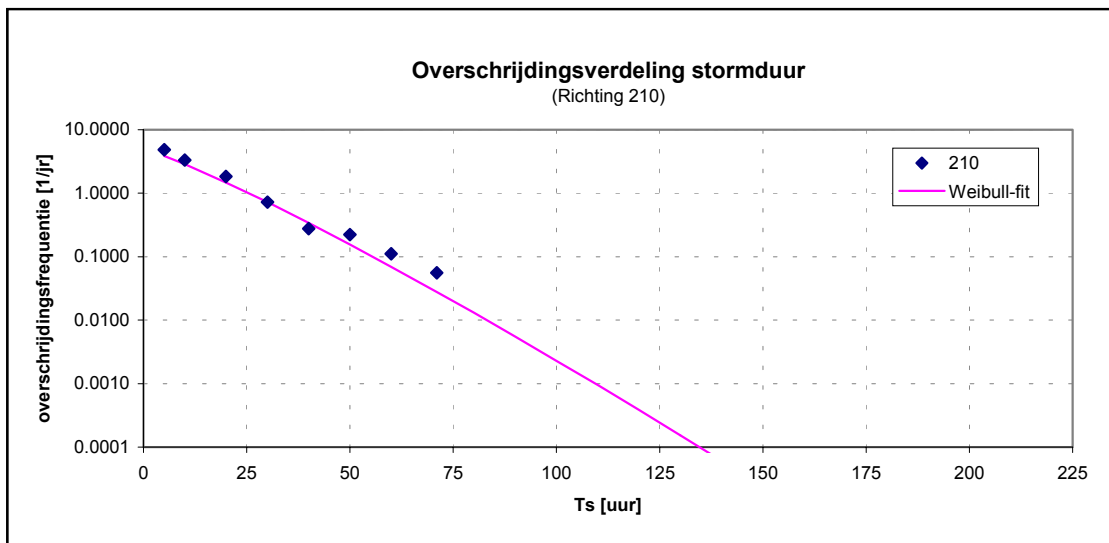


## Bijlage 4.7: Overschrijdingsfrequenties stormduren

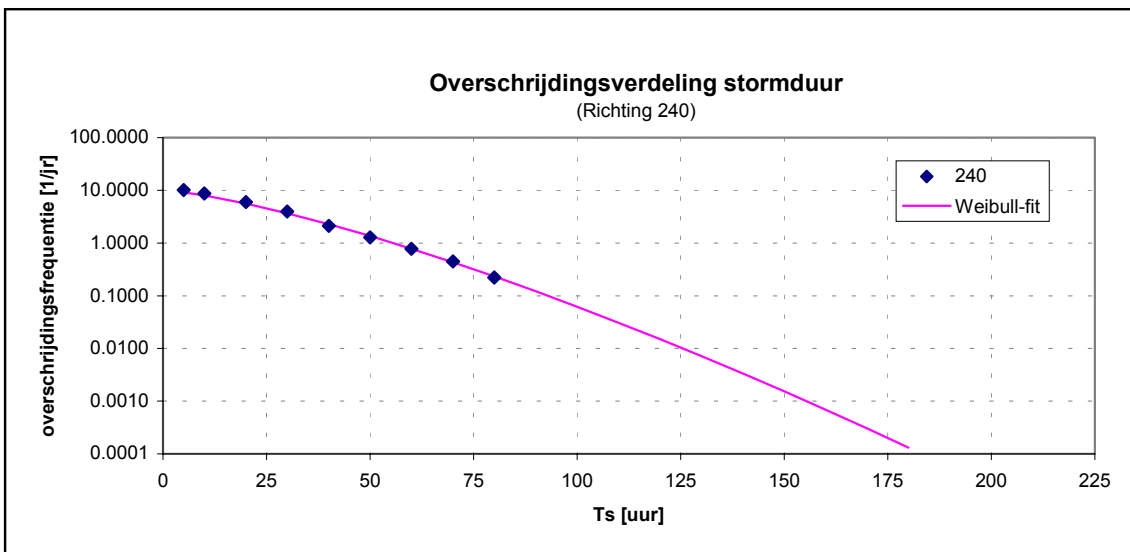
### Algemeen

In onderstaande figuren zijn de overschrijdingsfrequenties van de stormduren uitgezet per richting. De punten in de grafieken zijn de waarnemingen. Omdat de waarnemingen 18 jaar beslaan dienen de stormduren met een overschrijdingsfrequentie kleiner dan eens per 18 jaar benaderd te worden. Door elke grafiek is door de puntenwolk een Weibull-verdeling gefit. Deze is zichtbaar gemaakt middels de doorgetrokken lijn.

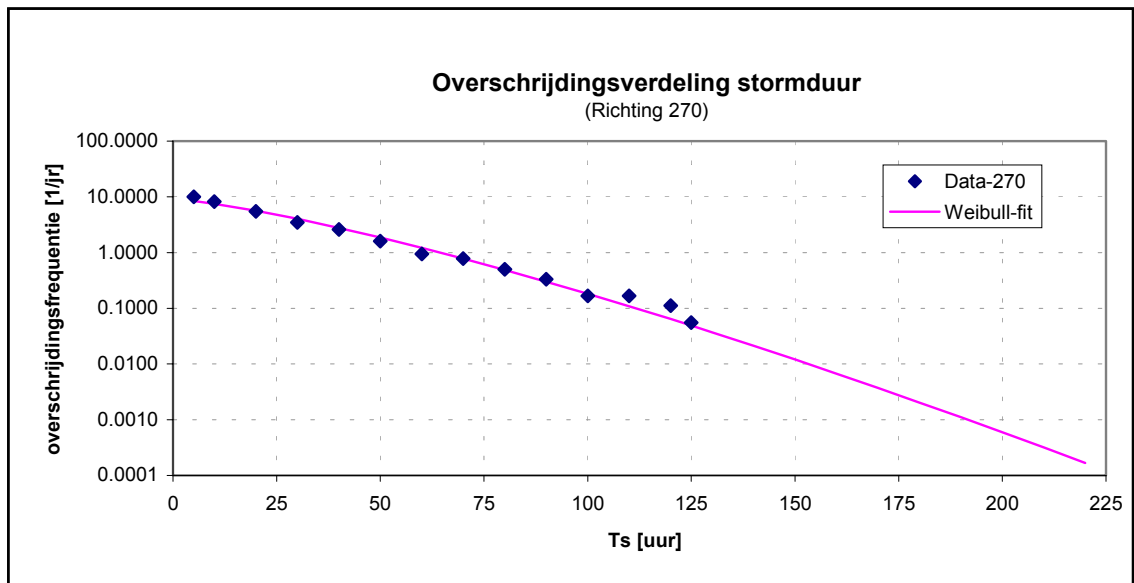
Richting 210:



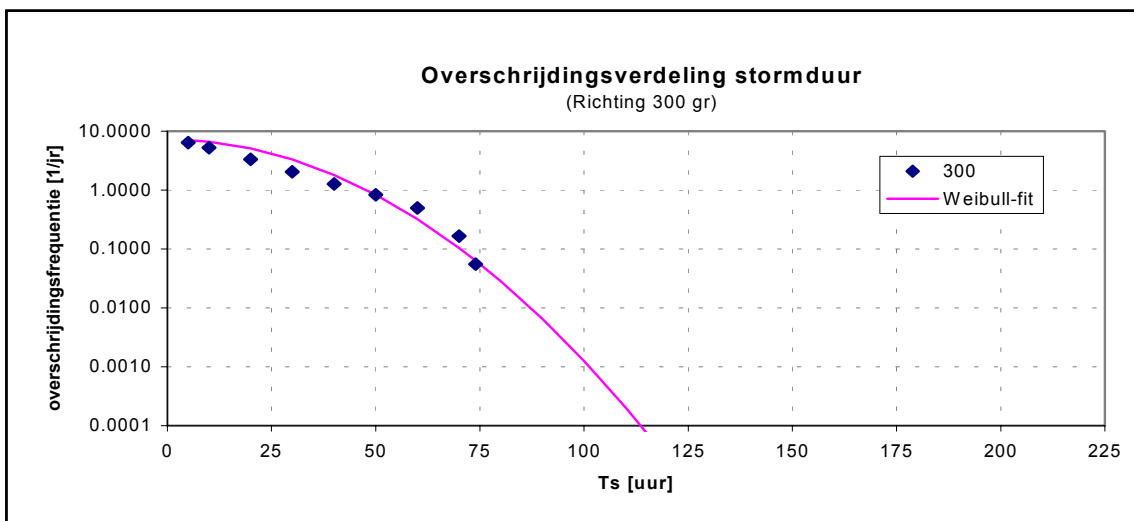
Richting 240:



Richting 270:

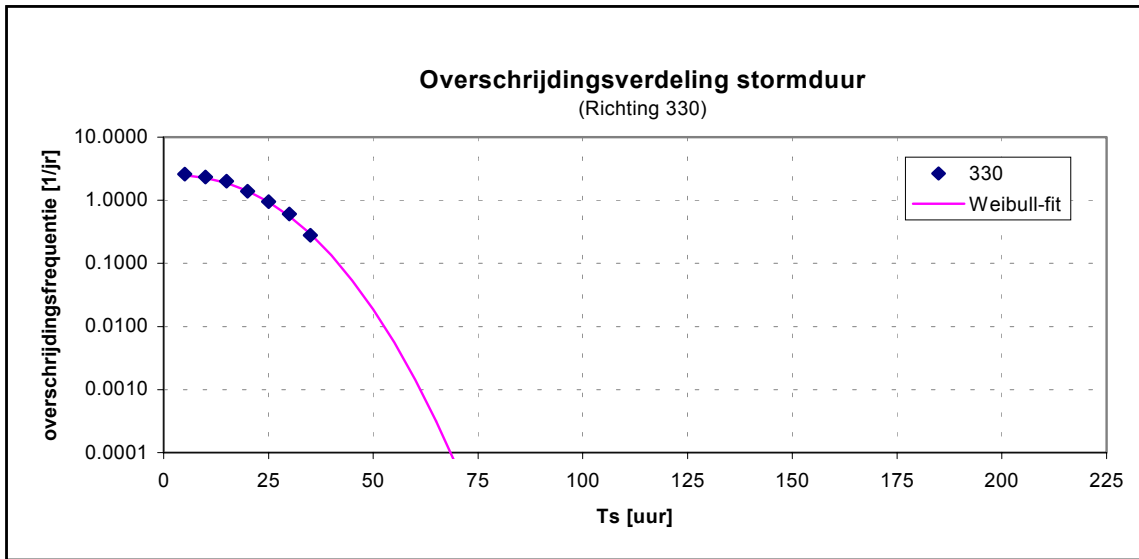


Richting 300:





Richting 330:

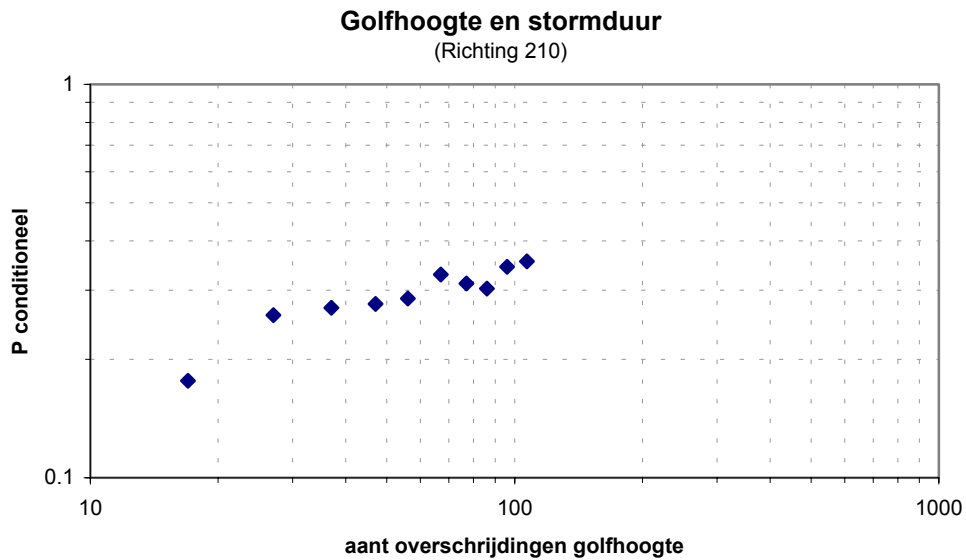


## Bijlage 4.8: Afhankelijkheid stormduur

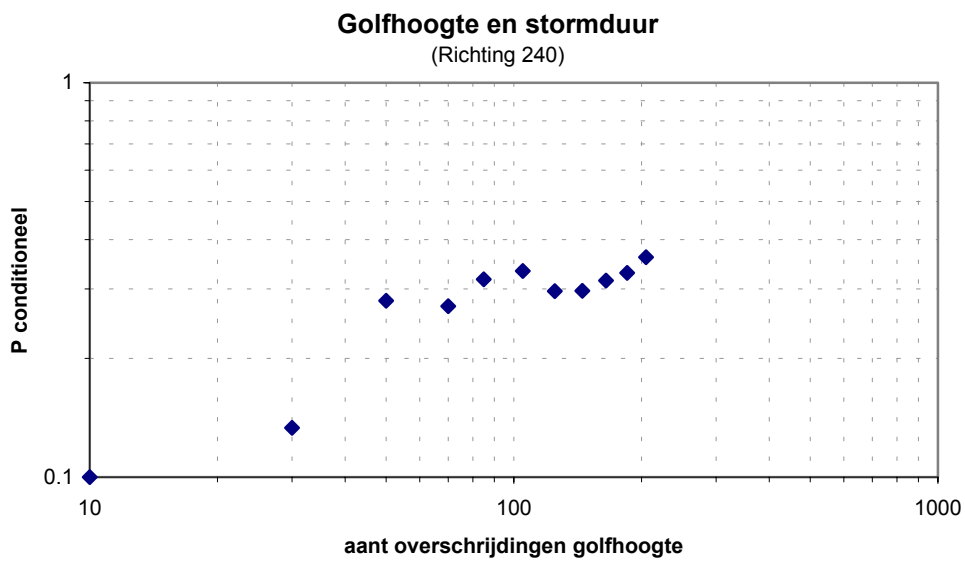
### Algemeen

In onderstaande figuren staan “naar [De Valk, C.F., 1996, figuur 4.10]” de figuren die asymptotische afhankelijkheid aan dienen te tonen. De figuren zijn per richting gegeven:

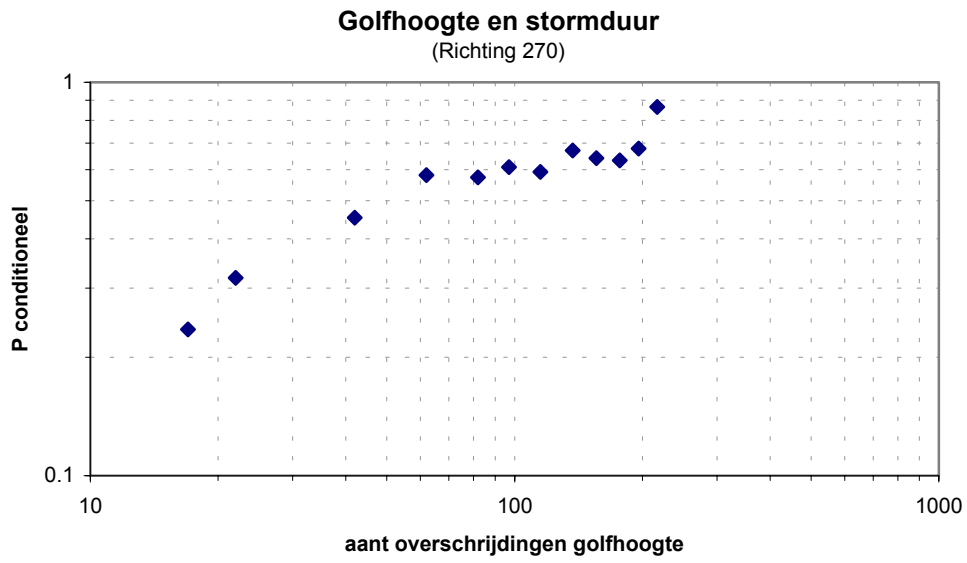
Richting 210:



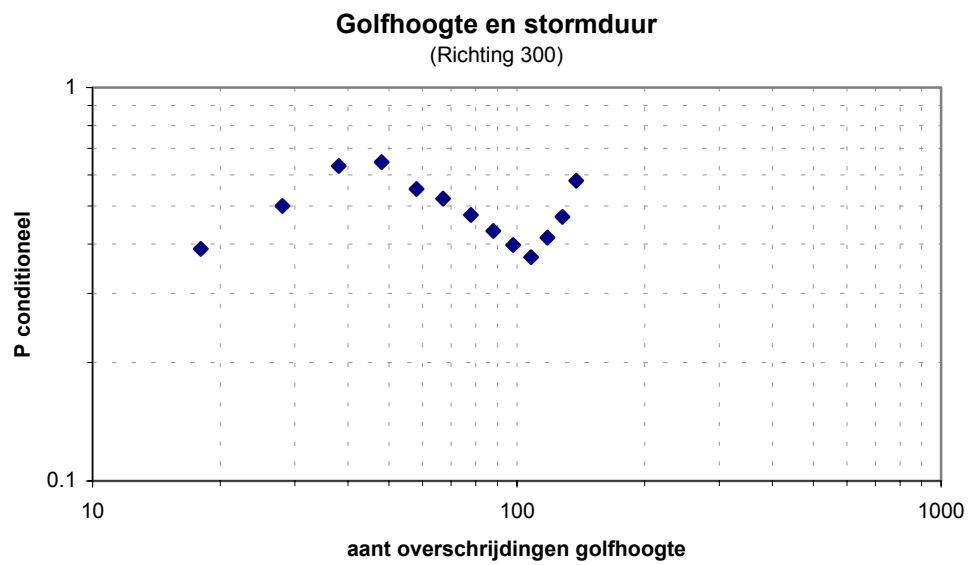
Richting 240:



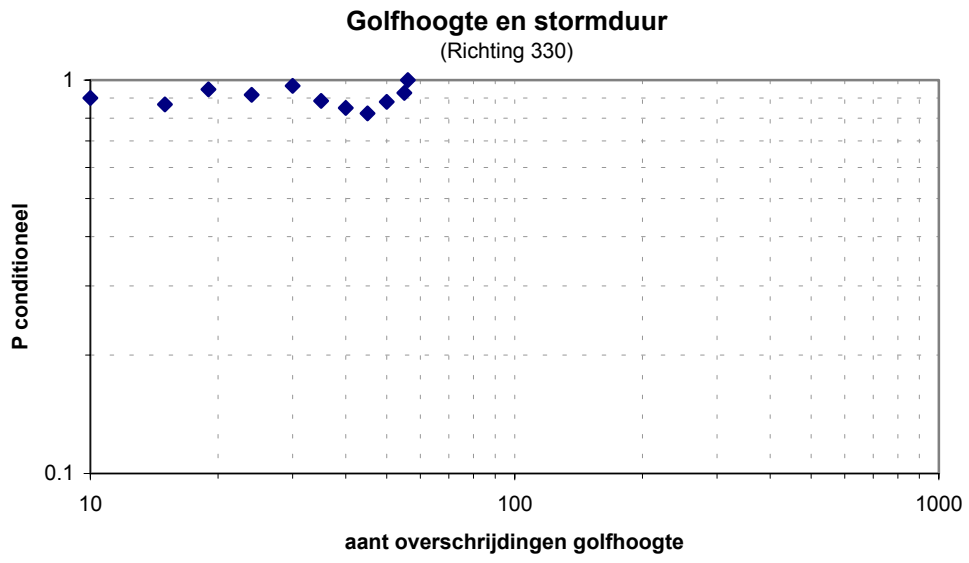
Richting 270:



Richting 300:



Richting 330:



### **Bijlage 4.9: Klassenindeling van de geëxtrapoleerde stormen**

Aan de hand van de extreme waarden statistiek van de afzonderlijke stormparameters is een klassenindeling gemaakt. In onderstaande tabel staan de verschillende klassen gedefinieerd. Elk van de geëxtrapoleerde stormen zal in een klasse vallen.

klasse	parameter	Stormrichting				
		210	240	270	300	330
M	u [m/s]	34.87	37.60	38.90	37.74	33.21*
	Hm0 [m]	6.95	8.61	9.32	9.45	9.67
	Tp [s]	12.54	14.22	15.5	16.47	16.87
	h [m]	1.99	3.04	3.97	4.22	4.2
S	u [m/s]	33.05	35.50	36.59	35.35	31.22
	Hm0 [m]	6.52	8.08	8.80	8.90	9.06
	Tp [s]	11.94	13.55	14.81	15.7	16.05
	h [m]	1.86	2.77	3.64	3.87	3.80
E	u [m/s]	32.21	34.53	35.53	34.25	
	Hm0 [m]	6.32	7.84	8.55	8.64	
	Tp [s]	11.67	13.24	14.49	15.35	
	h [m]	1.80	2.66	3.49	3.71	

\* Voor de richting 330 worden er twee klasse M sommen gemaakt, 1 som met een significante golfhoogte van 9,67 meter en een som met een significante golfhoogte van 9,06 meter.

Per richting staan in de tabellen op de volgende pagina's het aantal stormen dat in een klasse valt. Omdat in een later stadium met behulp van deze klassen overschrijdingsfrequenties van duinafslagen berekend gaan worden zijn in de laatste kolommen de cumulatieve aantallen stormen weergegeven. Per klasse wordt dan het aantal stormen weergegeven dat de bijbehorende stormparameters heeft dan wel het aantal stormen dat deze stormparameters overschrijdt.

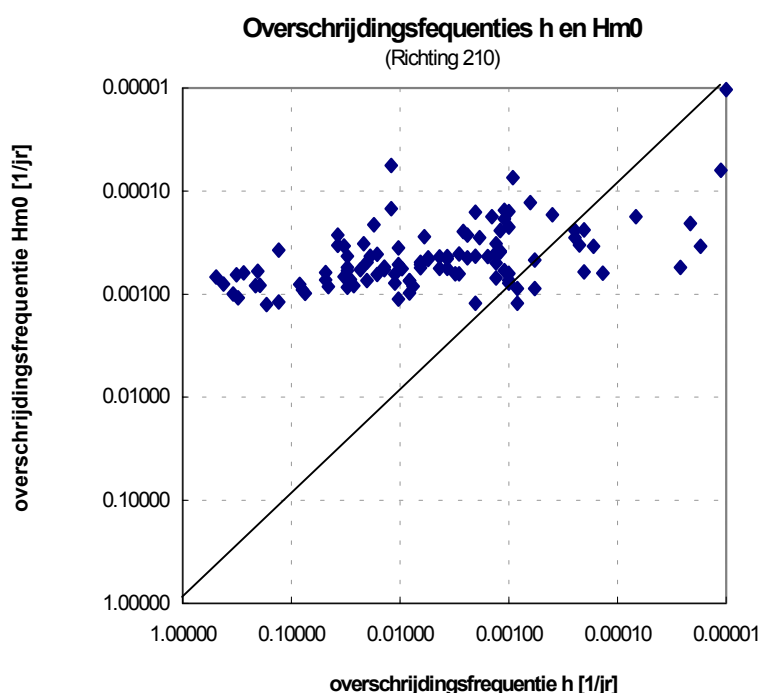
In het algemeen geldt dat voor stormen die niet eenduidig binnen een klasse vallen (bijvoorbeeld omdat de waterstand binnen klasse E zou vallen en de golfhoogte binnen klasse S) de waterstand maatgevend is. De storm wordt dan meegeteld als zijnde een storm die klasse E overschrijdt. De fout die hier mee gemaakt wordt is dat deze storm misschien meer afslag kan veroorzaken dan een klasse S storm terwijl hij als overschrijding van een klasse E storm meegerekend wordt. Als aanbeveling wordt dan ook meegegeven om het aantal klassen groter te maken zodat ook de stormen die veel afwijken van de aangegeven klassen nauwkeuriger meegenomen kunnen worden. In de tabellen op deze en volgende bladzijden volgen het aantal stormen die buiten de klassen liggen. Er is gekeken naar de combinatie van waterstand en golfhoogte. De piekperiode en de windsnelheid zijn in deze uitwerking niet meegenomen. Ook hiervoor geldt de aanbeveling om meer klassen te definiëren zodat er een nauwkeurige opdeling gemaakt kan worden in waterstand, golfhoogte, piekperiode en windsnelheid.

#### **Richting 210**

Voor stormen met richting 210° blijken maar een paar stormen binnen de klassengrenzen te liggen:

Voorwaarde	aantal stormen	cumulatief
$h < 1,80$ & $H_{mo} < 6,32$ (klasse E)	3	108
$h < 1,80$ & $6,32 < H_{mo} < 6,52$	36	105
$h < 1,80$ & $6,52 < H_{mo} < 6,95$	35	69
$h < 1,80$ & $H_{mo} > 6,95$	1	34
$1,80 < h < 1,86$ & $H_{mo} < 6,32$	1	33
$1,80 < h < 1,86$ & $6,32 < H_{mo} < 6,52$ (klasse S)	5	32
$1,80 < h < 1,86$ & $6,52 < H_{mo} < 6,95$	4	27
$1,80 < h < 1,86$ & $H_{mo} > 6,95$	1	23
$1,86 < h < 1,99$ & $6,32 < H_{mo} < 6,52$	2	22
$1,86 < h < 1,99$ & $6,52 < H_{mo} < 6,95$ (klasse M)	6	20
$h > 1,99$ & $H_{mo} < 6,32$	3	14
$h > 1,99$ & $6,32 < H_{mo} < 6,52$	5	11
$h > 1,99$ & $6,52 < H_{mo} < 6,95$	4	6
$h > 1,99$ & $T_p > 6,95$	2	2

Uit de tabel blijkt dat veel stormen voor de richting 210 niet binnen een klasse vallen. Veelal gaat het om waterstanden waarbij een golfhoogte hoort die een kleinere overschrijdingsfrequentie heeft dan die desbetreffende waterstand. Onderstaande figuur verduidelijkt het geheel:



De afhankelijkheidsplot in bijlage 4.4 liet al een dergelijk verband zien

In de volgende tabel staan de waarden van de stormen die met SWAN doorgerekend worden. Het aantal stormen dat meer duinafslag zal veroorzaken staat erachter gegeven (aantal overschrijdingen).

Klasse	aant. overschr	stormnummer	h [m.+NAP)	Uwind [m/s]	Tp [s]	Hmo [m]
M	20	mmmm21	1,99	34,87	12,54	6,95
S	32	ssss21	1.86	33,05	11,94	6,52
E	108	eeee21	1,80	32,21	11,67	6,32

### Richting 240

Voorwaarde	aantal stormen	cumulatief
$h < 2,66$ & $H_{m0} < 7,84$ (klasse E)	47	206
$h < 2,66$ & $7,84 < H_{m0} < 8,08$	41	159
$h < 2,66$ & $8,08 < H_{m0} < 8,61$	7	118
$h < 2,66$ & $H_{m0} > 8,61$	1	111
$2,66 < h < 2,77$ & $H_{m0} < 7,84$	8	110
$2,66 < h < 2,77$ & $7,84 < H_{m0} < 8,08$ (klasse S)	16	102
$2,66 < h < 2,77$ & $8,08 < H_{m0} < 8,61$	12	86
$2,66 < h < 2,77$ & $H_{m0} > 8,61$	1	74
$2,77 < h < 3,04$ & $H_{m0} < 7,84$	1	73
$2,77 < h < 3,04$ & $7,84 < H_{m0} < 8,08$	23	72
$2,77 < h < 3,04$ & $8,08 < H_{m0} < 8,61$ (klasse M)	25	49
$2,77 < h < 3,04$ & $H_{m0} > 8,61$	1	24
$h > 3,04$ & $7,84 < H_{m0} < 8,08$	3	23
$h > 3,04$ & $8,08 < H_{m0} < 8,61$	12	20
$h > 3,04$ & $H_{m0} > 8,61$	8	8

De bijbehorende frequenties:

De volgende voorwaarden worden doorgerekend met SWAN voor de richting 240°:

Klasse	aant. overschr	stormnummer	h [m.+NAP)	Uwind [m/s]	Tp [s]	Hmo [m]
M	49	mmmm24	3,04	37,60	14,22	8,61
S	102	ssss24	2,77	35,50	13,55	8,08
E	206	eeee24	2,66	34,53	13,24	7,84

### Richting 270

Voorwaarde	aantal stormen	cumulatief
$h < 3,49 \ \& \ H_{m0} < 8,55$ (klasse E)	117	218
$h < 3,49 \ \& \ 8,55 < H_{m0} < 8,80$	3	101
$h < 3,49 \ \& \ 8,80 < H_{m0} < 9,32$	3	98
$h < 3,49 \ \& \ H_{m0} > 9,32$	0	95
$3,49 < h < 3,64 \ \& \ H_{m0} < 8,55$	33	95
$3,49 < h < 3,64 \ \& \ 8,55 < H_{m0} < 8,80$ (klasse S)	9	62
$3,49 < h < 3,64 \ \& \ 8,80 < H_{m0} < 9,32$	9	53
$3,49 < h < 3,64 \ \& \ H_{m0} > 9,32$	0	44
$3,64 < h < 3,97 \ \& \ H_{m0} < 8,55$	5	44
$3,64 < h < 3,97 \ \& \ 8,55 < H_{m0} < 8,80$	10	39
$3,64 < h < 3,97 \ \& \ 8,80 < H_{m0} < 9,32$ (klasse M)	13	29
$3,64 < h < 3,97 \ \& \ H_{m0} > 9,32$	7	16
$h > 3,97 \ \& \ 8,80 < H_{m0} < 9,32$	6	9
$h > 3,97 \ \& \ H_{m0} > 9,32$	3	3

De bijbehorende frequenties:



De volgende voorwaarden worden doorgerekend met SWAN voor de richting 270°:

Klasse	aant. overschr	stormnummer	h [m.+NAP)	Uwind [m/s]	Tp [s]	Hmo [m]
M	29	mmmm27	3,97	38,90	15,50	9,32
S	62	ssss27	3,64	36,59	14,81	8,80
E	218	eeee27	3,49	35,53	14,49	8,55

### Richting 300

Voorwaarde	aantal stormen	cumulatief
$h < 3,71 \& H_{m0} < 8,64$ (klasse 3)	52	139
$h < 3,71 \& 8,64 < H_{m0} < 8,90$	3	87
$h < 3,71 \& 8,90 < H_{m0} < 9,45$	1	84
$3,71 < h < 3,87 \& H_{m0} < 8,64$	41	83
$3,71 < h < 3,87 \& 8,64 < H_{m0} < 8,90$ (klasse 2)	12	42
$3,71 < h < 3,87 \& 8,90 < H_{m0} < 9,45$	2	30
$3,71 < h < 3,87 \& H_{m0} > 9,45$	0	28
$3,87 < h < 4,22 \& H_{m0} < 8,64$	3	28
$3,87 < h < 4,22 \& 8,64 < H_{m0} < 8,90$	9	25
$3,87 < h < 4,22 \& 8,90 < H_{m0} < 9,45$ (klasse 1)	13	16
$3,87 < h < 4,22 \& H_{m0} > 9,45$	1	3
$h > 4,22 \& 8,90 < H_{m0} < 9,45$	1	2
$h > 4,22 \& H_{m0} > 9,45$	1	1

De bijbehorende frequenties:

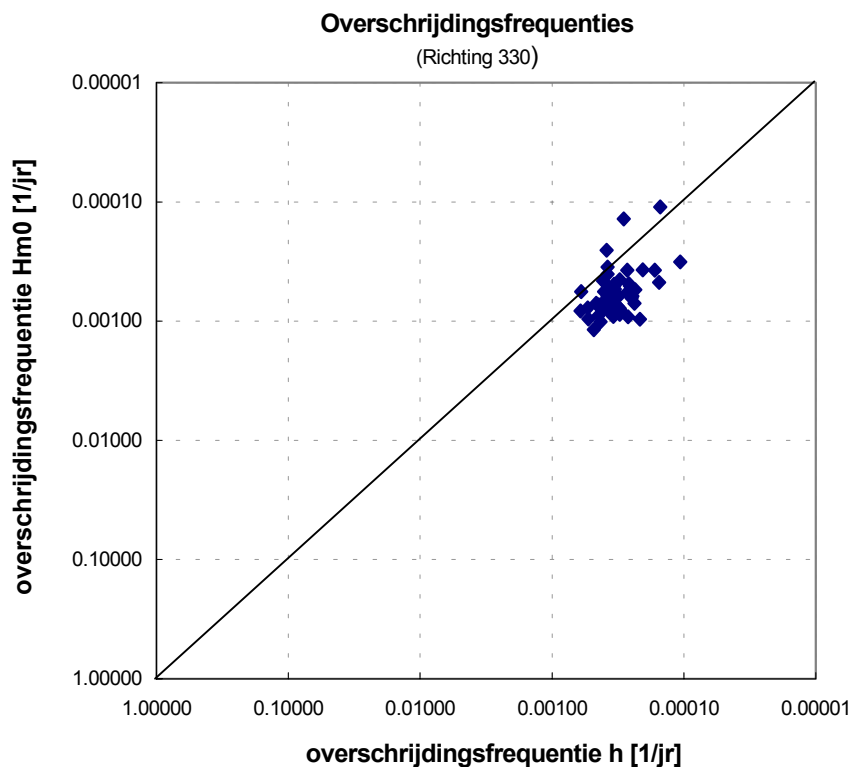
De volgende voorwaarden worden doorgerekend met SWAN voor de richting 300°:

Klasse	aant. overschr	stormnummer	h [m.+NAP)	Uwind [m/s]	Tp [s]	Hmo [m]
M	16	mmmm30	4,22	37,74	16,47	9,45
S	42	ssss30	3,87	35,35	15,70	8,90
E	139	eeee30	3,71	34,25	15,35	8,64

### Richting 330

Voorwaarde	aantal stormen	cumulatief
$3,62 < h < 3,80$ & $8,78 < H_{m0} < 9,06$ (klasse S)	4	56
$3,80 < h < 4,20$ & $8,78 < H_{m0} < 9,06$	37	52
$3,80 < h < 4,20$ & $9,06 < H_{m0} < 9,67$ (klasse M)	15	15

De bijbehorende frequenties:



De volgende voorwaarden worden doorgerekend met SWAN voor de richting 330°:

Klasse	aant. overschr	stormnummer	h [m.+NAP)	Uwind [m/s]	Tp [s]	Hmo [m]
M	15	mmmm33	4,20	33,21	16,87	9,67
M2	52	mmms33	4,20	33,21	16,87	9,06
S	56	ssss33	3,80	31,22	16,05	9,06

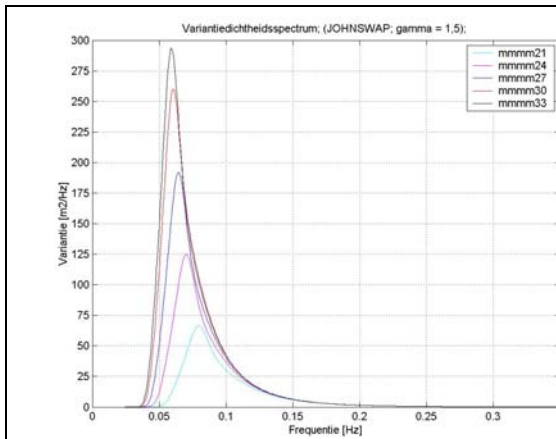
## **Bijlagen hoofdstuk 5**

Bijlage 5.1: Golfspectra op de rekenrand .....	38
Bijlage 5.2: Uitvoer grove grid .....	39
Bijlage 5.3: Uitvoer fijne grid .....	45
Bijlage 5.4: Uitvoer detailgrid.....	48
Bijlage 5.5: Invloed van de stormklasse op de significante golfhoogte.....	63
Bijlage 5.6: Uitvoer van de piekperiode.....	65
Bijlage 5.7: Spectrum ontwikkeling langs een raai .....	66

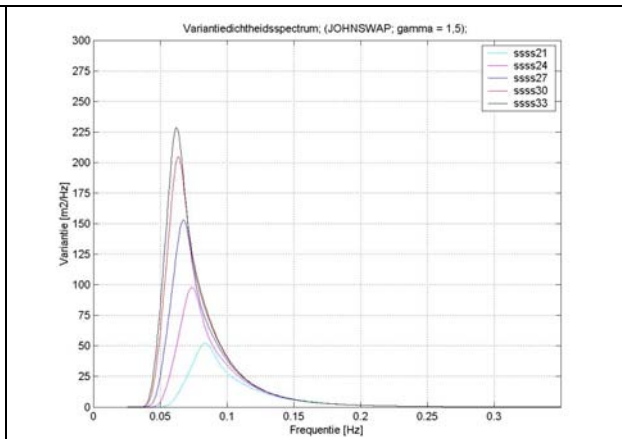
## Bijlage 5.1: Golfspectra op de rekenrand

### Algemeen

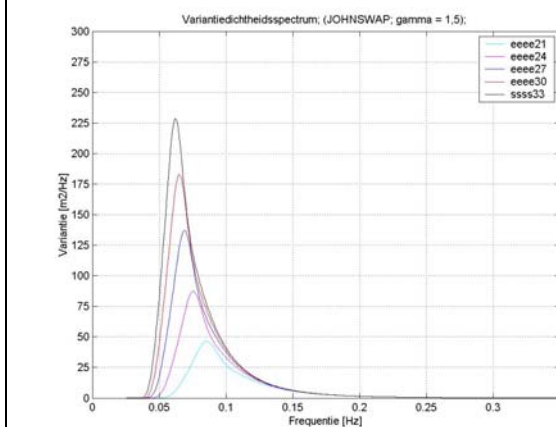
Voor elke storm die met SWAN doorgerekend wordt is een variantiedichtheidsspectrum opgegeven op de rekenrand. In onderstaande figuren staan per stormklasse (M,S of E) de verschillende spectra weergegeven per stormrichting:



Klasse M-stormen



Klasse S-stormen



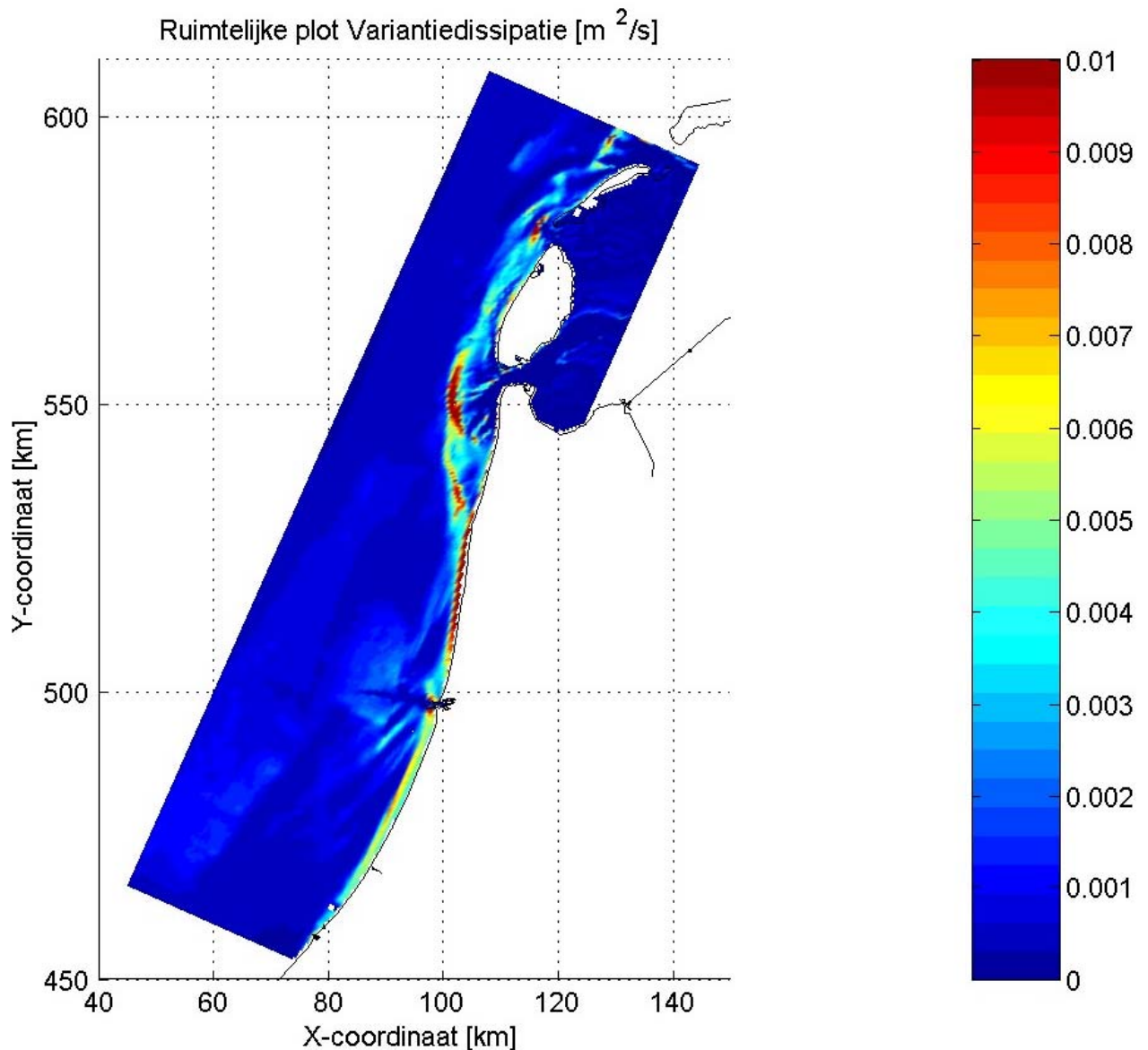
Klasse E-stormen

## Bijlage 5.2: Uitvoer grove grid

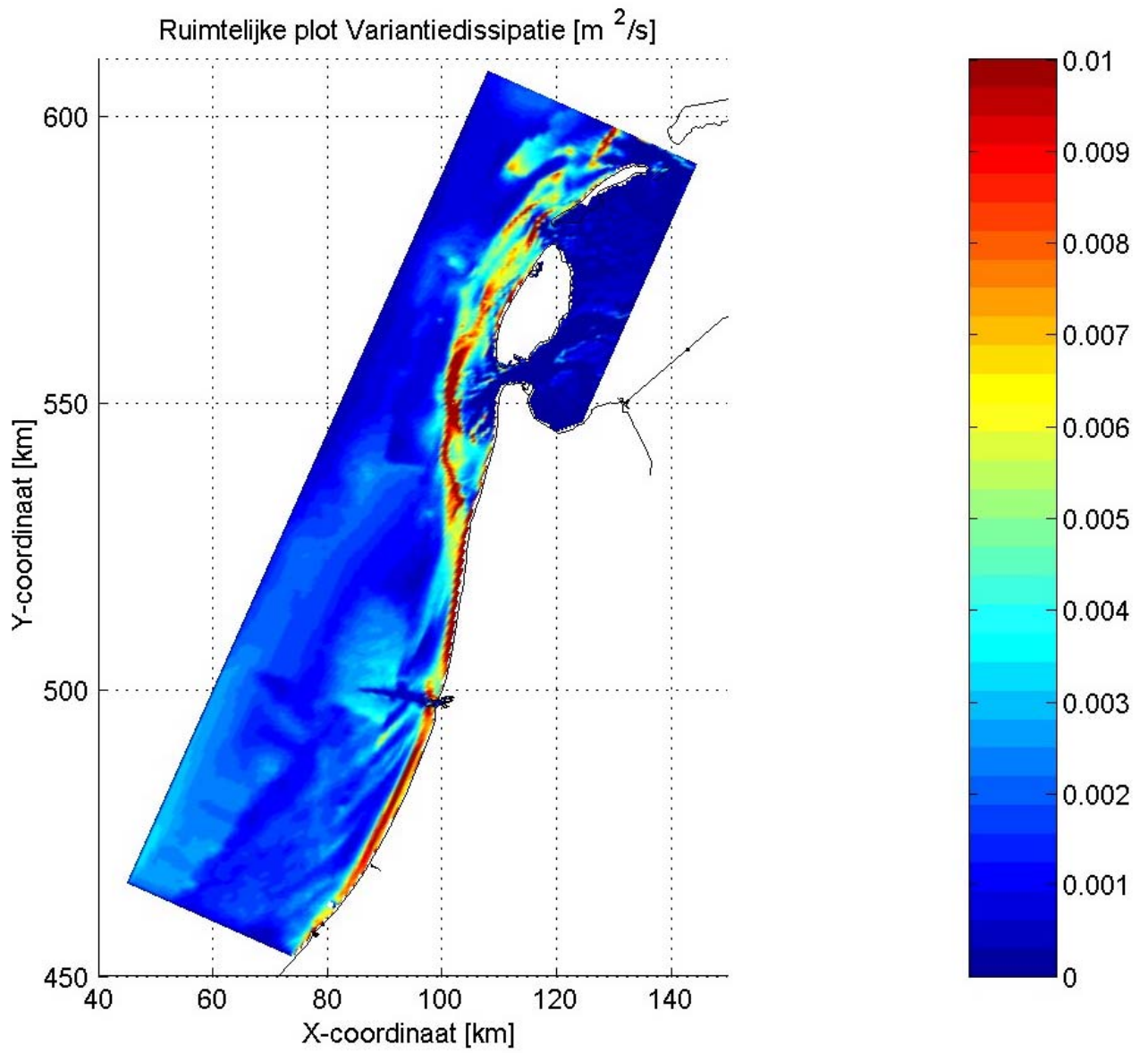
### Algemeen

Om het effect van de verschillende stormrichtingen op de golfhoogte te laten zien zijn in onderstaande figuren de ruimtelijke verdelingen van de variantiedissipatie en de significante golfhoogte voor het grove grid (resolutie 500X500 m<sup>2</sup>) weergegeven. De verschillende gebieden die in paragraaf 5.4.1 gedefinieerd zijn komen hierin tot uitdrukking. De gepresenteerde uitvoer heeft alleen betrekking op de M-klassen stormen.

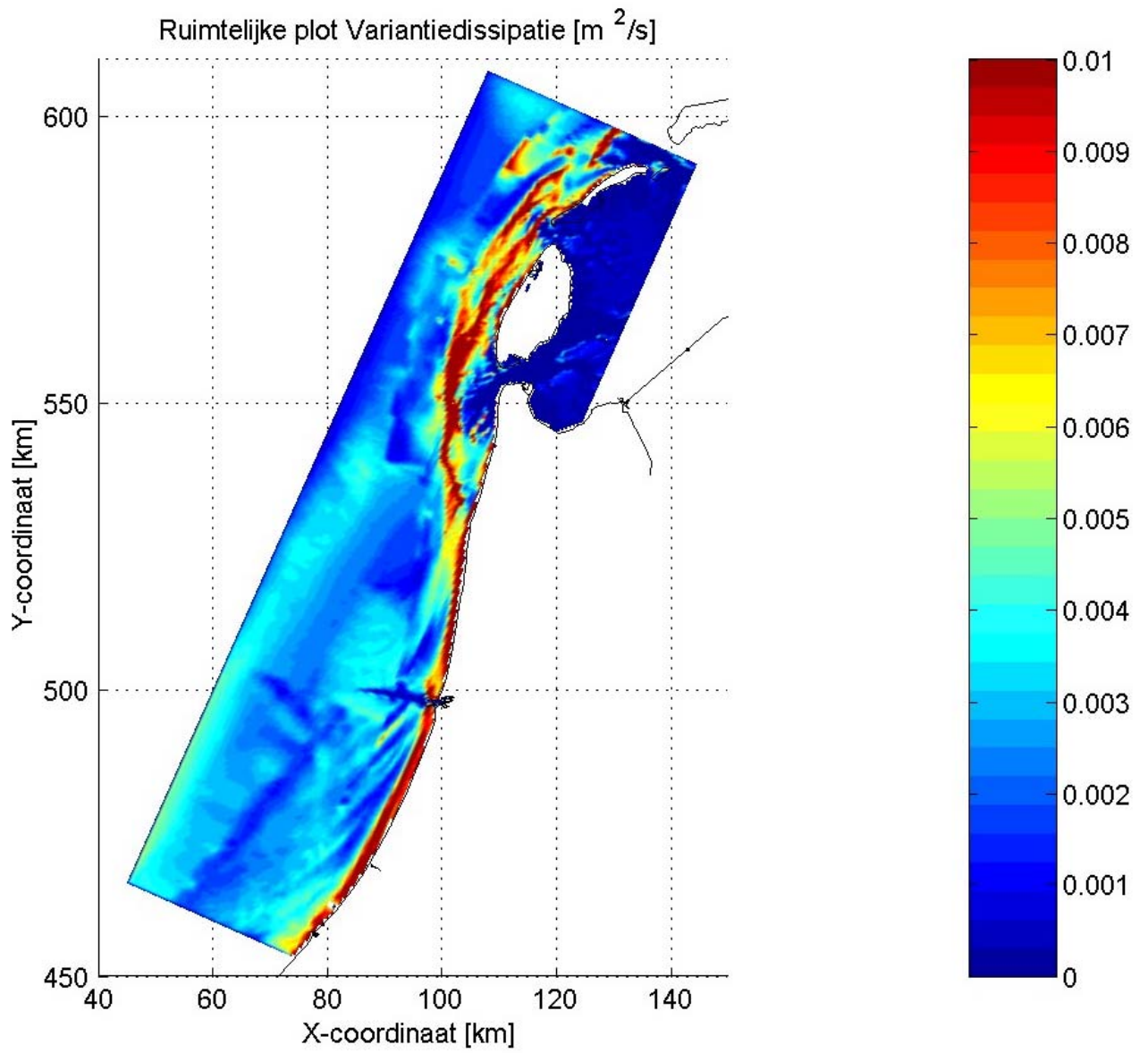
### Ruimtelijke plots van de variantiedissipatie



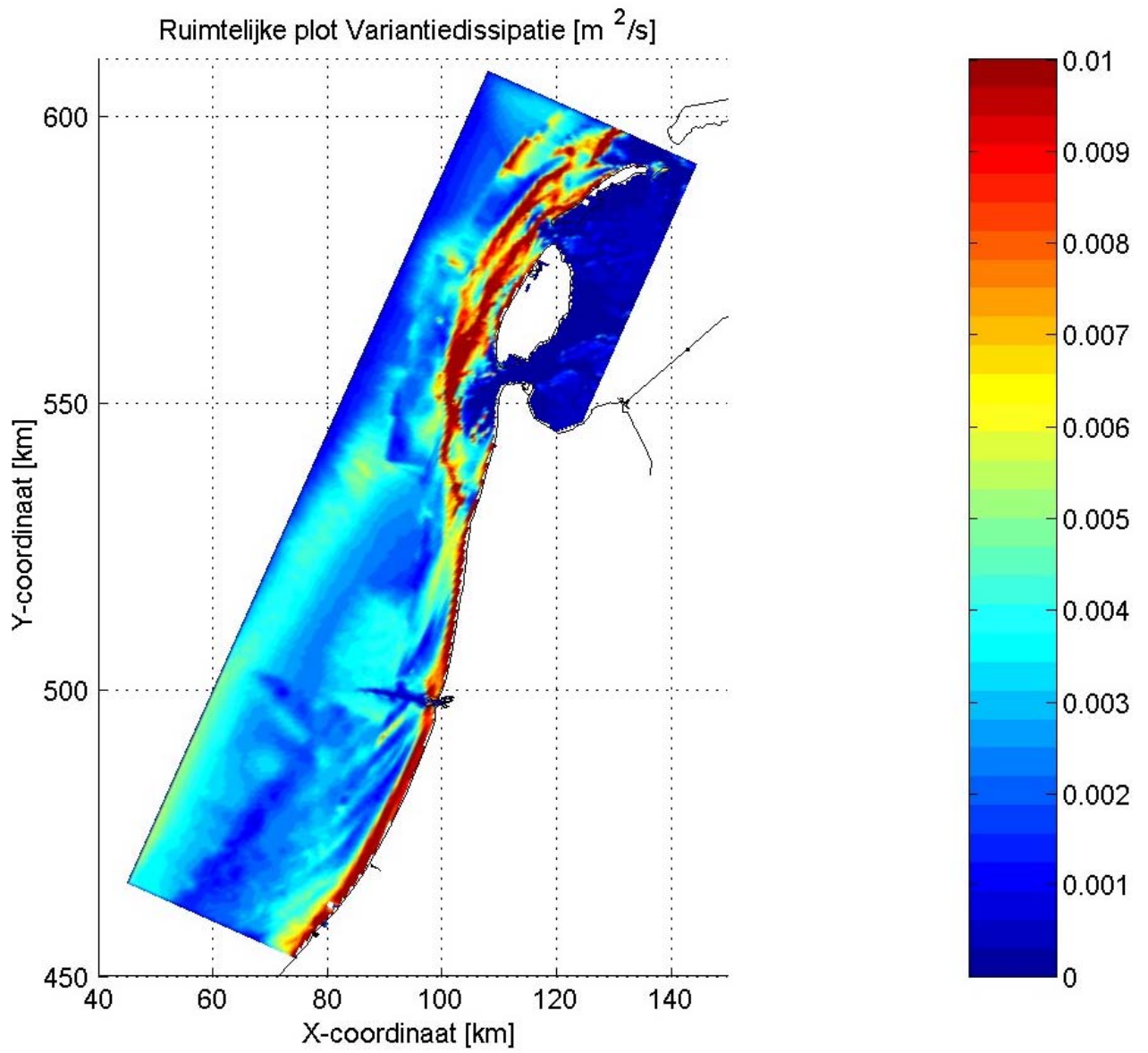
Stormnr. mmmm21 (richting 210)



Stormnr. mmmm24 (richting 240)

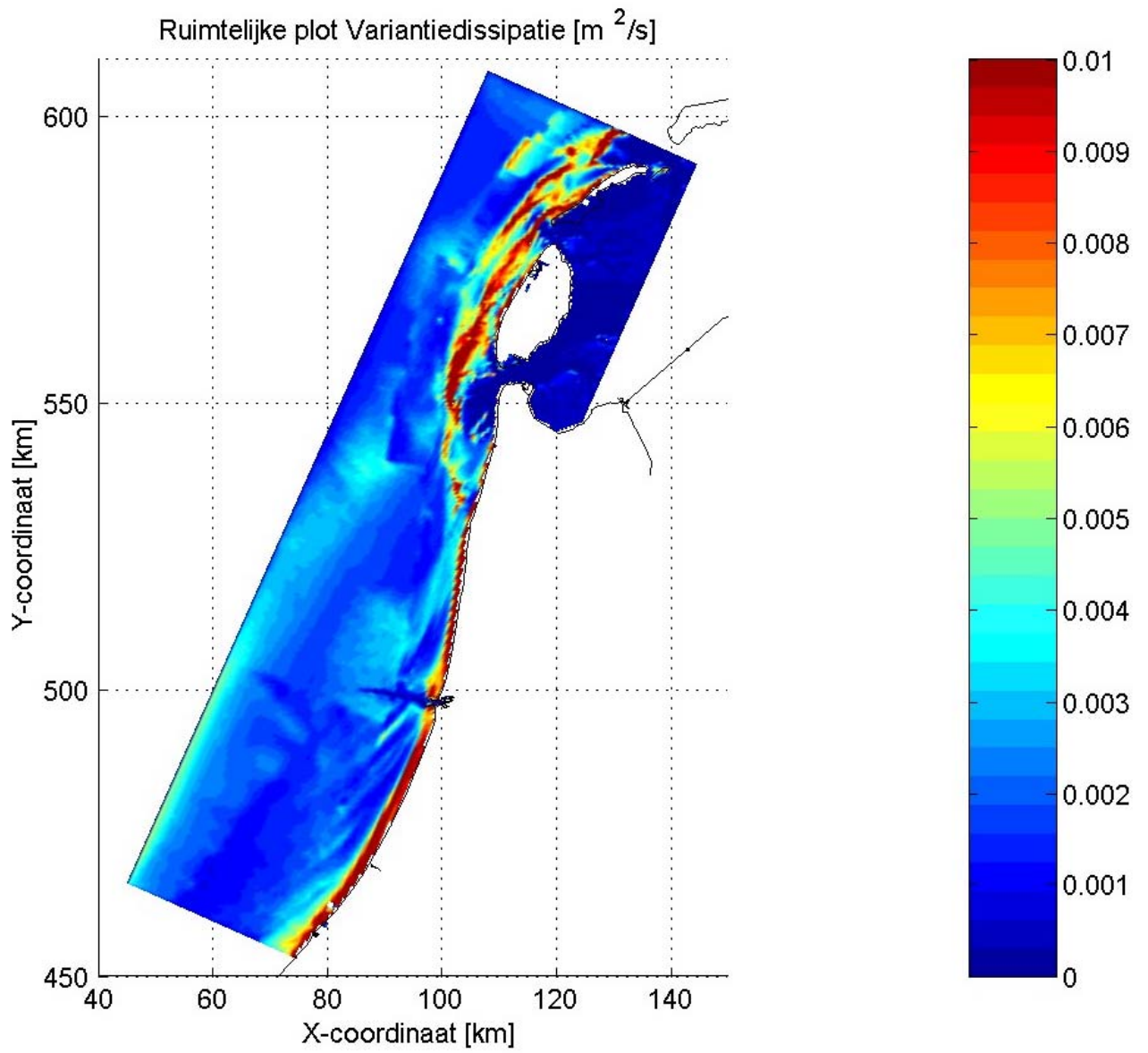


Stormnr. mmmm27 (richting 270)



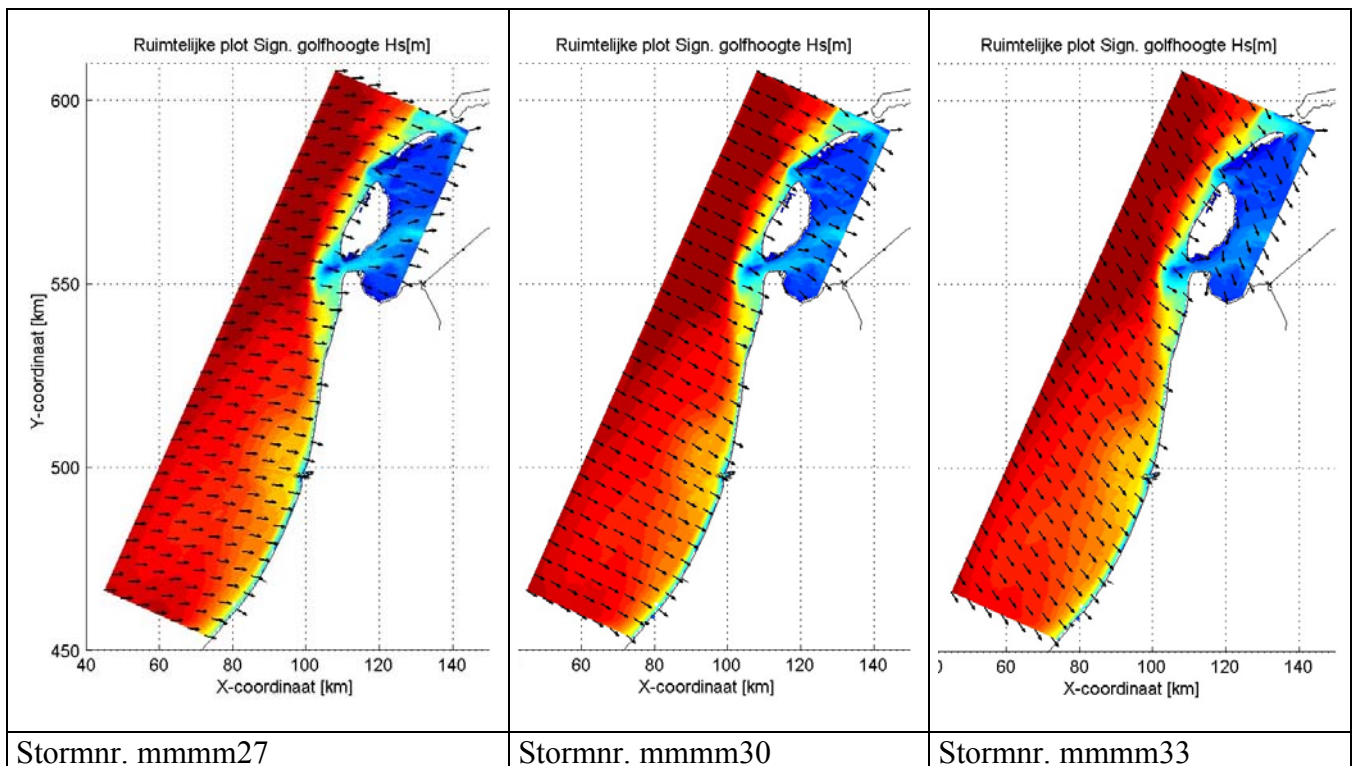
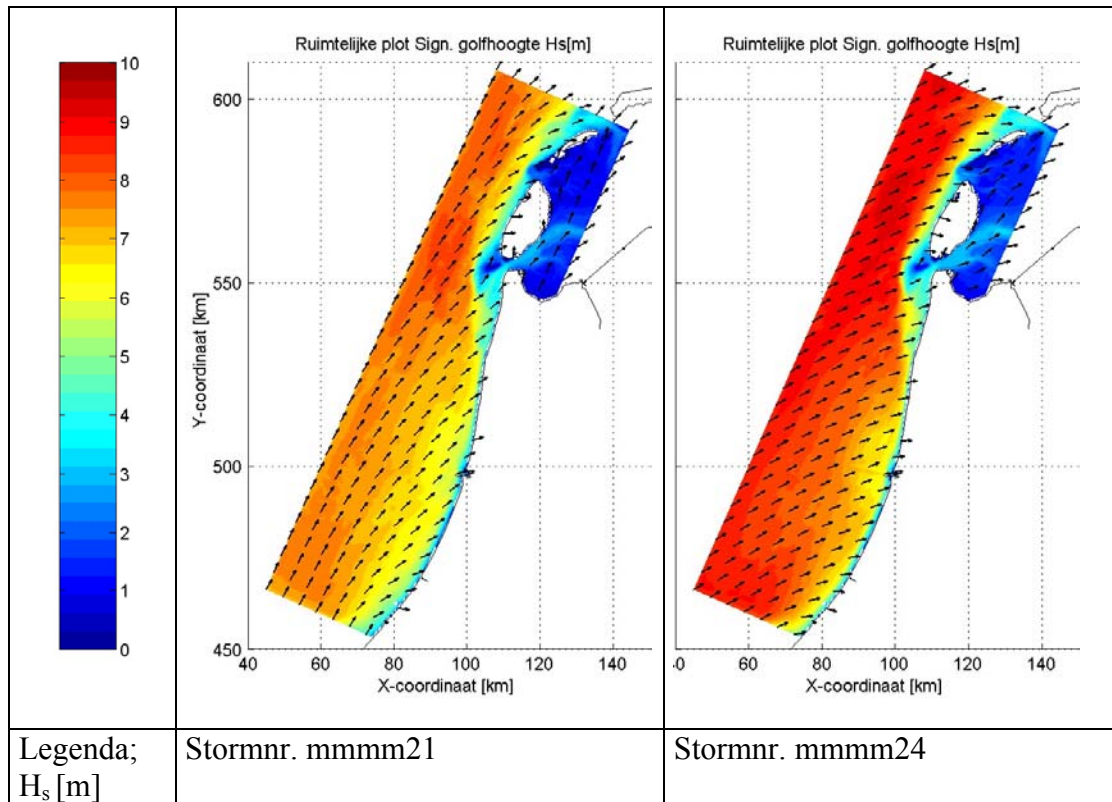
Stormnr. mmmm30 (richting 300)





Stormnr. mmmm33 (richting 330)

## Ruimtelijke plots van de significante golfhoogte.

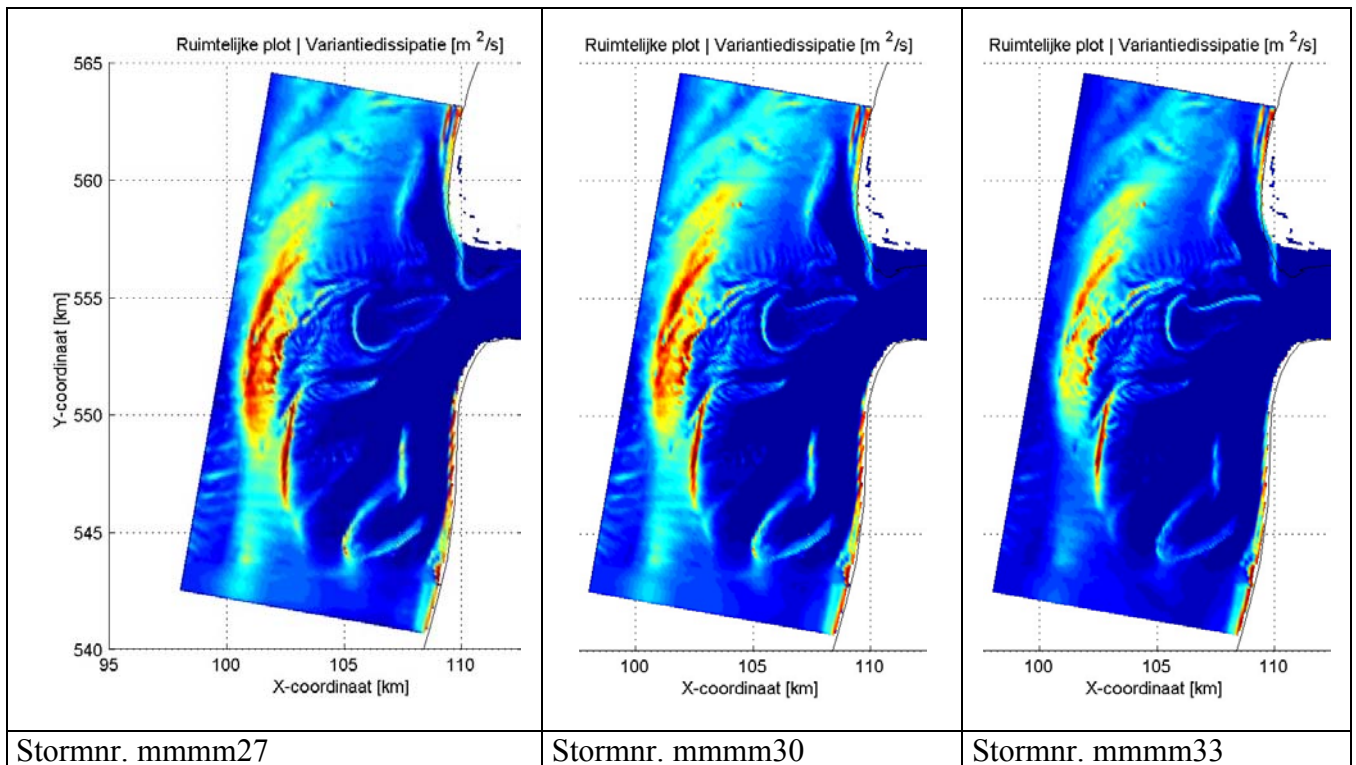
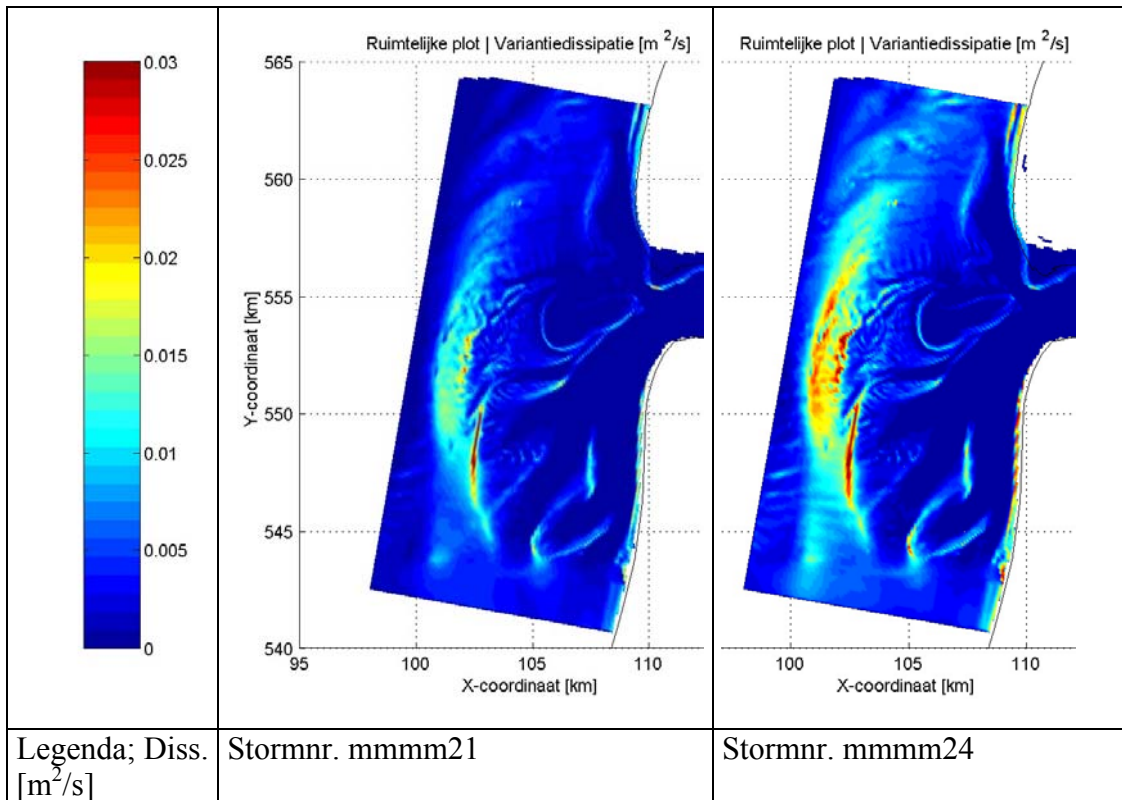


### ***Bijlage 5.3: Uitvoer fijne grid***

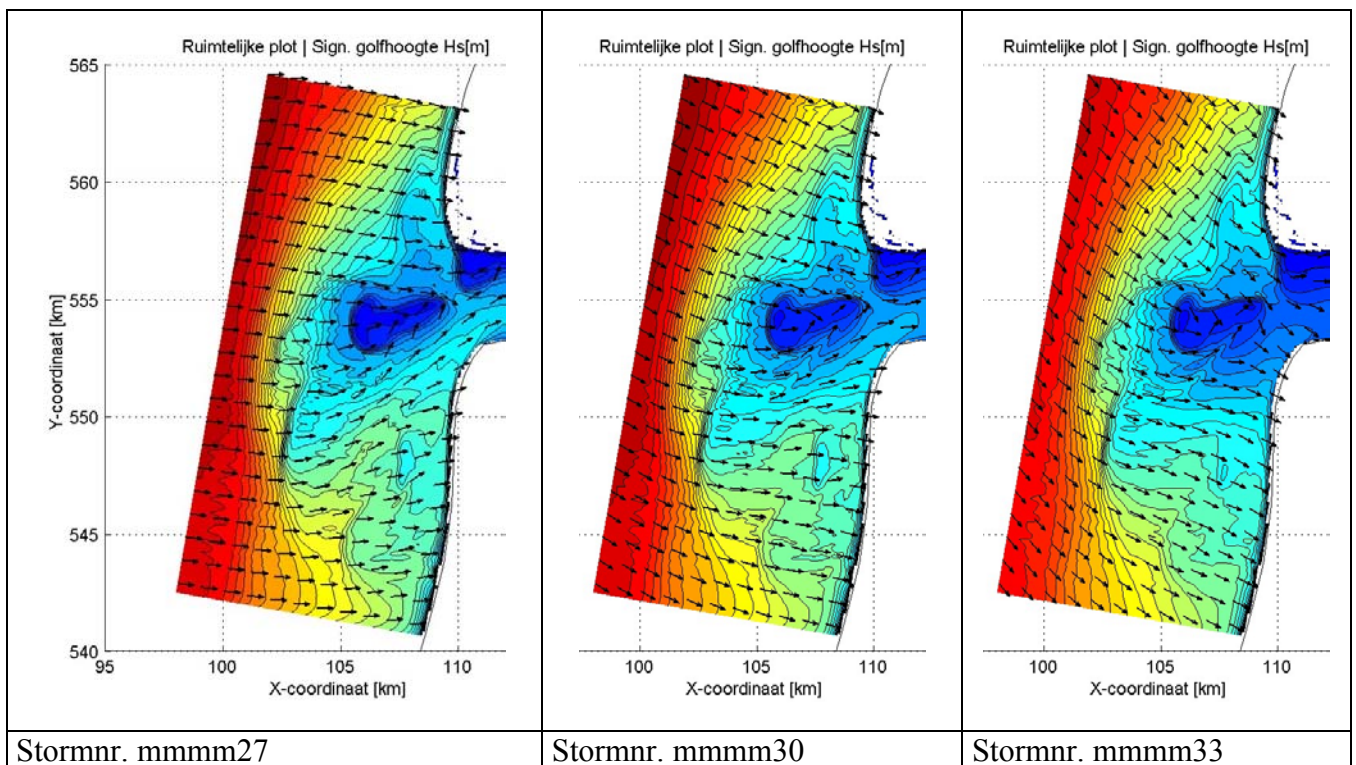
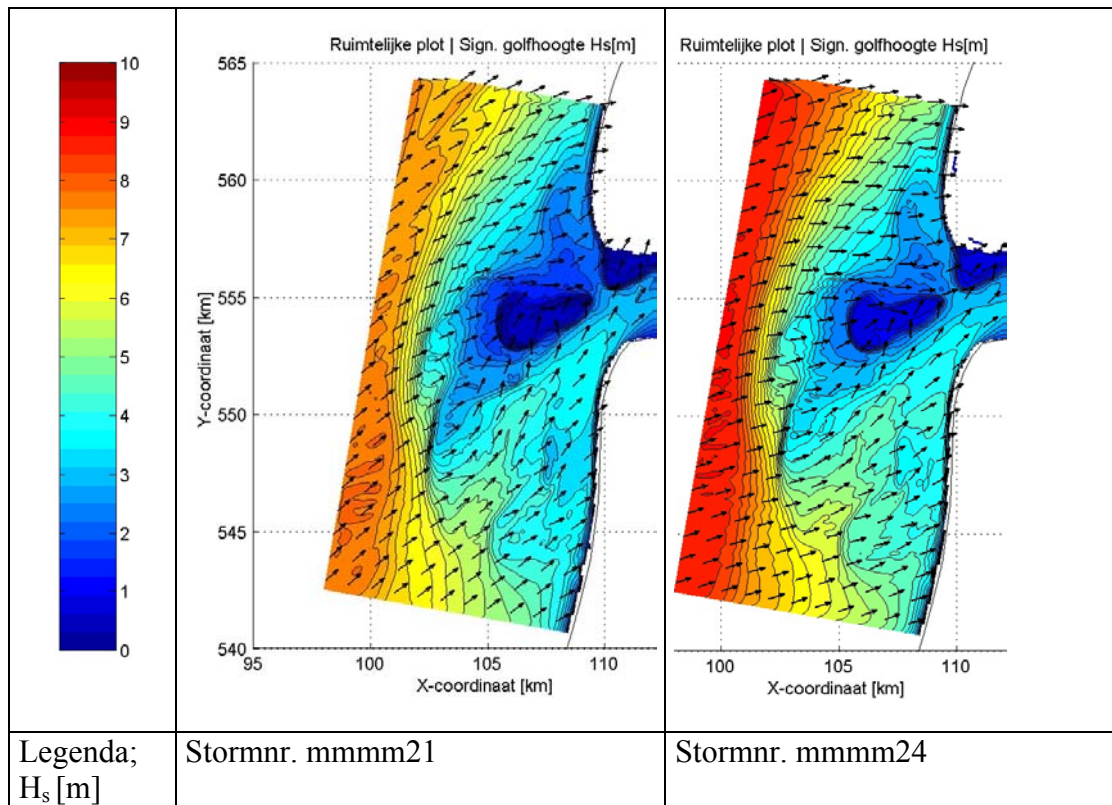
#### **Algemeen**

In de onderstaande figuren is de uitvoer van het fijne grid gegeven (100X100 m<sup>2</sup>). De variantiedissipatieplots zijn weergegeven alsmede de significante golfhoogteplots. De schaalverdeling is aangepast voor de variantiedissipatieplots in vergelijking met de uitvoer van het grove grid. In de figuren voor de significante golfhoogte zijn isolijnen toegevoegd. Deze lijnen maken bij een zuid westelijke wind de golfgeleiding door de geulen zichtbaar.

## Ruimtelijke plots van de variantiedissipatie



## Ruimtelijke plot van de significante golfhoogte



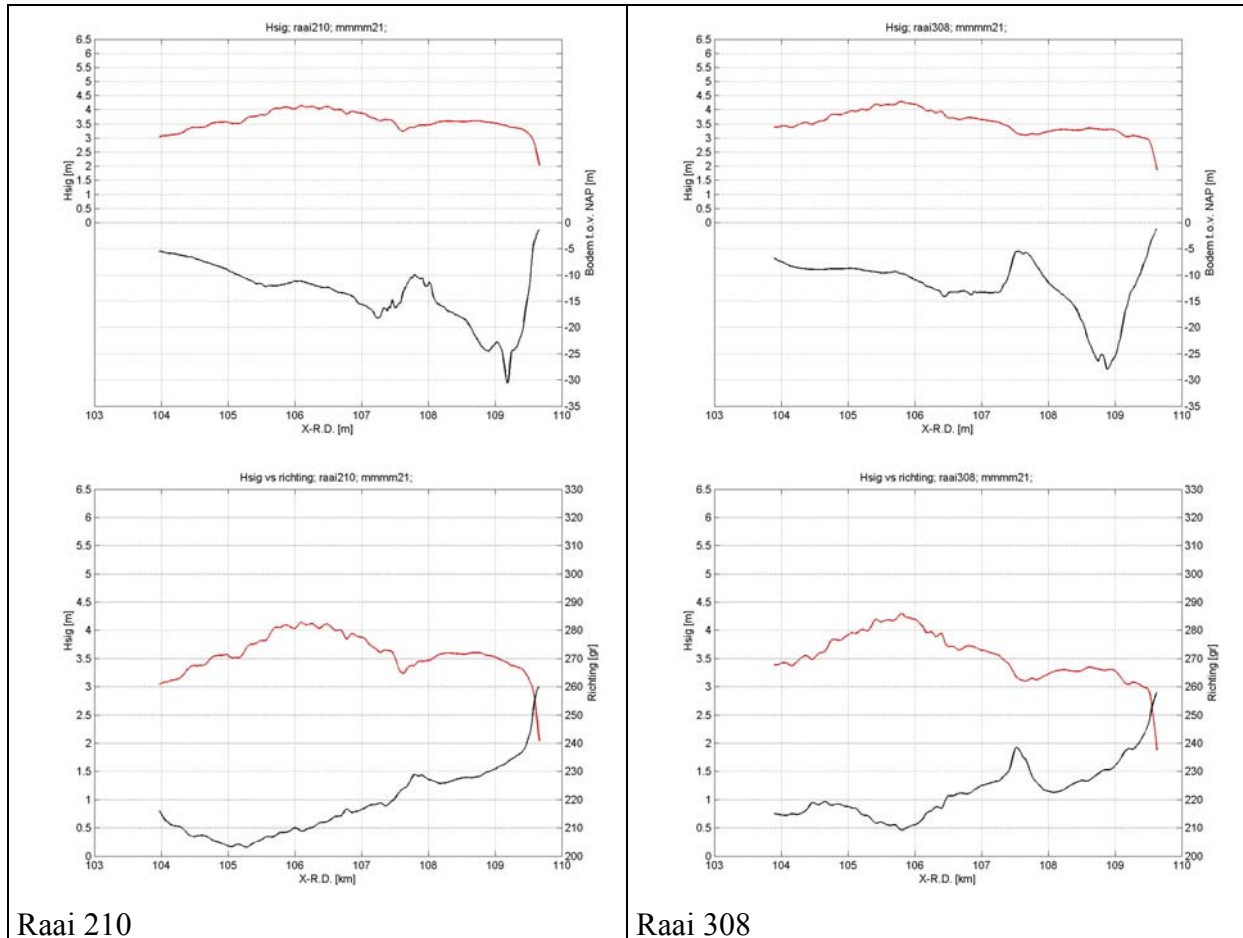
## Bijlage 5.4: Uitvoer detailgrid

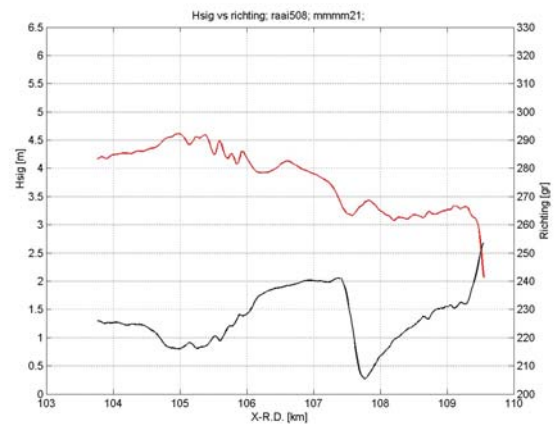
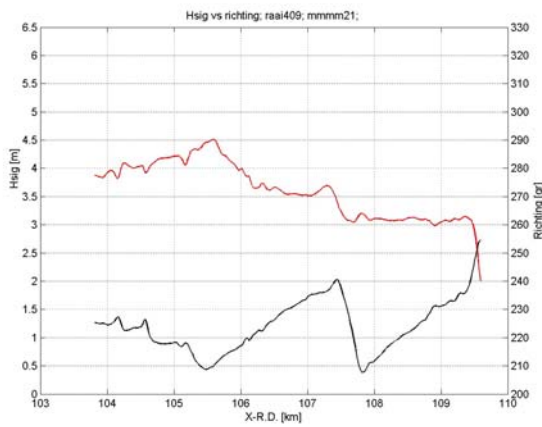
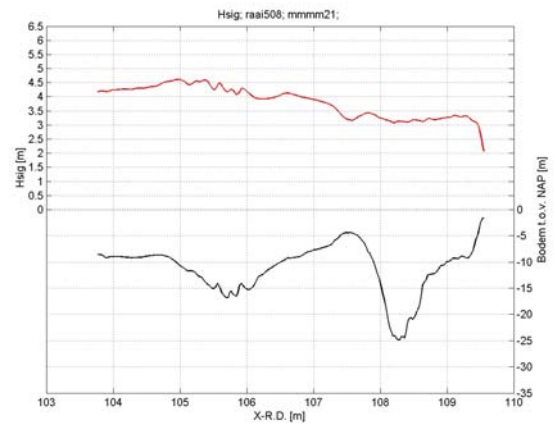
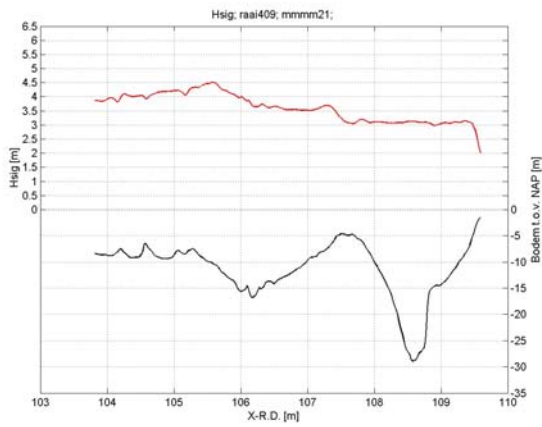
### Algemeen

In deze bijlage wordt per (M-klasse) storm de uitvoer gegeven van de significante golfhoogte langs de verschillende raaien. De significante golfhoogte is hierin uitgezet tegen de bodem diepte en de golfrichting.

### Stormrichting 210

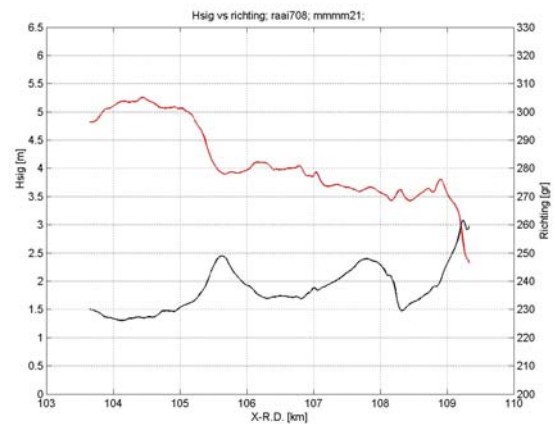
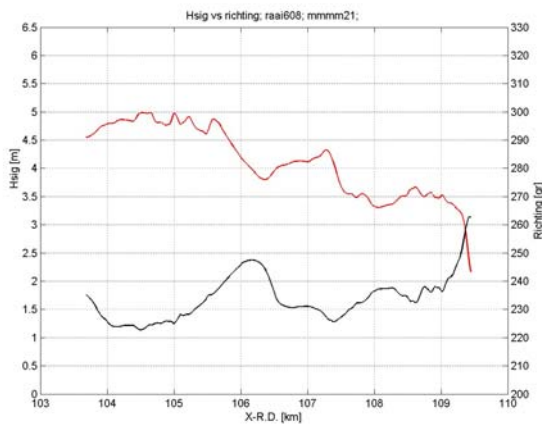
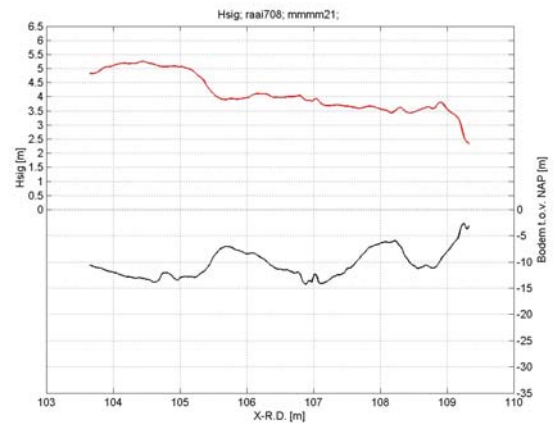
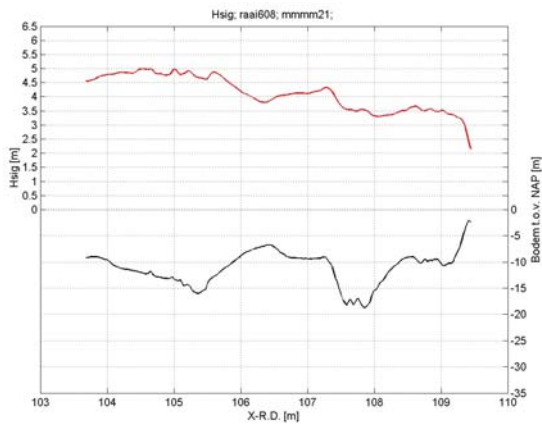
De raaiplots van de significante golfhoogte tijdens een storm uit de richting 210, onttrokken uit de resultaten van het D2 grid (resolutie: 25x25 m<sup>2</sup>)





Raai 409

Raai 508



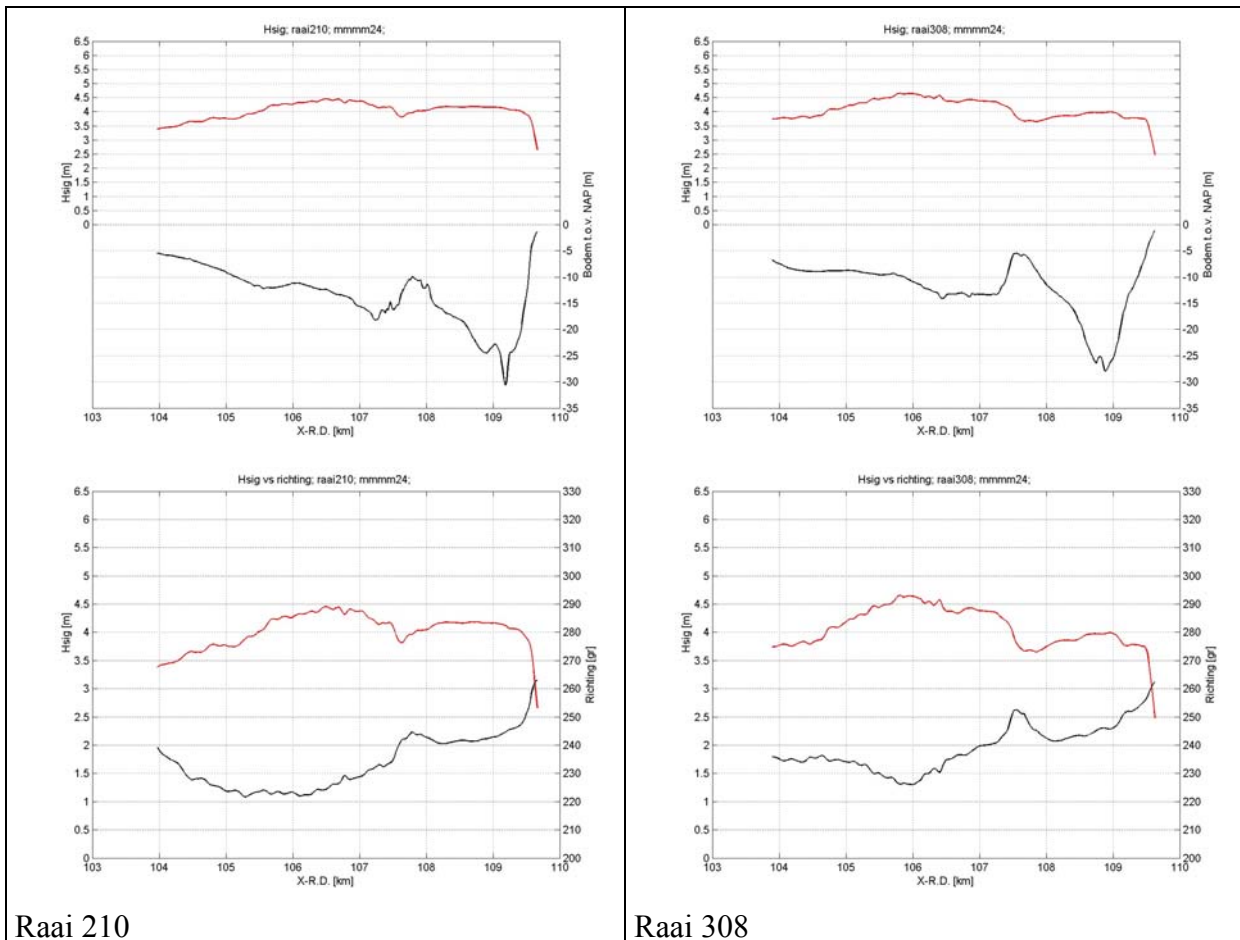
Raai 608

Raai 708



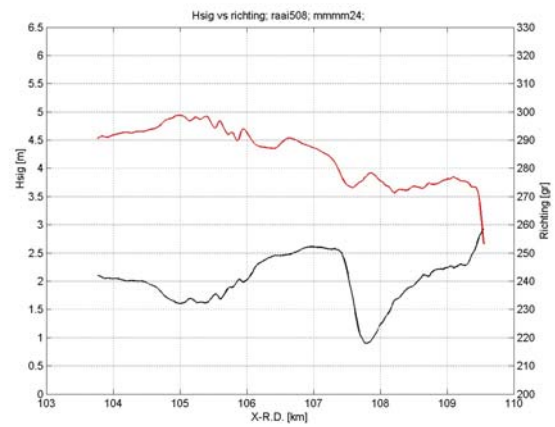
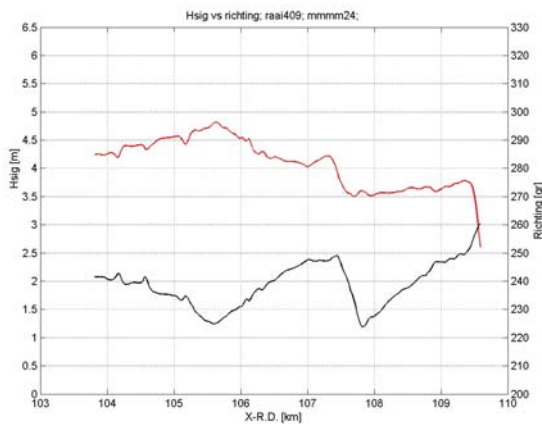
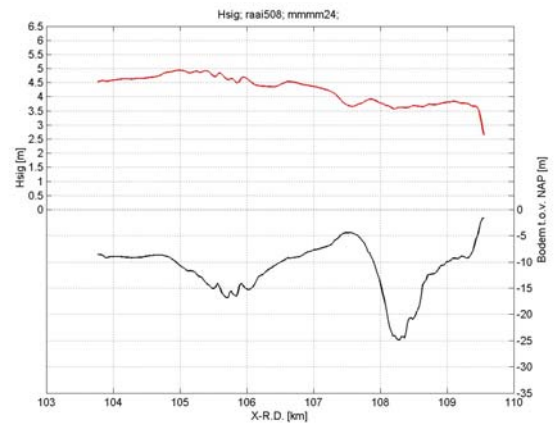
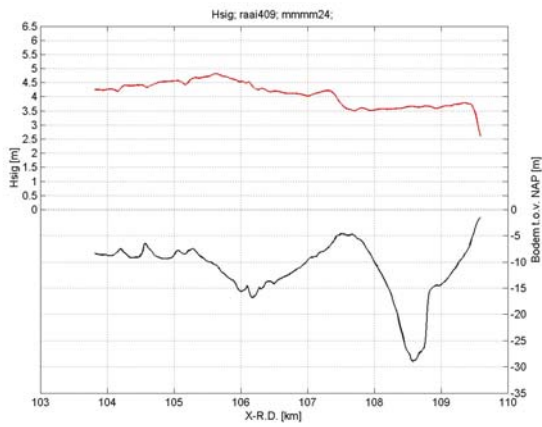
## Stormrichting 240

De raaiplots van de significante golfhoogte tijdens een storm uit de richting 240, onttrokken uit de resultaten van het D2 grid (resolutie: 25x25 m<sup>2</sup>).



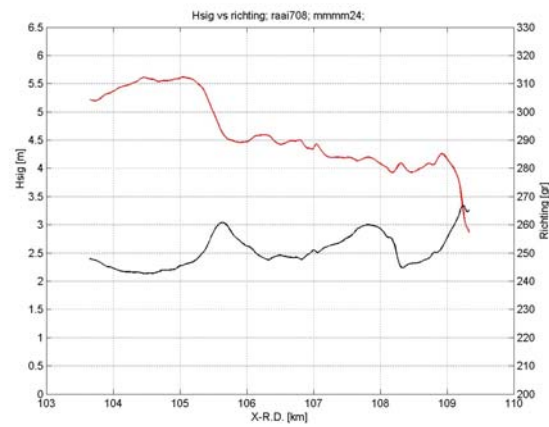
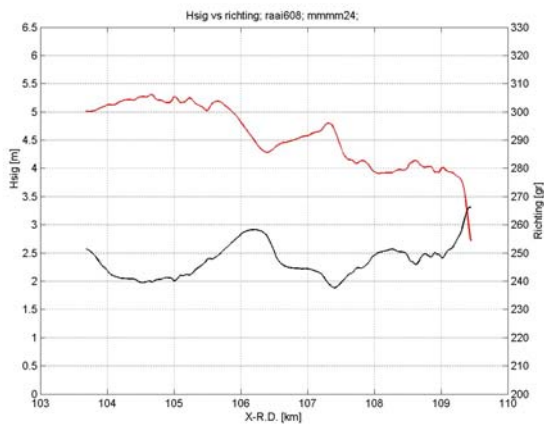
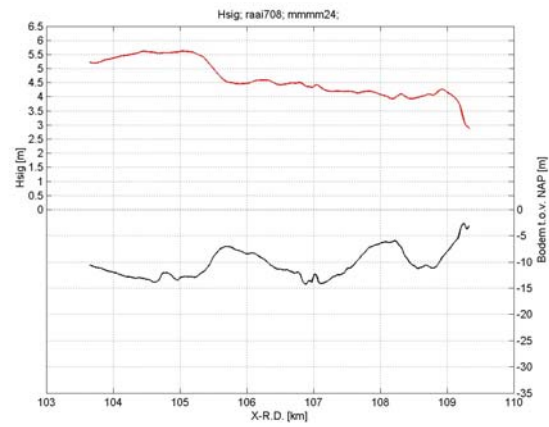
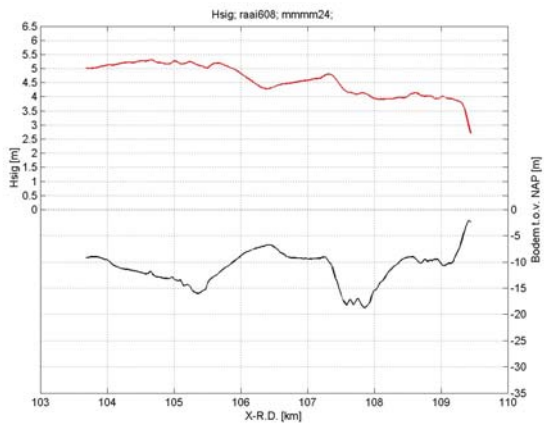
Raai 210

Raai 308



Raai 409

Raai 508

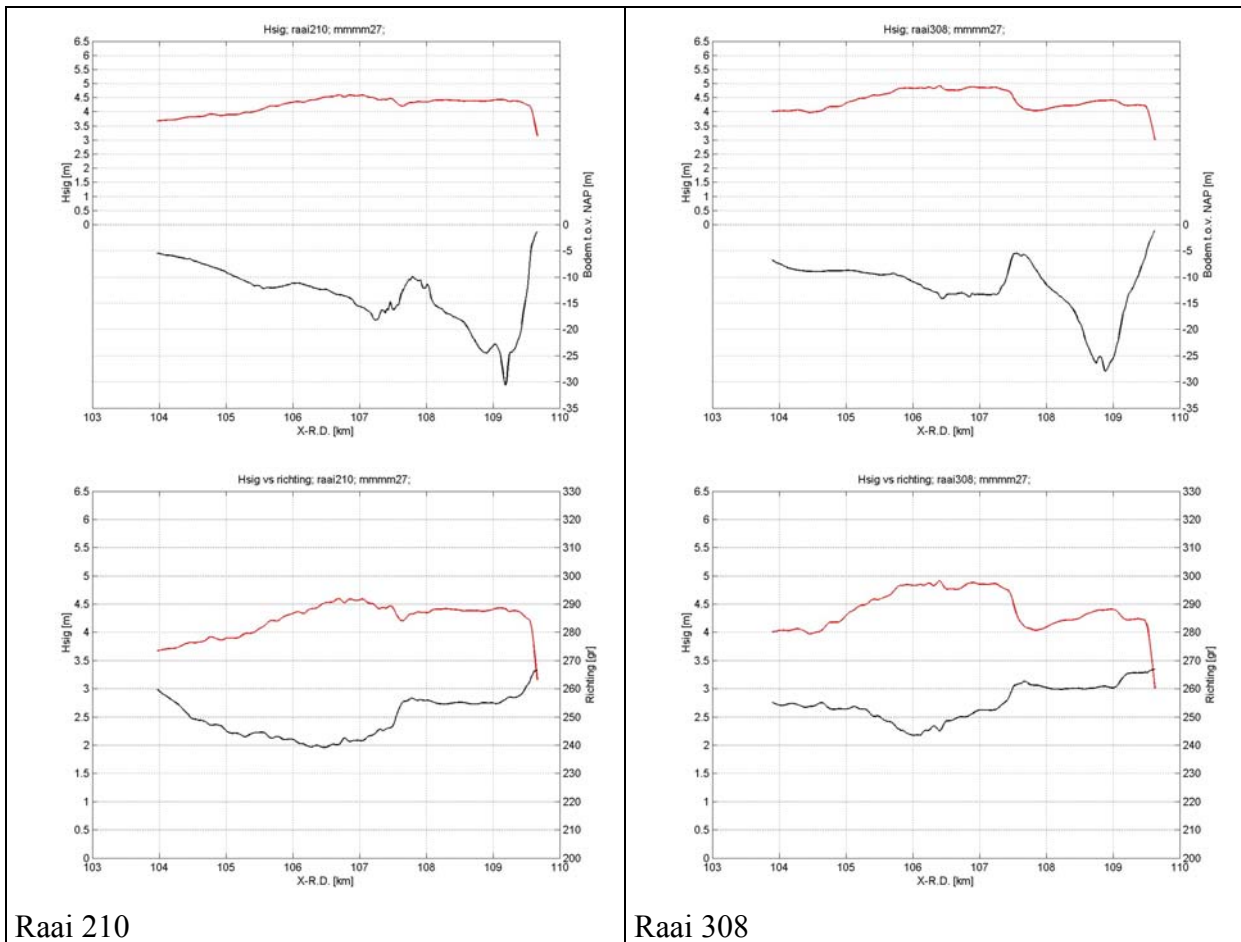


Raai 608

Raai 708

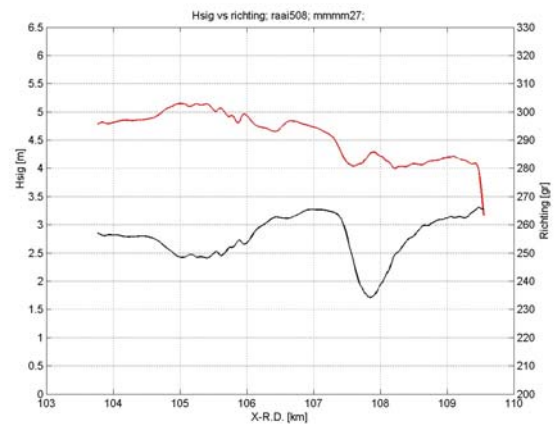
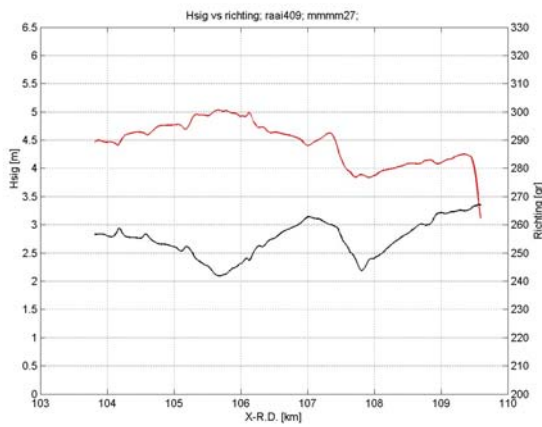
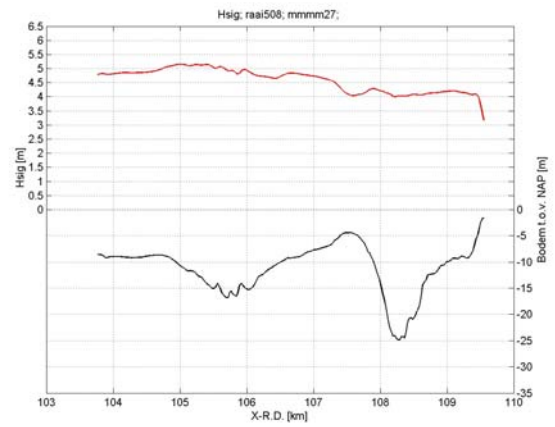
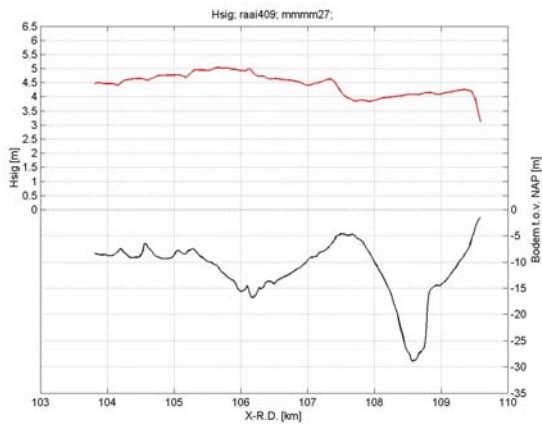
## Stormrichting 270

De raaiplots van de significante golfhoogte tijdens een storm uit de richting 270, onttrokken uit de resultaten van het D2 grid (resolutie: 25x25 m<sup>2</sup>).



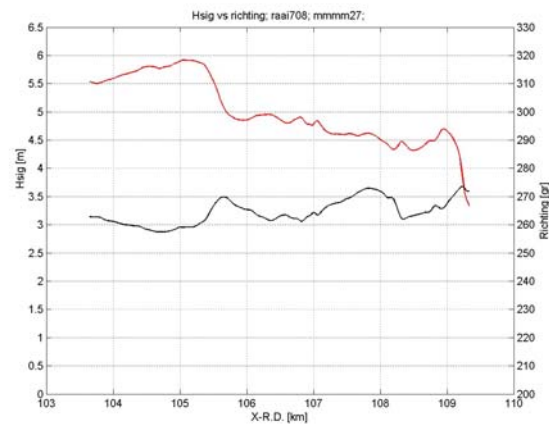
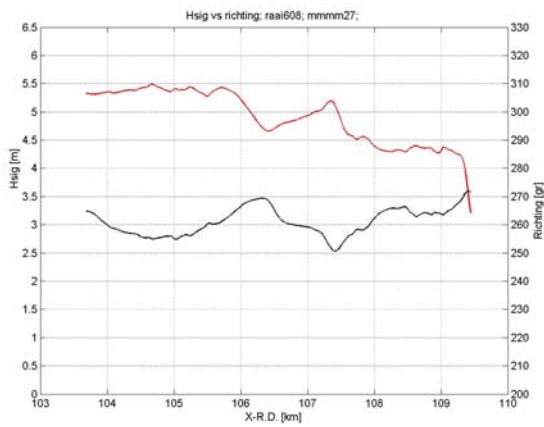
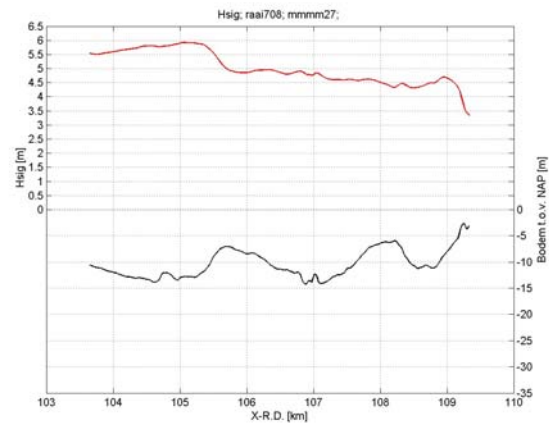
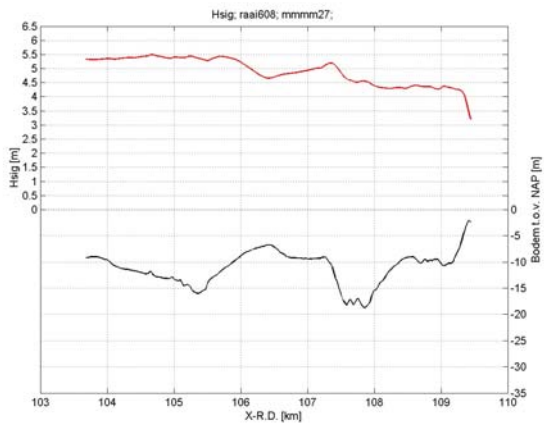
Raai 210

Raai 308



Raai 409

Raai 508

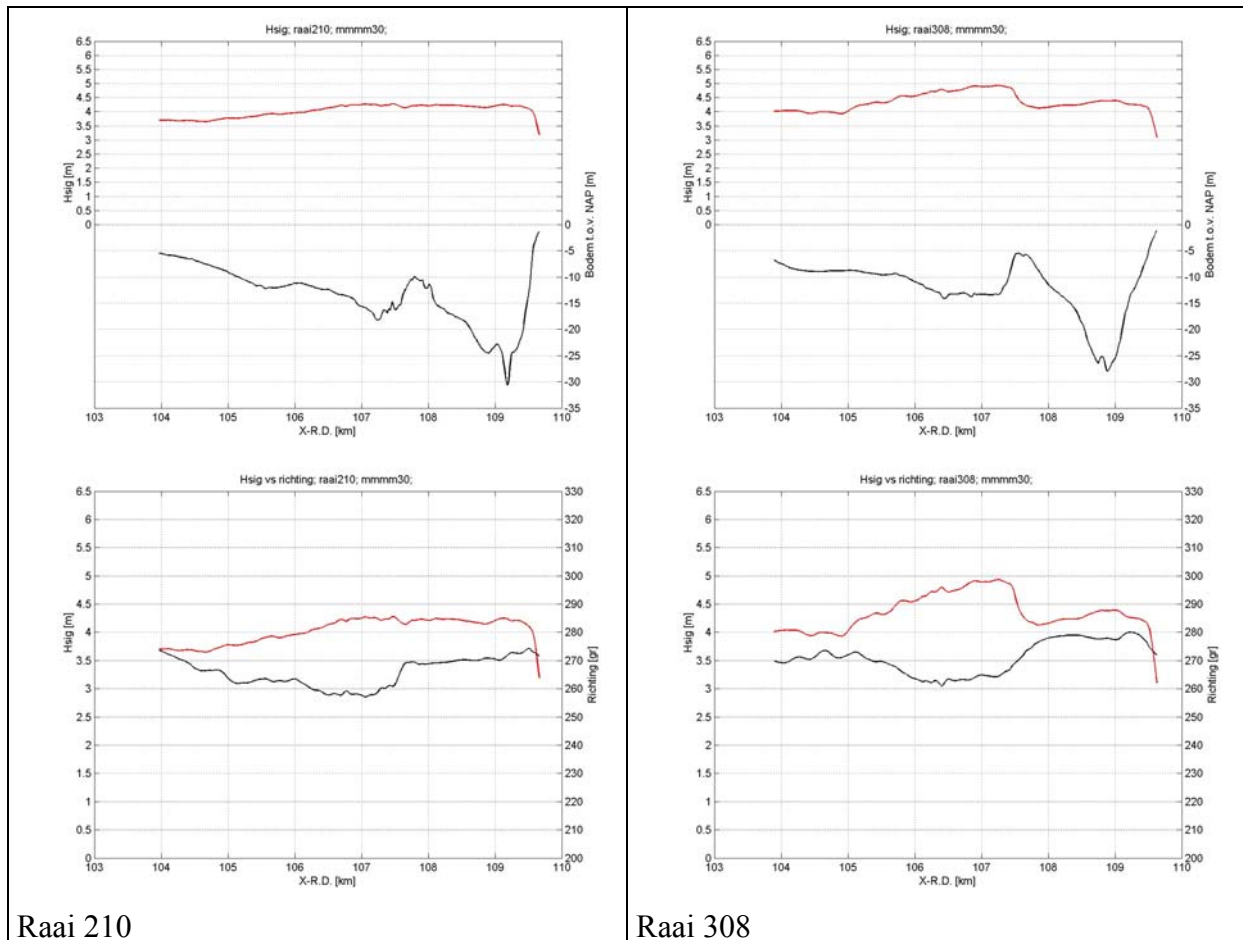


Raai 608

Raai 708

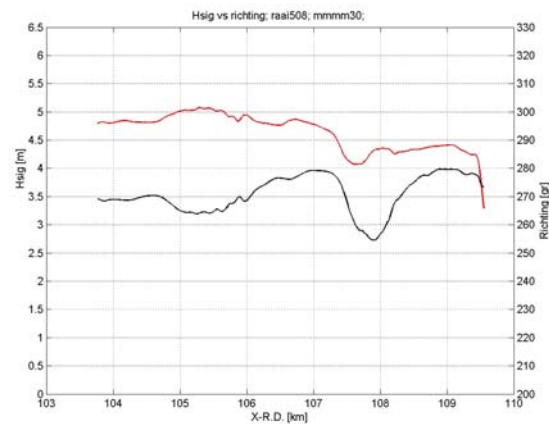
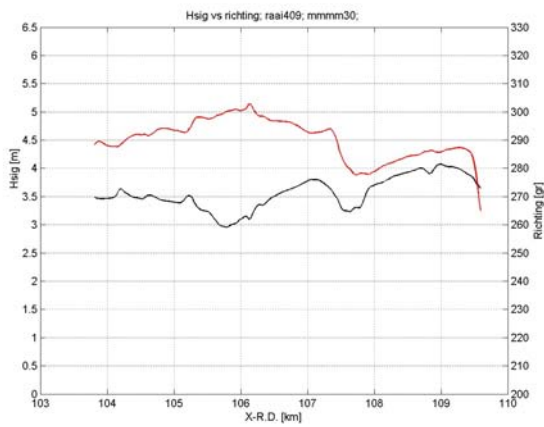
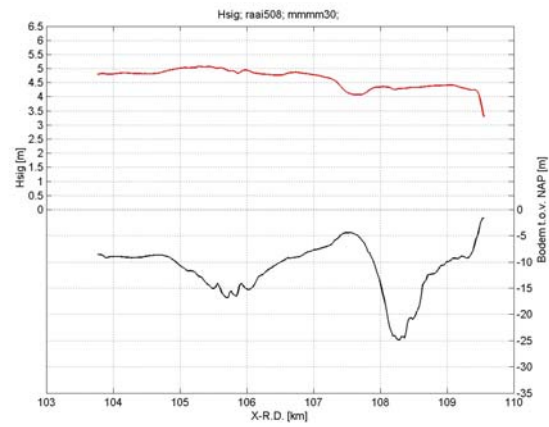
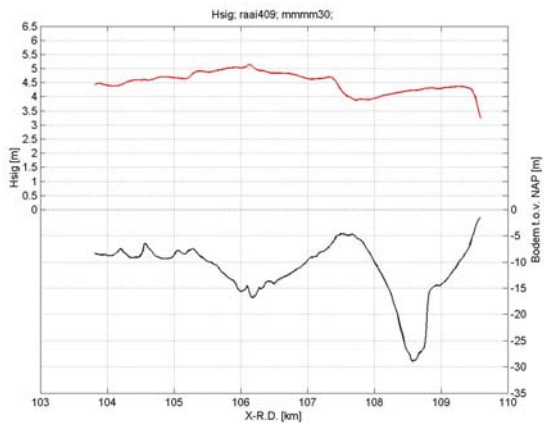
## Stormrichting 300

De raaiplots van de significante golfhoogte tijdens een storm uit de richting 300, onttrokken uit de resultaten van het D2 grid (resolutie: 25x25 m<sup>2</sup>).



Raai 210

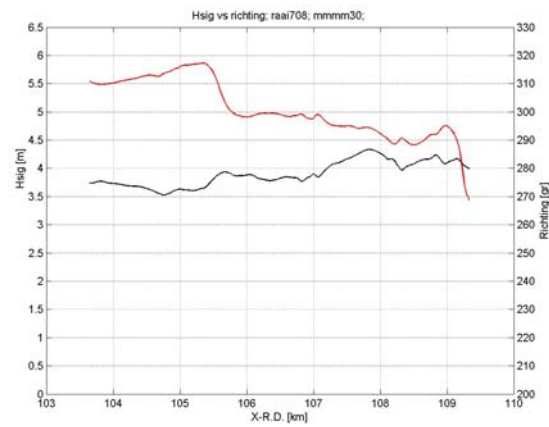
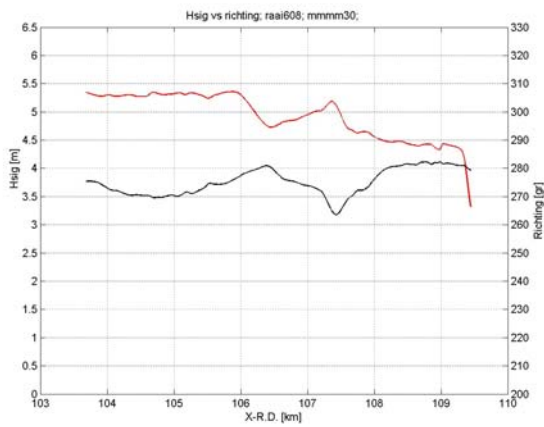
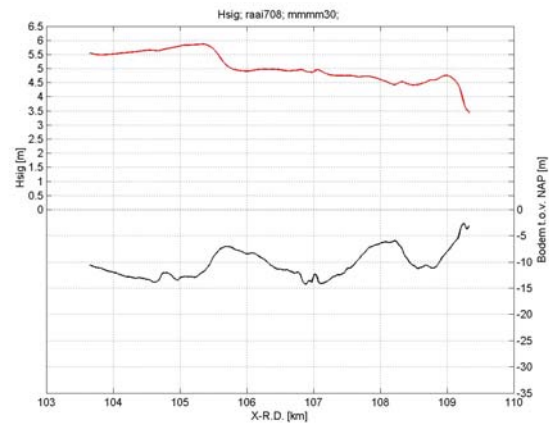
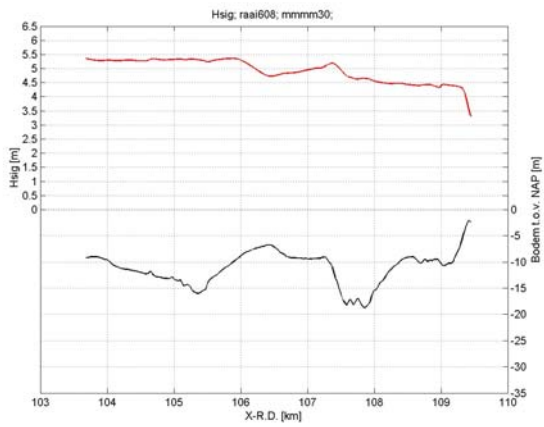
Raai 308



Raai 409

Raai 508



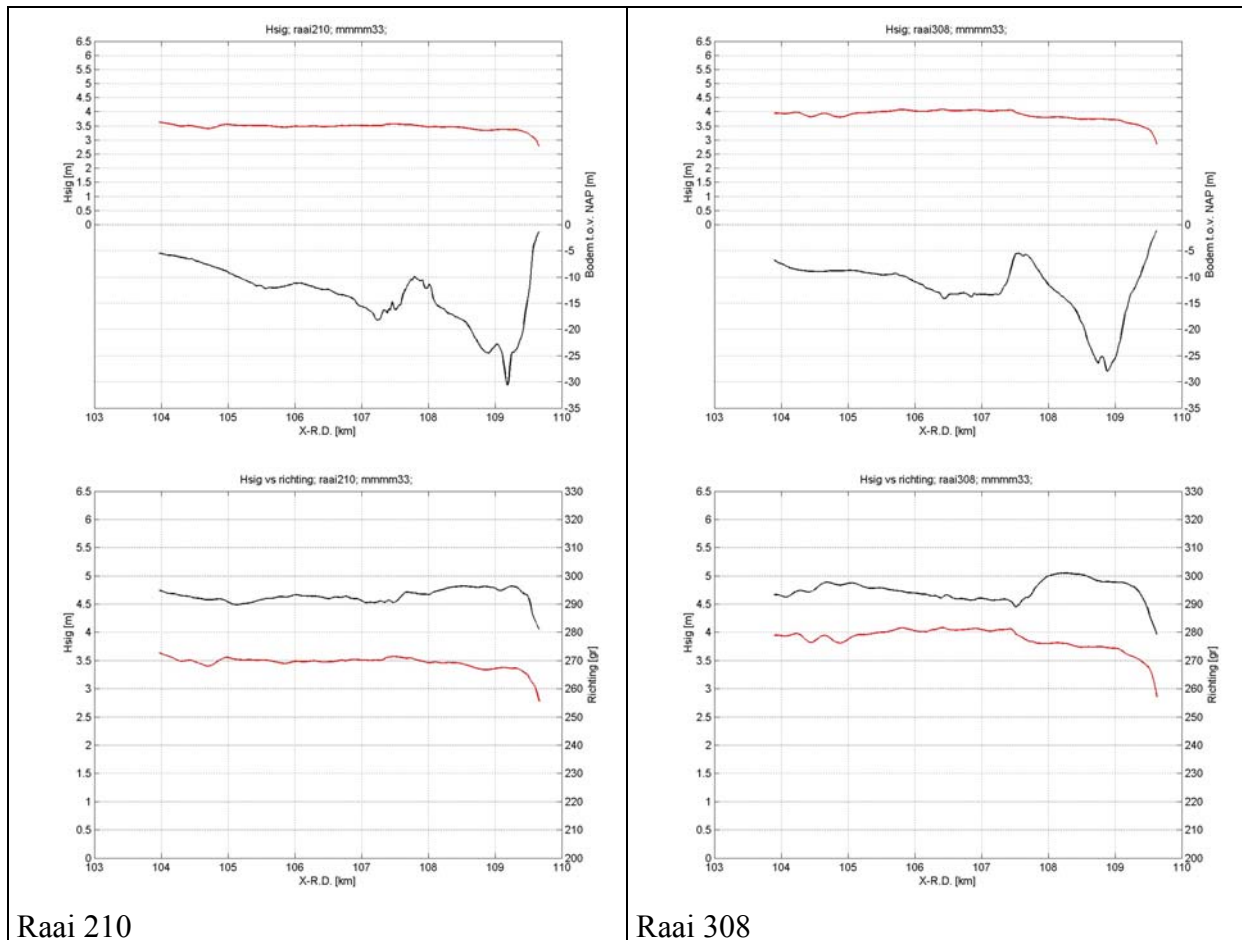


Raai 608

Raai 708

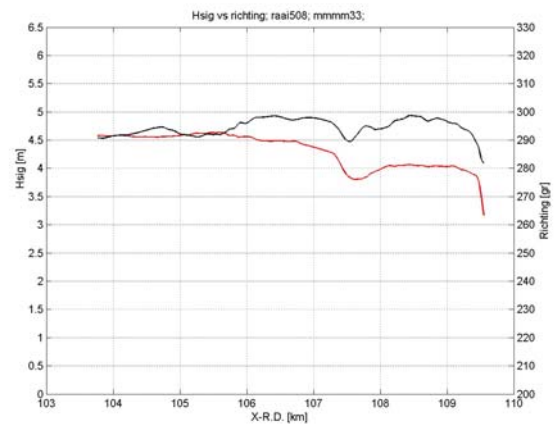
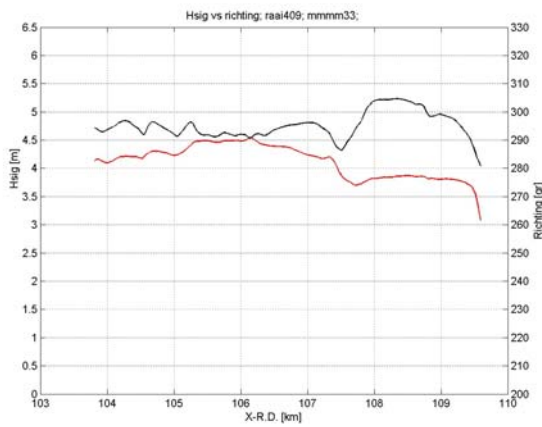
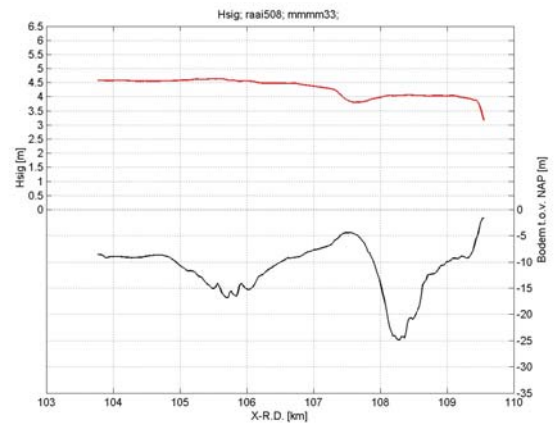
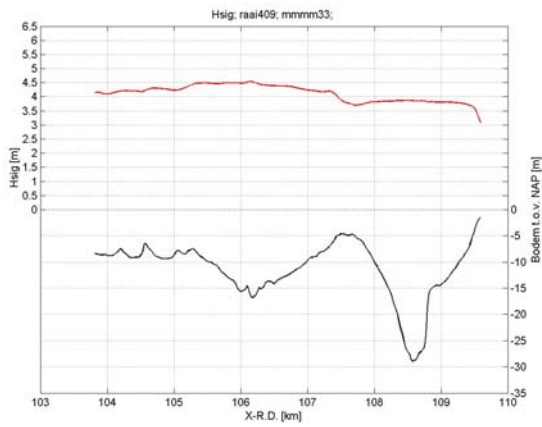
## Stormrichting 330

De raaiplots van de significante golfhoogte tijdens een storm uit de richting 330, onttrokken uit de resultaten van het D2 grid (resolutie: 25x25 m<sup>2</sup>).



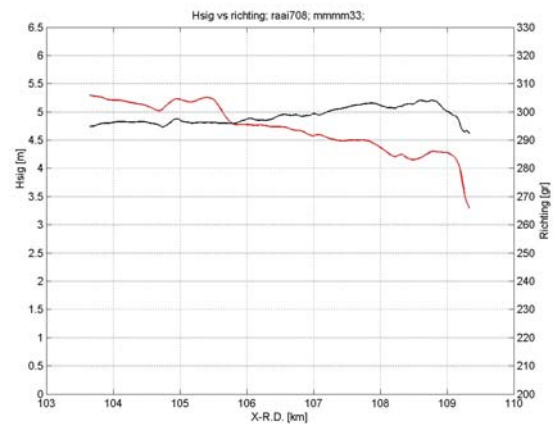
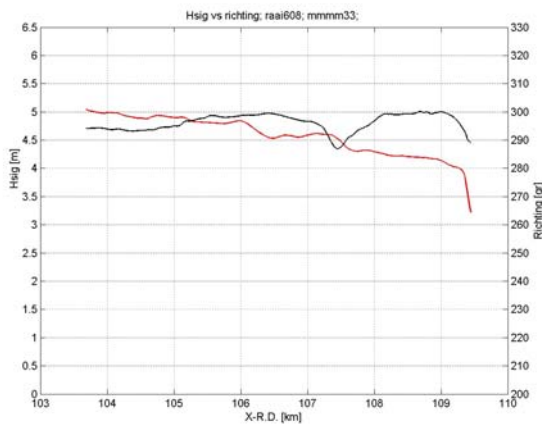
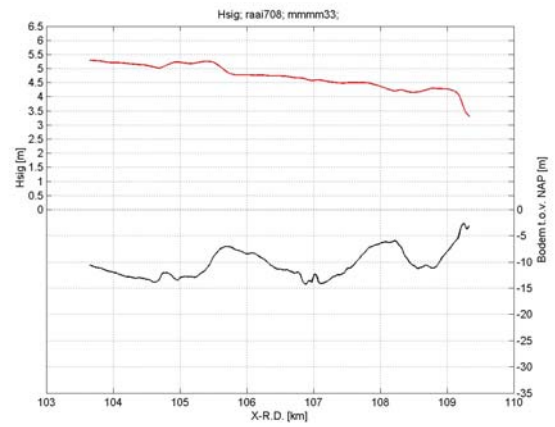
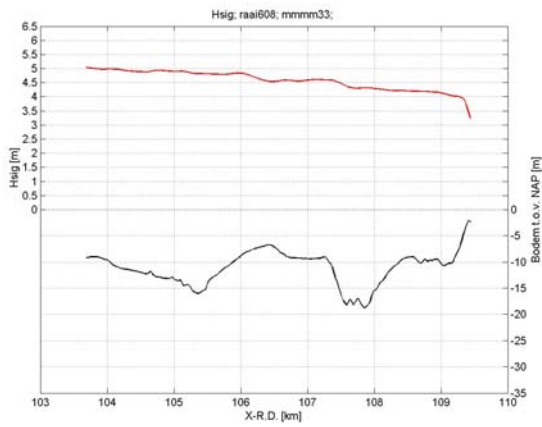
Raai 210

Raai 308



Raai 409

Raai 508



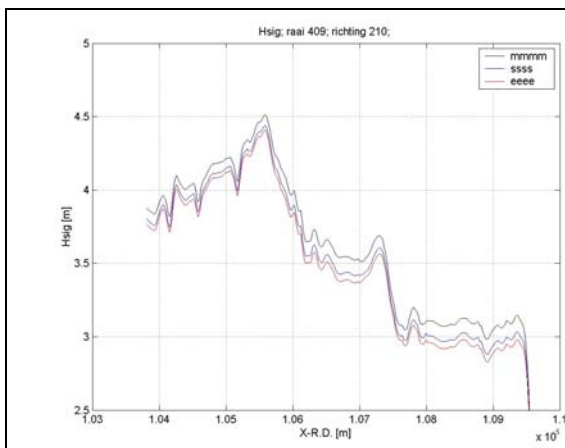
Raai 608

Raai 708

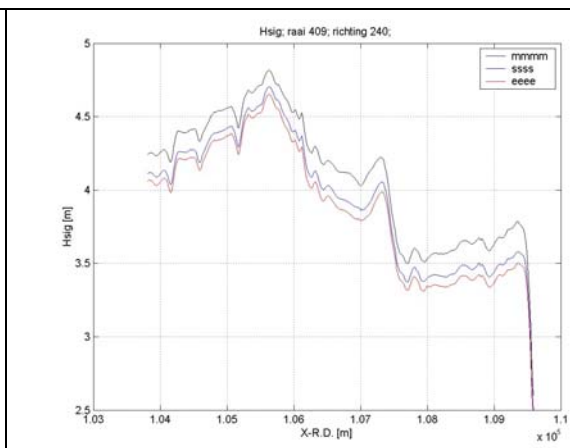
## Bijlage 5.5: Invloed van de stormklasse op de significante golfhoogte

### Algemeen

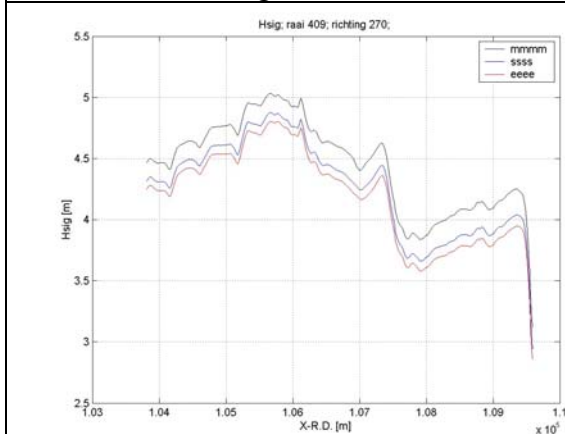
In voorgaande bijlagen is de uitvoer beschreven aan de hand van de M-klasse stormen. De uitvoer van de S en E-klasse stormen zijn niet gepresenteerd. De reden dat alleen de M-klasse stormen zijn gepresenteerd is dat aan de hand van deze klassen al duidelijk gemaakt kan worden wat de invloed van de voordelta is op het golfveld. De uitvoer van de S en E-klasse laat geen onverwacht beeld zien. De golfhoogte is lager als gevolg van het mildere stormklimaat. In de onderstaande figuren is de uitvoer van de significante golfhoogte van de verschillende klassen te zien per stormrichting. Deze zijn onttrokken uit de resultaten van het D2-grid. (25x25 m<sup>2</sup>).



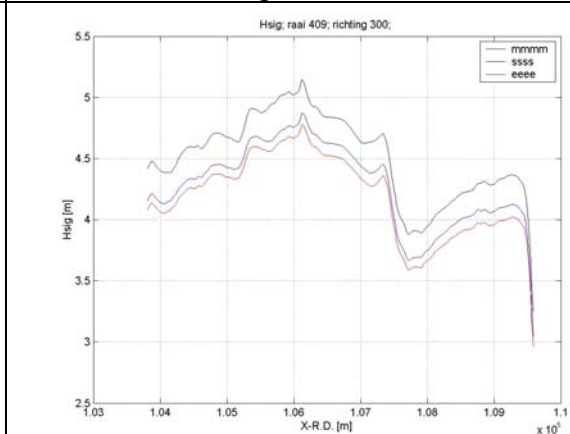
Stormen uit richting 210



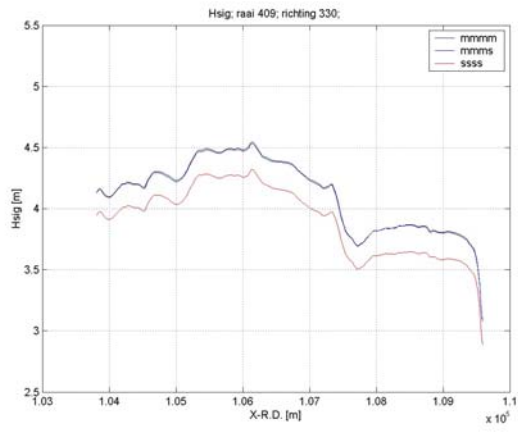
Stormen uit richting 240



Stormen uit richting 270



Stormen uit richting 300

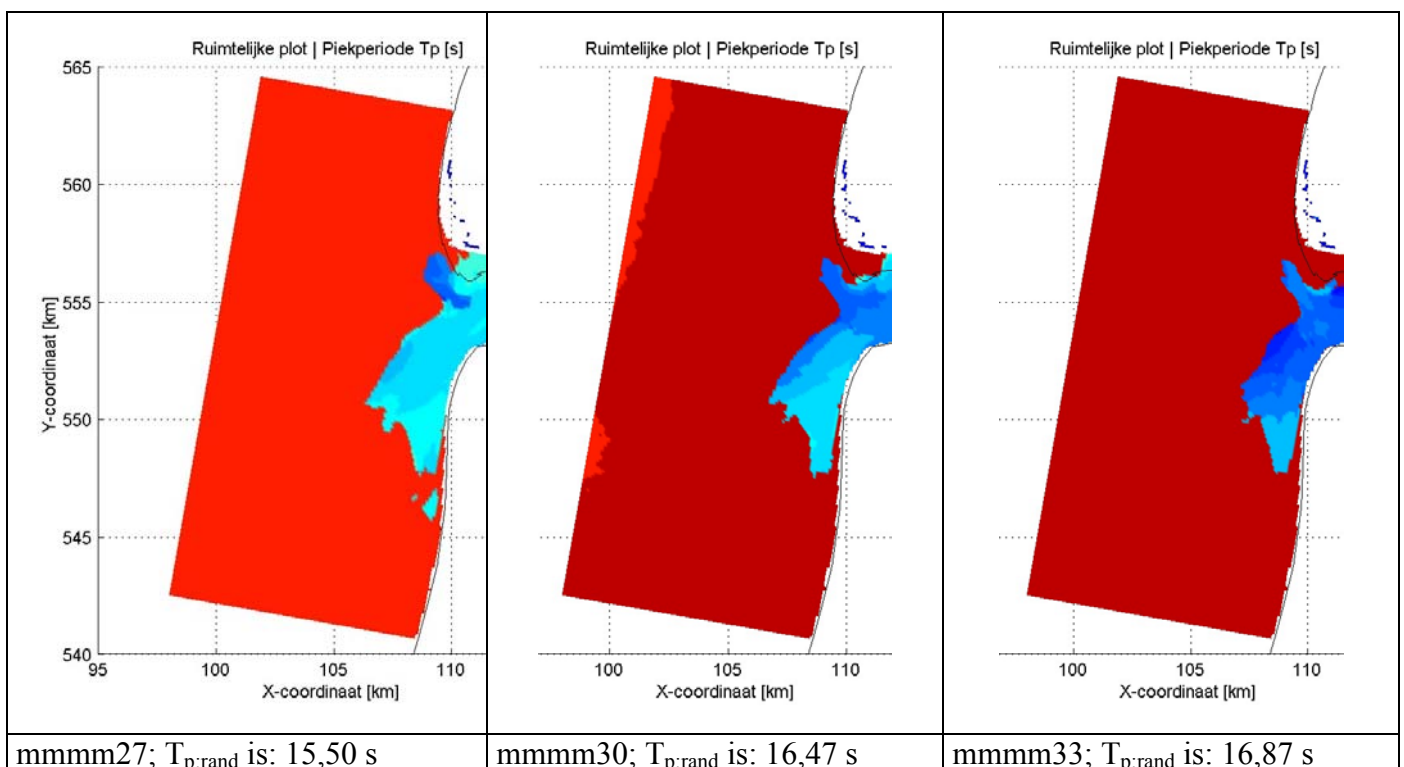
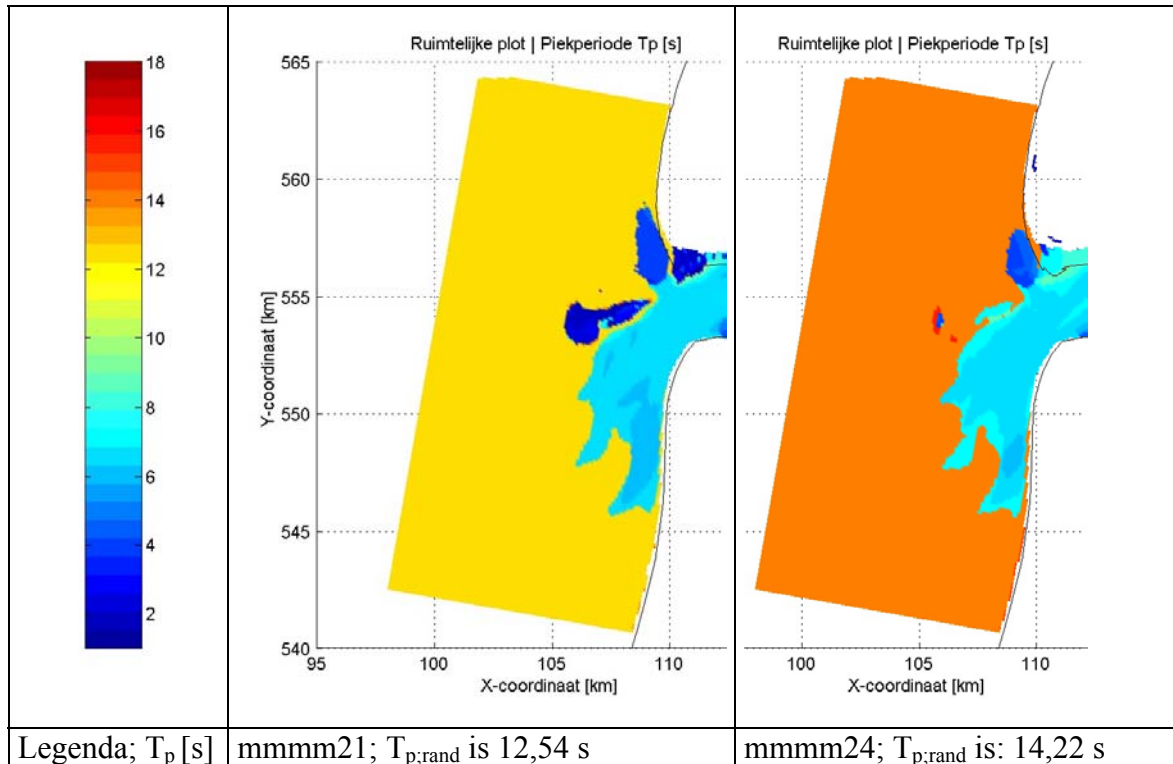


Stormen uit richting 330

## Bijlage 5.6: Uitvoer van de piekperiode

### Algemeen

In de onderstaande figuren is aan de hand van de uitvoer van het fijne grid (resolutie  $100 \times 100 \text{ m}^2$ ) de piekperiode geplot. De figuren geven de ruimtelijke verdeling van de piekperiode weer voor elke (M-klasse) storm. Onder de figuren staat ook de piekperiode die is opgegeven op de rand van het grove grid.



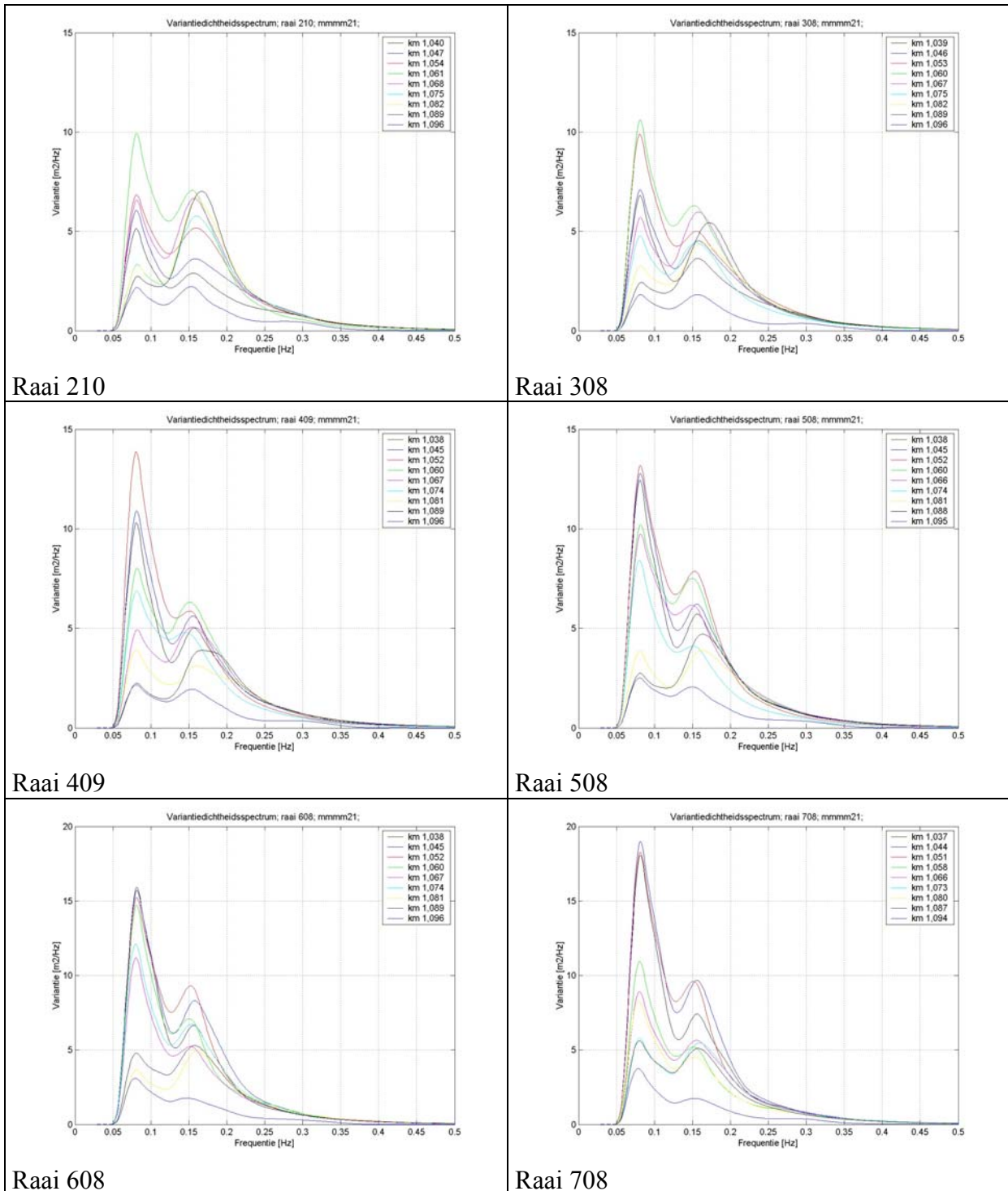
## Bijlage 5.7: Spectrum ontwikkeling langs een raai

### Algemeen

In deze bijlage wordt per (M-klasse) stormrichting de uitvoer gegeven van de ontwikkeling van de variantiedichtheidsspectra richting de kust per per raai.

### Stormrichting 210

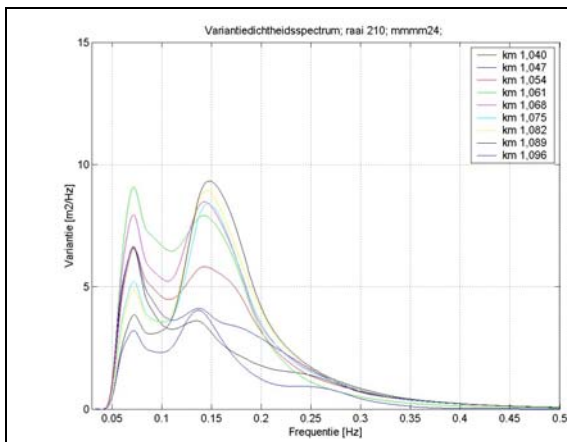
De ontwikkeling van het spectrum richting de kust voor de verschillende raaien tijdens een storm uit de richting 210, onttrokken uit de resultaten van het D2 grid (resolutie: 25x25 m<sup>2</sup>)



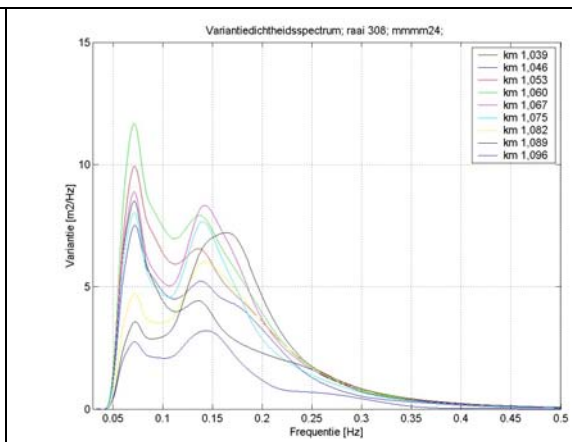


## Stormrichting 240

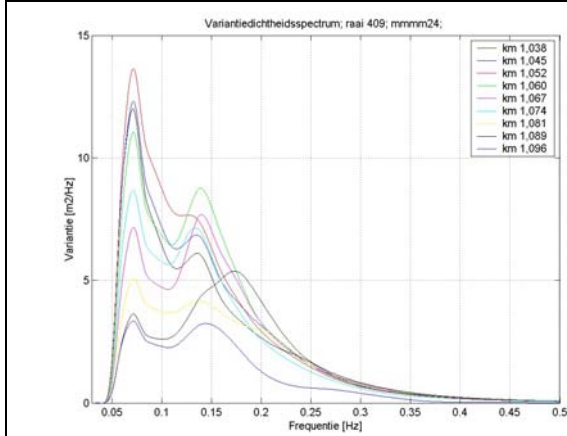
De ontwikkeling van het spectrum richting de kust voor de verschillende raaien tijdens een storm uit de richting 240, onttrokken uit de resultaten van het D2 grid (resolutie: 25x25 m<sup>2</sup>)



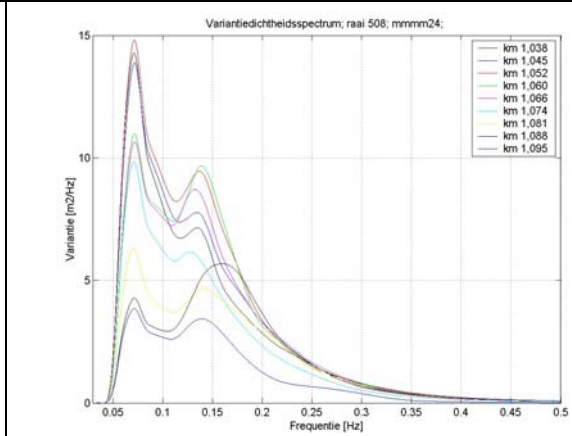
Raai 210



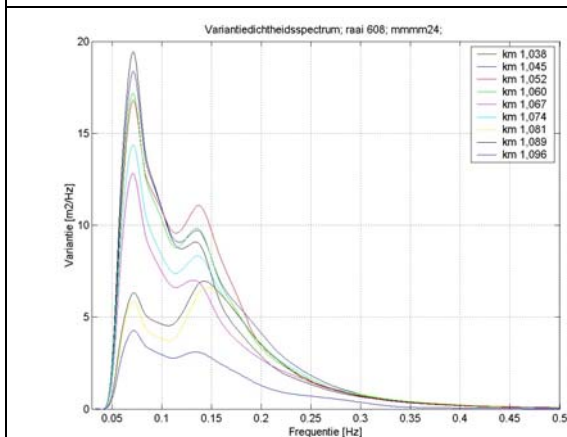
Raai 308



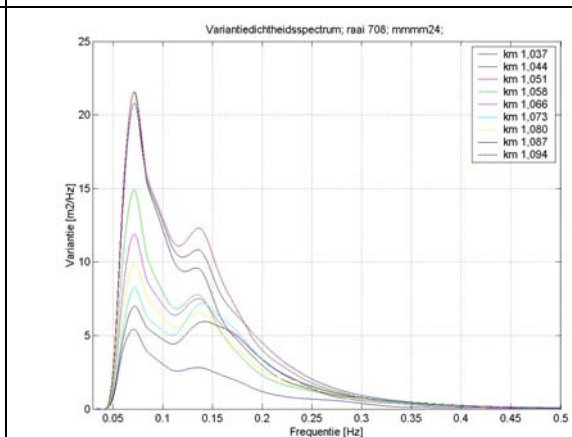
Raai 409



Raai 508



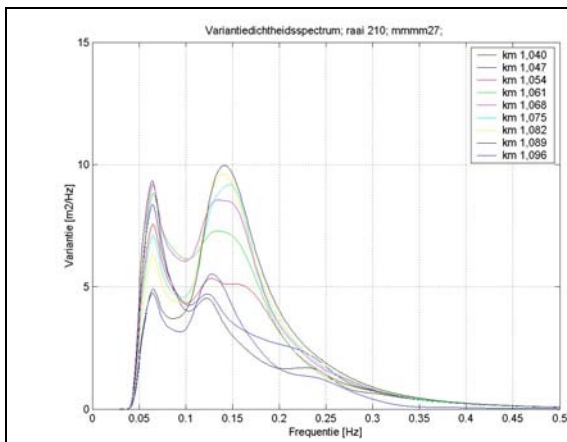
Raai 608



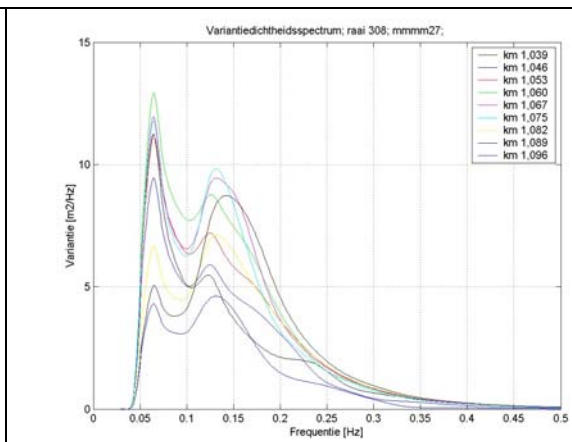
Raai 708

## Stormrichting 270

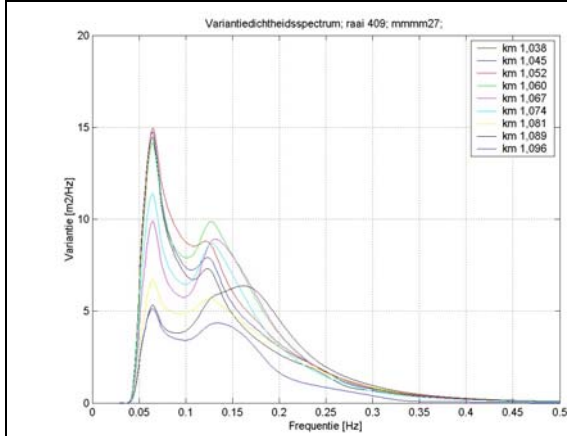
De ontwikkeling van het spectrum richting de kust voor de verschillende raaien tijdens een storm uit de richting 270, onttrokken uit de resultaten van het D2 grid (resolutie: 25x25 m<sup>2</sup>)



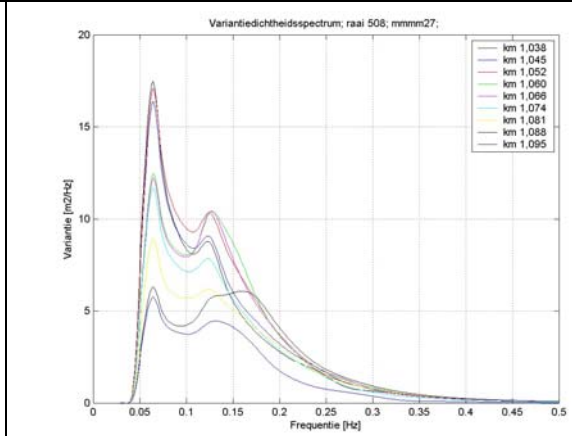
Raai 210



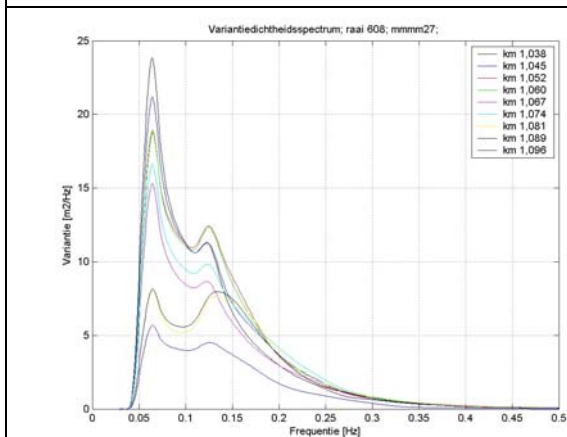
Raai 308



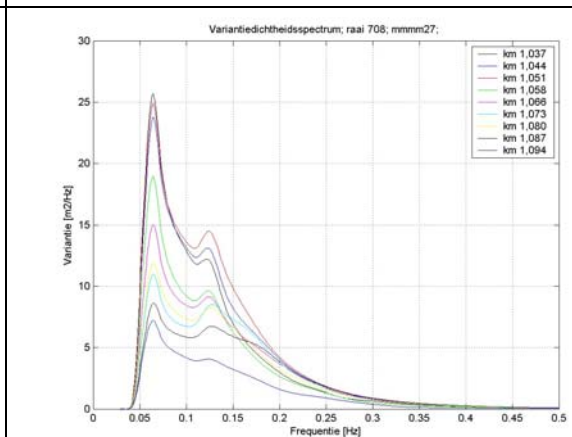
Raai 409



Raai 508



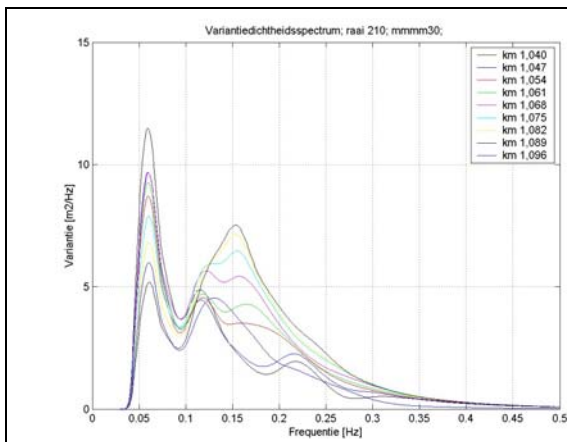
Raai 608



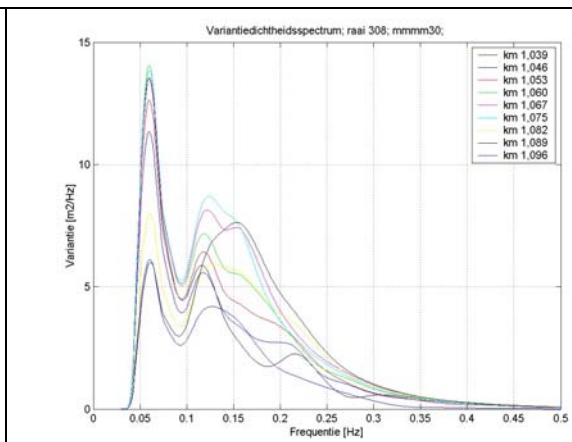
Raai 708

## Stormrichting 300

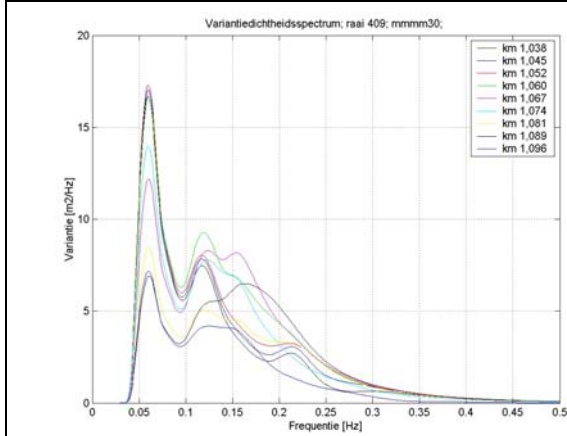
De ontwikkeling van het spectrum richting de kust voor de verschillende raaien tijdens een storm uit de richting 300, onttrokken uit de resultaten van het D2 grid (resolutie: 25x25 m<sup>2</sup>)



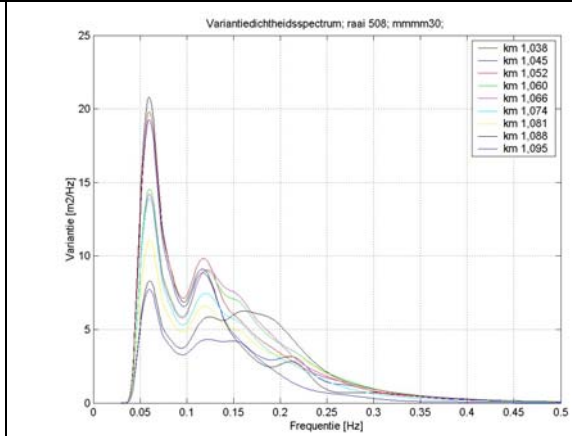
Raai 210



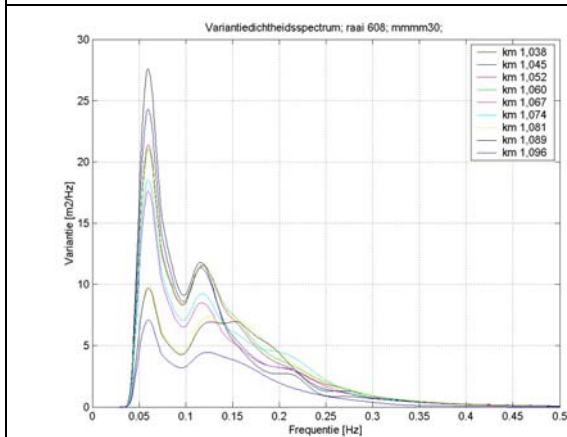
Raai 308



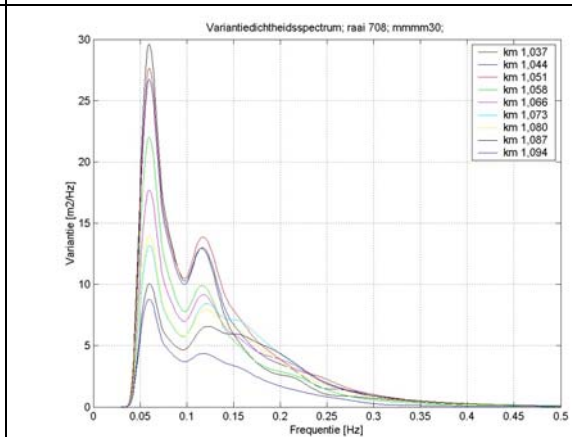
Raai 409



Raai 508



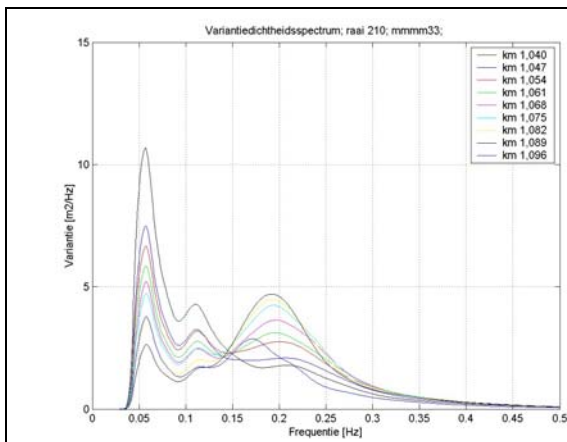
Raai 608



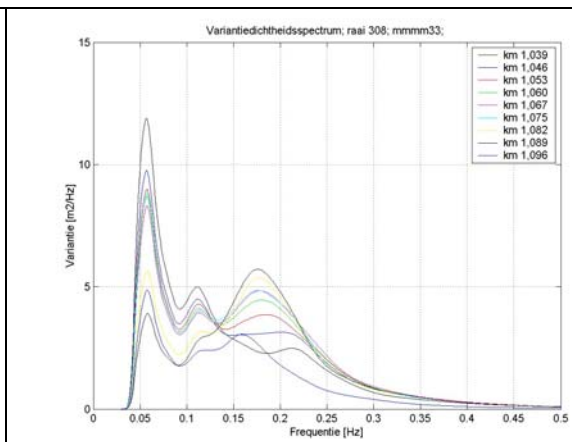
Raai 708

## Stormrichting 330

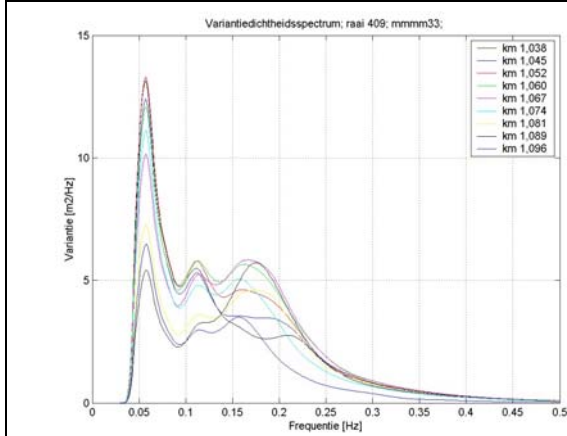
De ontwikkeling van het spectrum richting de kust voor de verschillende raaien tijdens een storm uit de richting 330, onttrokken uit de resultaten van het D2 grid (resolutie: 25x25 m<sup>2</sup>)



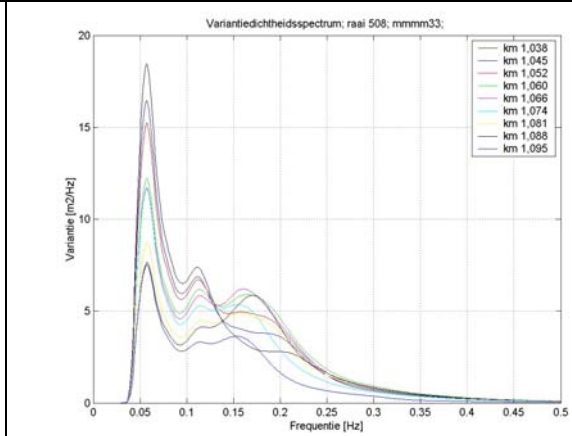
Raai 210



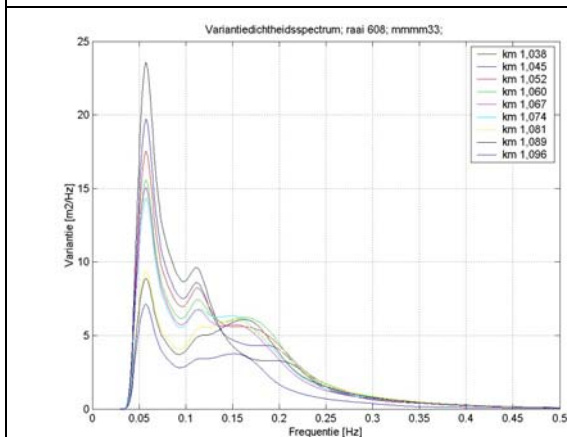
Raai 308



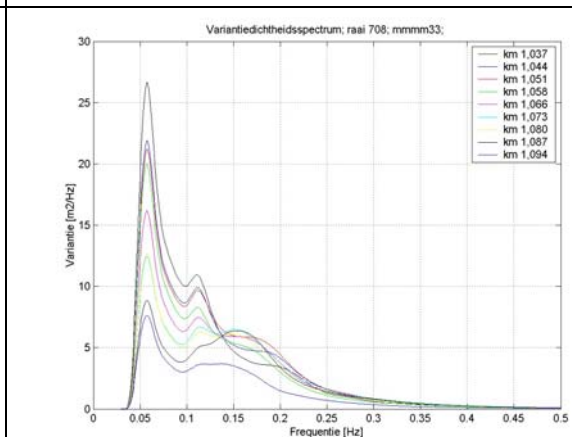
Raai 409



Raai 508



Raai 608



Raai 708

## **Bijlagen hoofdstuk 6**

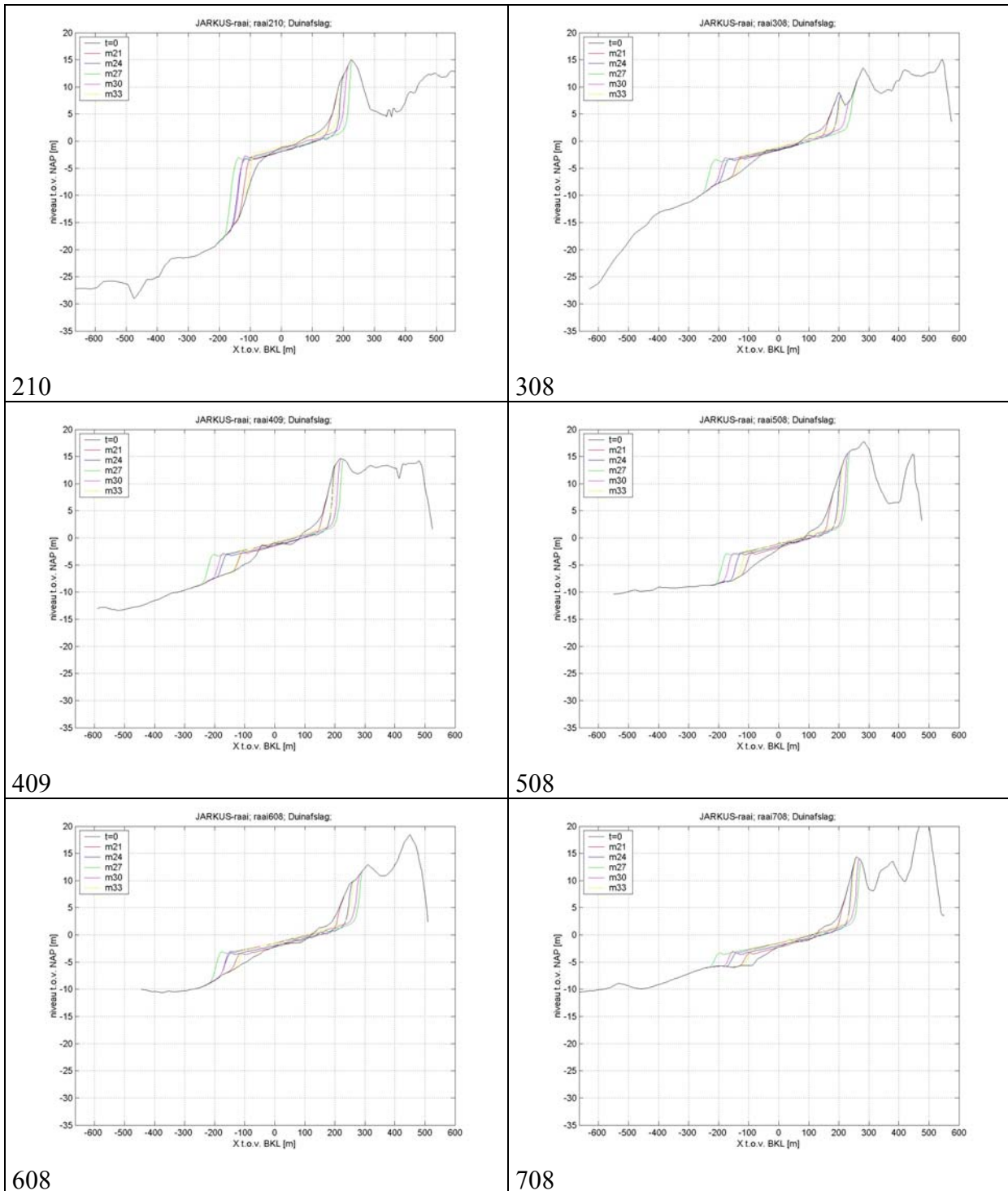
Bijlage 6.1: Resultaten duinafslag; eindprofielen .....	72
Bijlage 6.2: Frequentieverdeling duinteruggang.....	73
Bijlage 6.3: Frequentieverdeling afgeslagen hoeveelheid duinzand .....	79

## Bijlage 6.1: Resultaten duinafslag; eindprofielen

### Algemeen

In totaal zijn er 90 duinafslagberekeningen gemaakt, opgebouwd uit 5 stormrichtingen en 3 stormklassen in 6 JARKUS-raaien. In de onderstaande figuren zijn alleen de eindprofielen geschetst van de M-klasse stormen voor alle JARKUS-raaien.

### Duinafslag bij stormen van klasse M

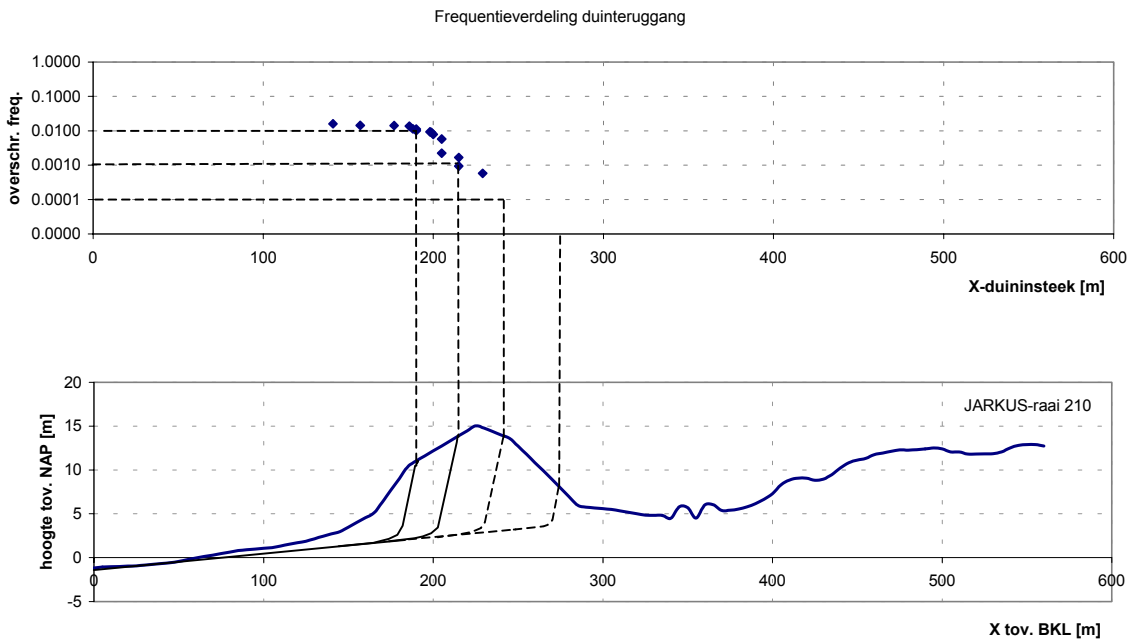


## Bijlage 6.2: Frequentieverdeling duinterugging

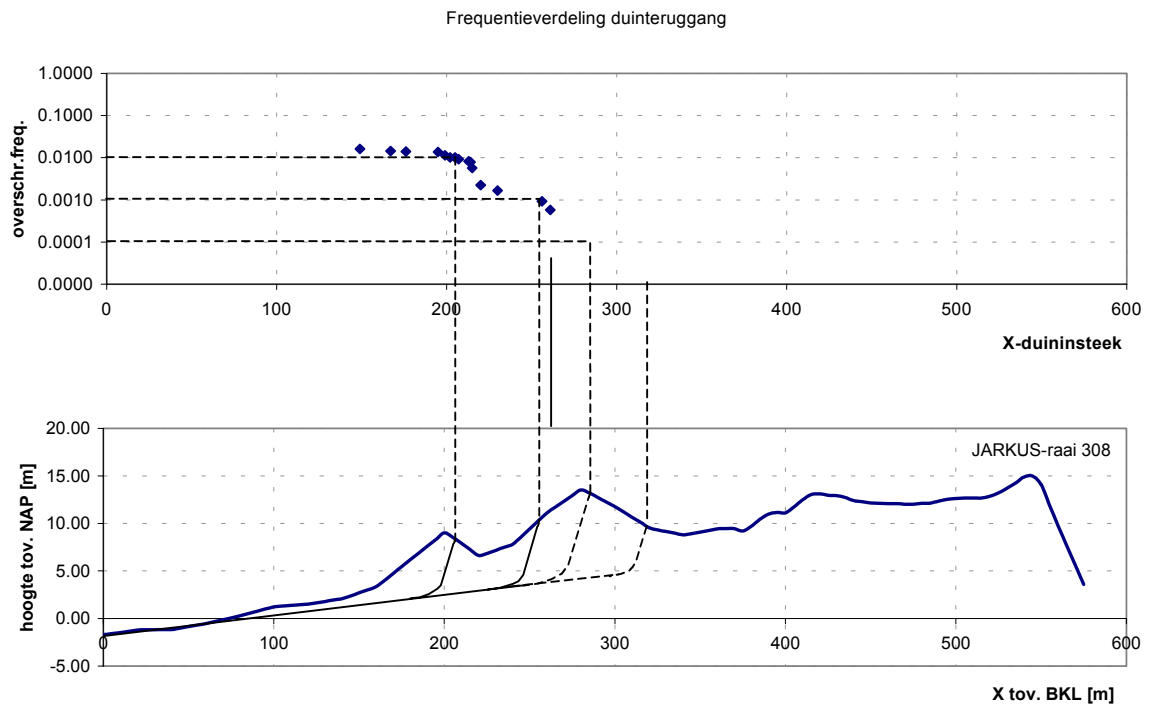
### Algemeen

In onderstaande figuren zijn voor elke JARKUS-raai de overschrijdingsfrequenties van de duinterugging gegeven. Deze terugging wordt tevens gevisualiseerd door er een (fictief) duinafslagprofiel onder te tekenen. Deze afslagprofielen dienen alleen om de plaats van de insteek aan te geven welke berekend is. Het getekende afslagprofiel kan dus afwijken. In de figuren is de  $10^{-4}$  en de  $10^{-5}$  afslag bepaald aan de hand van het doorzetten van de trend van de frequentieverdeling.

### JARKUS-raai 210:

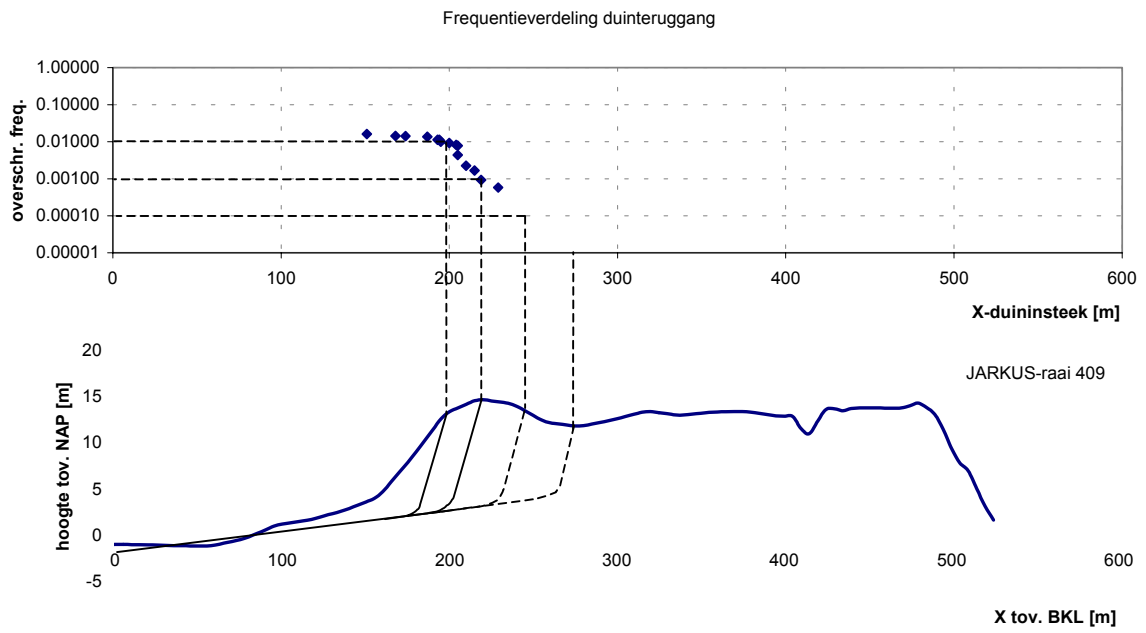


# JARKUS-raai 308:

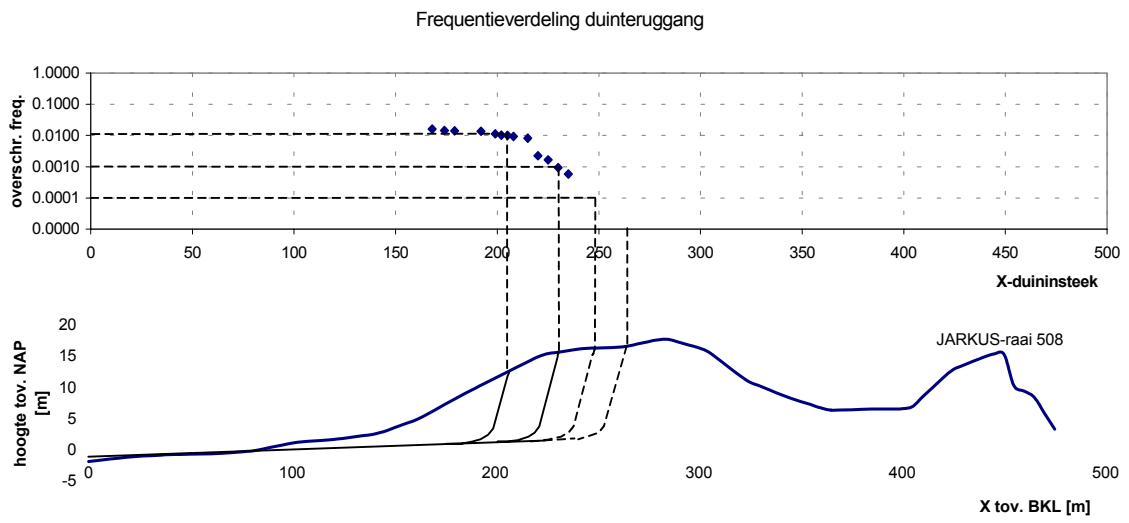




# JARKUS-raai 409:

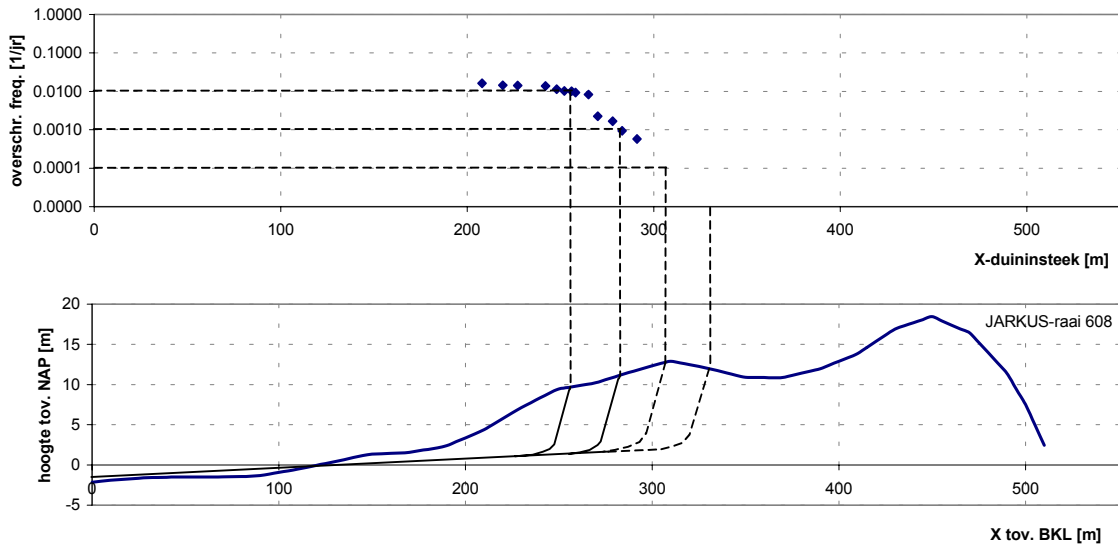


# JARKUS-raai 508:



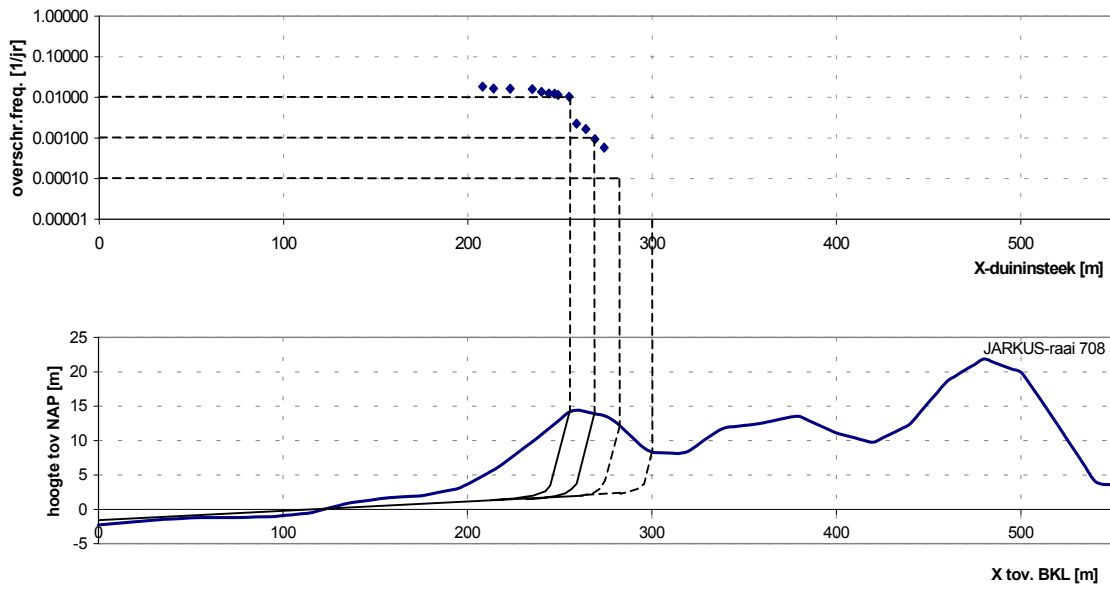
# JARKUS-raai 608:

Frequentieverdeling duinterugging



# JARKUS-raai 708:

Frequentieverdeling duinterugging

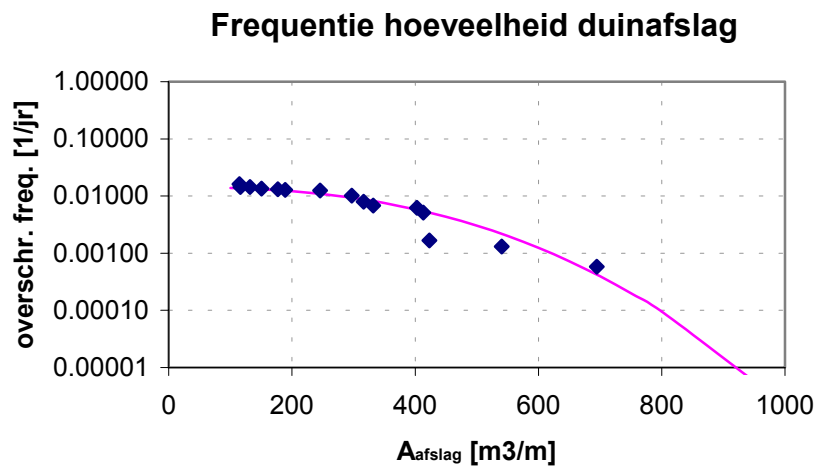


## Bijlage 6.3: Frequentieverdeling afgeslagen hoeveelheid duinzand

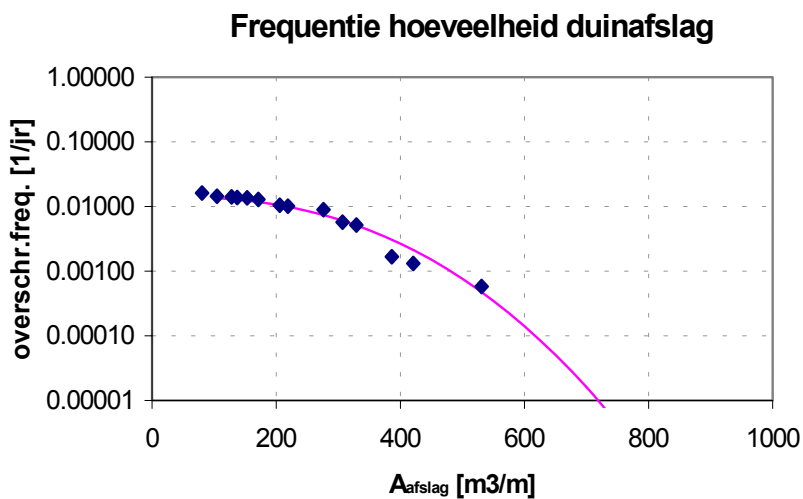
### Algemeen

In onderstaande figuren staan de frequenties weergegeven van de afgeslagen hoeveelheid duinmateriaal ( $A_{\text{afslag}}$ ). Per raai zijn de berekende punten weergegeven alsmede een fit om een schatting te geven van de afslaghoeveelheid in extremere situaties.

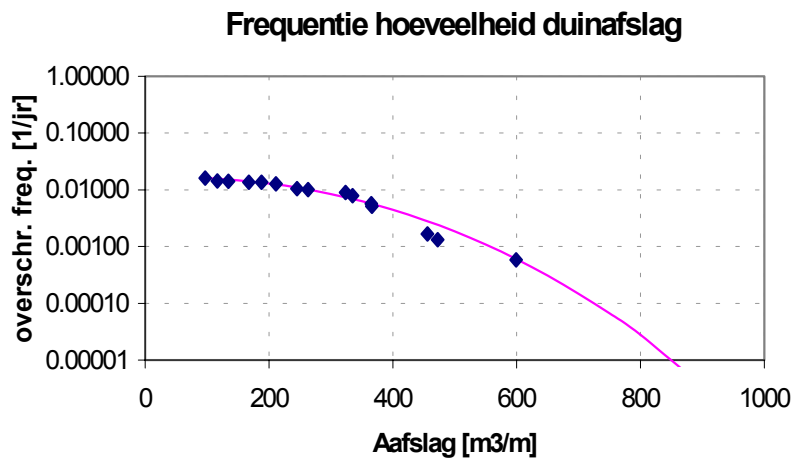
### JARKUS-raai 210:



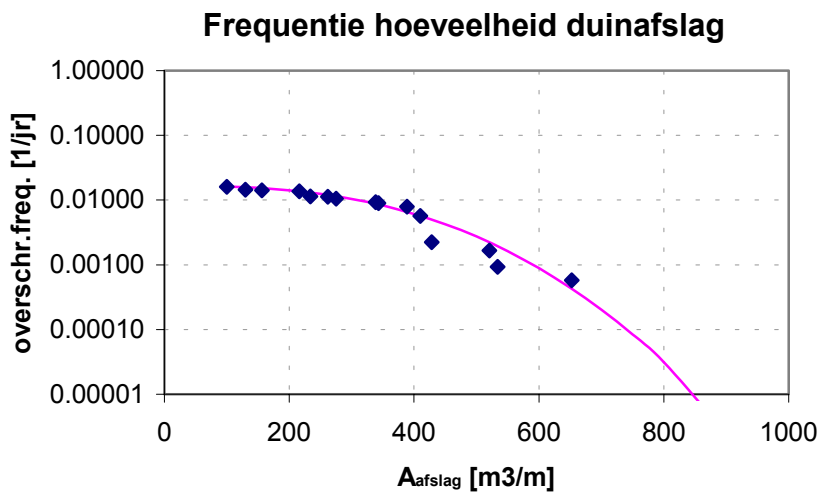
### JARKUS-raai 308:



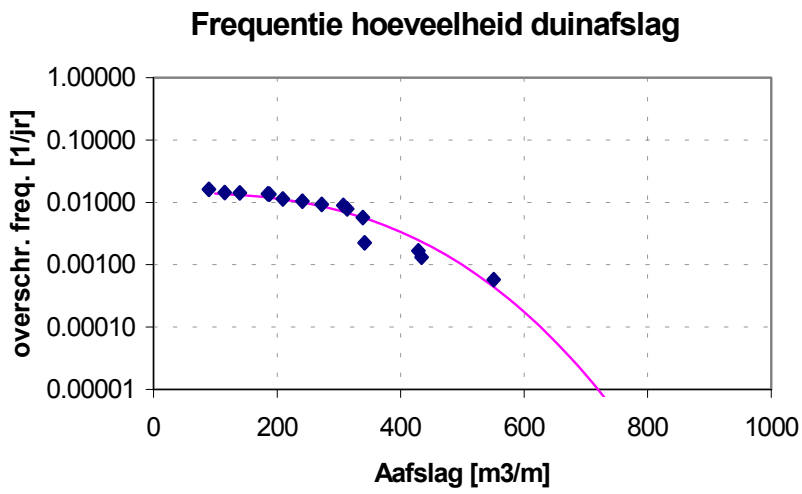
### JARKUS-raai 409:



### JARKUS-raai 508:



### JARKUS-raai 608:



### JARKUS-raai 708:

