Effecten van suppleties op duinontwikkeling

Rapportage geomorfologie

S.M. Arens
S.P. van Puijvelde
C. Brière

Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

ARENS
BUREAU VOOR STRAND- EN DUINONDERZ

bosschap
bedrijfschap voor bos en natuur

landbouw, natuur en
voedselkwaliteit

© 2010 Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Rapport nr. 2010/OBN142-DK
Den Haag, 2010

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap onder vermelding van code 2010/OBN-142DK en het aantal exemplaren.

Oplage 150 exemplaren

Samenstelling S.M. Arens, S.P. van Puijvelde, C. Brière

Druk Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

Productie Bosschap, bedrijfschap voor bos en natuur
Bezoekadres : Princenhof Park 9, Driebergen
Postadres : Postbus 65, 3970 AB Driebergen
Telefoon : 030 693 01 30
Fax : 030 693 36 21
E-mail : algemeen@bosschap.nl

Voorwoord

Suppleties vormen een essentiële onderhoudsmaatregel voor het instandhouden van onze kust. Doel van suppleties is de structurele erosie van de kustlijn te beteugelen, door, waar nodig, zand toe te voegen aan het systeem, hetzij op het strand, hetzij op de vooroever. Over de effectiviteit van suppleties als onderhoudsmaatregel is inmiddels het een en ander bekend. Over de bij-effecten van suppleties is echter veel minder bekend. Deze effecten kunnen direct het gevolg van het suppleren zijn, echter ook indirect doorwerken via een keten van processen, bijvoorbeeld op gang gebracht door dynamisch kustbeheer. Nu er inmiddels op zeer grote schaal langs de kust gesuppleerd wordt, is duidelijk dat het steeds opnieuw toevoegen van zand ook gevolgen heeft voor de duinontwikkeling, omdat suppletiezand op grotere en kleinere schaal in de duinen terecht komt. Gevolgen voor de geomorfologische ontwikkeling kunnen weer doorwerken op de ecologie. Daarmee kan het onderhoud van de kust uiteindelijk effect hebben op de Natura2000 habitats en instandhoudingsdoelstellingen. Om hier meer inzicht in te verkrijgen is zowel door de Waterdienst als door het ministerie van LNV een onderzoeksproject gestart. Beide onderzoeken zijn gekoppeld; het voor u liggende rapport vormt het eindresultaat van beide onderzoeken, waarin de resultaten van een eerdere rapportage in opdracht van Rijkswaterstaat (Arens, 2009b) integraal (met enkele aanvullingen op basis van nieuwe gegevens) zijn opgenomen ten behoeve van de volledigheid. Voor enkele locaties is onderzocht hoe de ontwikkeling van vooroever/strand en zeereep samenhangen. Het onderdeel dat betrekking heeft op de vooroever is uitgevoerd door Christophe Brière van Deltares. Een deel van de bewerkingen van de detailstudies is uitgevoerd door Stijn van Puijvelde, student Fysische Geografie van de Universiteit van Utrecht, in een stage bij Deltares.

Het onderzoeksproject dat in opdracht van het ministerie van LNV is uitgevoerd bevat tevens een geochemisch onderdeel, dat is uitgevoerd onder leiding van Pieter Stuyfzand (KWR en VU). Hierover is apart gerapporteerd (Stuyfzand et al., 2010). Voor beide rapporten samen is één samenvatting en synthese geschreven, die ook in beide rapporten is opgenomen.

Dit rapport is tot stand gekomen onder de begeleiding van een begeleidingsgroep met daarin de volgende personen:

- Anton van Haperen (Staatsbosbeheer, begeleiding vanuit opdrachtgever OBN/LNV, als voorzitter van het Deskundigenteam Duin- en Kustlandschap)
- Evert Jan Lammerts (Staatsbosbeheer, begeleiding vanuit opdrachtgever OBN/LNV, als co-voorzitter van het Deskundigenteam Duin- en Kustlandschap)
- Rienk Slings (PWN, ecologie en beheer, begeleiding vanuit opdrachtgever OBN/LNV, als lid van het Deskundigenteam Duin- en Kustlandschap)
- Marieken van der Sluis-Meijerink (begeleiding vanuit opdrachtgever RWS Waterdienst)
- Petra Damsma (begeleiding vanuit opdrachtgever RWS Waterdienst)
- Frank van der Meulen (Deltares)
- Bert van der Valk (Deltares)

Daarnaast wil ik de volgende personen bedanken voor hun opmerkingen op het rapport:

- Pieter Stuyfzand (KWR Water Cycle Research Institute en Vrije Universiteit Amsterdam, tevens lid van het Deskundigenteam Duin- en Kustlandschap)

- John de Ronde (Deltares)
- Ab Grootjans (Universiteit Groningen en Nijmegen, als vicevoorzitter van het Deskundigenteam Duin- en Kustlandschap van OBN/LNV).

Bas Arens
Amsterdam, 19 juni 2010.

Inhoudsopgave

1 Inleiding / kader 1

2 Doelstelling en vraagstelling 3

2.1 Relevante habitattypen 4

2.1.1 Systeembeschrijving 4
2.1.2 Abiotische randvoorwaarden habitattypen 7
2.1.3 Oorzaak-effectrelaties 10
2.1.4 Autonome ontwikkeling 14

3 Gegevens en methoden 15

3.1 Jarkusgegevens 15

3.1.1 Beschikbaarheid data 15
3.1.2 Betrouwbaarheid data 15
3.1.3 Methode uitwerking 16

3.2 Laseraltimetrie 18

3.2.1 Beschikbaarheid data 18
3.2.2 Betrouwbaarheid data 18
3.2.3 Methode uitwerking 19

3.3 Luchtfoto's 20

3.3.1 Beschikbaarheid data 21
3.3.2 Betrouwbaarheid data 21
3.3.3 Methode uitwerking 21

3.4 Suppletiegegevens 22

4 Locatie keuze 23

4.1 Ameland oost (RSP 17.00-20.00) 25

4.2 Ameland west (RSP 3.00-5.00) 25

4.3 Terschelling midden (RSP 15.00-20.00) 26

4.4 Terschelling west (RSP 2.00 – 6.00) 26

4.5 Texel noord (RSP 18.00-24.00) 26

4.6 Texel midden (RSP 11.00-15.00) 26

4.7 Groote Keeten (RSP8.00-11.00) 27

4.8 Schoorl (RSP 28.00-31.50) 27

4.9 Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00) 27

4.10 Castricum (RSP 45.00-48.50) 28

4.11 Heemskerk (RSP 48.50-51.00) 28
4.12 Langeveld (RSP 74.50-76.50) 28
4.13 Coepelduynen (RSP 83.00-86.00) 28
4.14 Wassenaar (RSP 92.00-96.00) 28
4.15 Voorne (RSP 11.00-15.00) 28
4.16 Goeree (RSP 14.00-17.00) 29
4.17 Schouwen (10.00-15.00) 29
4.18 Walcheren (8.00-12.00) 29

5 Uitwerking zandbudgetten zeereep 33
5.1 Zandbudgetten per kustvak 33
5.1.1 Totalen voor de kust en de regio's 33
5.2 Zandbudgetten per kustvak 34
5.3 Zand, overstuiving en dynamisch zeereepbeheer 38
5.4 Uitwerking suppletiegegevens 39

6 Uitwerking zandbudgetten proefgebieden 40
6.1 Ameland oost (RSP 17.00-20.00) 45
6.2 Ameland west (RSP 3.00-5.00) 47
6.3 Terschelling midden (RSP 15.00-20.00) 49
6.4 Terschelling west (RSP 2.00 – 6.00) 52
6.5 Texel noord (RSP 18.00-24.00) 54
6.6 Texel midden (RSP 11.00-15.00) 56
6.7 Groote Keeten (RSP 8.00-11.00) 58
6.8 Schoorl (RSP 28.00-31.50) 60
6.9 Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00) 62
6.10 Ten zuiden van Castricum (RSP 45.00-48.50) 63
6.11 Heemskerk (RSP 48.50-51.00) 65
6.12 Langeveld (RSP 74.50-76.50) 67
6.13 Coepelduynen (RSP 83-86) 68
6.14 Wassenaar (RSP 92.00-96.00) 70
6.15 Voorne (RSP 11.00-15.00) 71
6.16 Goeree (RSP 14.00-17.50) 74
6.17 Schouwen (10.00-16.00) 76
6.18 Walcheren (8.00-12.00) 79
6.19 Relatie zeereep en vooroever 81

6.20 Conclusies ontwikkeling zandbudget zeereep 94

7 Uitwerking morfologische ontwikkeling proefgebieden 99

7.1 Ameland oost (RSP 17.00-20.00) 99

7.2 Ameland west (RSP 3.00-5.00) 100

7.3 Terschelling midden (RSP 15.00-20.00) 101

7.4 Terschelling west (RSP 2.00 – 6.00) 102

7.5 Texel noord (RSP 18.00-24.00) 103

7.6 Texel midden (RSP 11.00-15.00) 104

7.7 Groote Keeten (RSP 8.00-11.00) 105

7.8 Schoorl (RSP 28.00-31.50) 106

7.9 Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00) 106

7.10 Ten zuiden van Castricum (RSP 45.00-48.50) 107

7.11 Heemskerk (RSP 48.50-51.00) 108

7.12 Langeveld (RSP 74.50-76.50) 109

7.13 Coepelduynen (RSP 83-86) 110

7.14 Wassenaar (RSP 92.00-96.00) 110

7.15 Voorne (RSP 11.00-15.00) 111

7.16 Goeree (RSP 14.00-17.00) 112

7.17 Schouwen (10.00-15.00) 113

7.18 Walcheren (8.00-12.00) 113

7.19 Conclusies morfologische ontwikkeling zeereep 114

8 De Respons van de zeereep; synthese van mogelijke effecten 119

9 Conclusies en discussie 125

10 Aanbevelingen 131

11 Effecten van suppleties op de geomorfologische en geochemische ontwikkeling van duinen: Samenvatting en synthese 133

12 Literatuur 141

13 Lijst met Figuren en Tabellen 143

14 Verklarende woordenlijst 145

Bijlage 1 Resultaten Jarkus 147

Bijlage 2 Resultaten volumeberekeningen 1999-2008 163

Bijlage 3 **Resultaten Dynamiekkarteringen** **171**

Bijlage 4 **Responstypen en hoogteverschillen** **191**

Bijlage 5 **Responstypen zeereep** **211**

1 Inleiding / kader

Op dit moment werkt de overheid aan beheerplannen voor de instandhouding van Natura 2000 gebieden. In deze beheerplannen geeft Rijkswaterstaat de mogelijke effecten van het jaarlijkse kustonderhoud aan. In dit kader is het belangrijk om te weten wat de externe werking van zandsuppleties is op de zeereep en achterliggende duinen. Met andere woorden wat is het effect van het suppletiebeleid op de duinhabitats en doelsoorten zoals vermeld in Natura 2000.

De morfologie/abiotiek is de drager van de biotiek, maar omgekeerd is er ook een invloed van de biotiek op de morfologische ontwikkeling (wisselwerking abiotiek-biotiek=ecologie). In deze fase van het onderzoek richting we ons op de morfologische (abiotische) randvoorwaarden voor de ecologische ontwikkeling, waarbij overstuiving de belangrijkste randvoorwaarde is. Daarom wordt eerst onderzocht hoe de mate van overstuiving in de laatste 15 jaar is veranderd ten opzichte van de periode voordat er met grootschalige suppleties werd begonnen.

Met betrekking tot de ecologische effecten van suppleties zijn er twee veronderstellingen:

1. Op diverse kustvakken is sprake van het ontstaan van embryonale duinen (habitat 2110) vóór de zeereep, die eerder voornamelijk ontstonden op bredere, vlakkere duinkusten (Zeeland, Waddeneilanden). Onderzocht zal worden of deze vorm van duinontwikkeling sinds de start van suppleren structureel is toegenomen. De veronderstelling is dat deze duinvorming de dynamische processen in de zeereep en de achterliggende duinen onderdrukt en daarmee een dynamiek verlagend effect heeft op het achterliggend duingebied. Dit zou met name voor de habitattypen Witte Duinen (2120) en Grijze Duinen (2130), typen die bij een bepaalde mate van dynamiek gebaat zijn, een negatief effect kunnen betekenen. Bij afsnoering door duinvorming zouden nieuwe, primaire duinvalleien kunnen ontstaan, die vallen onder habitattype 2190, wat een aanmerkelijke natuurwinst zou betekenen.
2. Ook is het beheer veranderd: de kust wordt meer met rust gelaten en op verschillende plaatsen is het zeereeponderhoud gestaakt (geen aanplant, geen stuifschermen, geen dichtschuiven van stuifkuilen; geen strakke zanddijk). Hierdoor is een meer gevarieerde zeereep aan het ontstaan, waardoor dynamische processen in de zeereep en achterliggende duinen juist worden gestimuleerd. De veronderstelling is dat op deze plaatsen het achterliggende duin juist kan profiteren van een toegenomen dynamiek. Deze ontwikkeling biedt mogelijk perspectieven voor het in stand houden van de habitattypen 2110, 2120 en 2130. Door uitstuiving tot op het grondwater zouden secundaire uitblazingsvalleien kunnen ontstaan, ook behorende tot habitattype 2190.

Tot nu toe ontbreekt een goed inzicht in de bovenstaande ontwikkelingen en de ruimte- en tijdschalen waarop deze plaatsvinden.

In dit onderzoek worden beide veronderstellingen onderzocht. Gezien het belang van dit onderzoek voor het raakvlak van kustverdediging en natuurbeheer, maar ook vanwege noodzaak de externe werking van zandsuppleties te onderzoeken, wordt dit onderzoek uitgevoerd in opdracht van de Waterdienst van Rijkswaterstaat, en in opdracht van de directie Kennis van het ministerie van LNV, in het kader van OBN (Ontwikkeling en

Beheer Natuurkwaliteit). Het onderzoek geeft een eerste inzicht in de mogelijke positieve en negatieve effecten van suppleties op de morfologische ontwikkeling van duinen, die weer van invloed kan zijn op de ecologische ontwikkeling. Ook zal het onderzoek leiden tot een aantal veronderstellingen hoe de morfologische effecten doorwerken in de ecologie. De ecologische effecten zullen verder worden uitgewerkt in een vervolgtraject. Via een begeleidingsgroep zal het onderzoek tevens leiden tot een intensievere samenwerking en kruisbestuiving tussen kustverdedigers en natuurbeheerders.

Dit onderzoek moet als een pilot worden gezien. Het zal binnen de reikwijdte van dit project niet mogelijk zijn een uitputtend onderzoek naar de gehele kust te doen. Daarom zal het onderzoek zich beperken tot een aantal locaties langs de Nederlandse kust, verdeeld over de Wadden, de Hollandse kust en de Delta kust, waarvan, door een specifieke locale ontwikkeling, resultaat verwacht wordt. Het deel van het onderzoek dat in opdracht van LNV wordt uitgevoerd omvat tevens een geochemische component, waarbij de chemische samenstelling van suppletiezand en korrelgroottekarakteristieken voor een aantal locaties worden onderzocht. Dit onderdeel wordt uitgevoerd door KWR (voorheen Kiwa). Hierover is apart gerapporteerd (Stuyfzand et al., 2010).

Na de inleiding volgt in Hoofdstuk 2 een beschrijving van doel en vraagstelling, in Hoofdstuk 3 een beschrijving van de gebruikte gegevens en methoden. Hoofdstuk 4 geeft een verantwoording van de keuze van de studielocaties voor de detailstudies. Vervolgens worden de resultaten besproken in vier hoofdstukken. In Hoofdstuk 5 wordt per kustvak een analyse gemaakt van het zandbudget tussen 1997/1998 en 2008. Hoofdstuk 6 behandelt in meer detail de ontwikkeling van zandbudgetten per proefgebied, waarbij wordt uitgezocht of er sprake is van trendbreuken in de volumeontwikkeling en hoe deze samenhangen met uitgevoerde suppleties. Hoofdstuk 7 gaat vervolgens in op de morfologische ontwikkeling van de proefgebieden. In hoofdstuk 8 worden de analyses van hoofdstukken 6 en 7 samengevoegd, resulterend in een classificatie van responstypen waarin wordt uitgewerkt wat de verwachtingen zijn voor de verschillende typen met betrekking tot de habitatontwikkeling. Tot slot volgen conclusies en discussie (Hoofdstuk 9) en aanbevelingen (Hoofdstuk 10).

2 Doelstelling en vraagstelling

De doelstelling van dit onderzoek is meer inzicht te krijgen in de effecten van zandsuppleties op de duinen, en dan met name gericht op abiotische processen. Onderzoeksvragen die hierbij centraal staan zijn: bestaat er een relatie tussen suppletiebeleid en de implementatie van het dynamisch handhaven beleid enerzijds en de veranderende staat van de zeereep sinds 1990/95 anderzijds? En zo ja wat is de precieze relatie?

De invulling van dit onderzoek is onderbouwend voor de achtergrondvraag: "Wat zijn de ecologische effecten van zandsuppleties". Natura2000 spreekt van de "ecologische vereisten" voor de instandhouding van habitats, waaronder begrepen de abiotische randvoorwaarden. Dit onderzoek moet antwoord geven op de vraag wat de effecten van suppleties op de abiotische randvoorwaarden voor de verschillende habitattypen zijn. In hoeverre dit weer van invloed is op de ecologische ontwikkeling zal in een volgende fase worden onderzocht.

De behandeling van de resultaten bestaat uit verschillende delen. Het eerste deel is algemeen en inventariserend (Hoofdstuk 5). Voor de gehele kust wordt een analyse van het zandbudget van de zeereep gemaakt, voor de periode 1997 tot heden. Detailvragen hierbij zijn:

- Wat zijn de volumeverandering in de zeereep tussen 1997 en 2008?

Op basis van de resultaten van dit inventariserende deel is vervolgens een selectie van proefgebieden langs de Nederlandse kust tot stand gekomen. Het tweede deel van de resultaten omvat een uitgebreidere analyse van zandbudgetten voor de proefgebieden, waarbij ook de periode vóór suppleren wordt betrokken (Hoofdstuk 6). Zo ontstaat kwantitatief inzicht in trendbreuken in ontwikkeling als gevolg van suppleren, en wordt de link tussen suppleties en duinontwikkeling verder uitgewerkt. Detailvragen zijn:

- Hoe verschilt de volumeontwikkeling in de periode voordat er met grootschalig suppleren werd begonnen, van de ontwikkeling in de laatste 15-20 jaar?
- Welke geconstateerde volumeveranderingen in de droge duinen (boven + 3 m NAP, zeereep en achterliggende duinen voor zover hier data van beschikbaar zijn) kunnen aan welke oorzaken gekoppeld worden?
- Wat zijn de volumetrische relaties tussen vooroever, strand en zeereep?
- Kan er onderscheid in zeereepontwikkeling worden gemaakt tussen plaatsen waar wel (frequent, incidenteel) gesuppleerd wordt en waar niet gesuppleerd wordt?
- Is er een verschil in tijd- en ruimteschaal onder en boven water?
- Kan er een onderscheid in zeereepontwikkeling worden gemaakt tussen processen bij vooroever- en bij strandsuppleties?

De morfologische ontwikkeling is afhankelijk van het zandbudget maar ook van het beheer. In gebieden die dynamisch worden beheerd (lees: waar geen zeereepbeheer wordt gevoerd) kan een verandering in zandbudget ook tot een verandering in de mate van doorstuiving aanleiding geven, waardoor er een effect op de achter de zeereep liggende duinen kan zijn. De morfologische ontwikkeling bepaalt in feite de mogelijke reikwijdte van suppleties. Bij een stabiele of gefixeerde zeereep is de invloed op de landwaarts liggende duinen waarschijnlijk verwaarloosbaar, terwijl bij een dynamiserende zeereep de achterliggende duinen juist in mindere of meerdere mate

beïnvloed raken door doorstuivend zand. Het tweede deel van de resultaten behelst een morfologische analyse van de verschillende proefgebieden (Hoofdstuk 7). Detailvragen hierbij zijn:

- Wat zijn de ruimte- en tijdschalen waarop de processen (embryoduinvorming, stuifkuilontwikkeling, overstuiving, kerfvorming enz) plaatsvinden? Is er een verschil in tijd- en ruimteschalen onderwater en bovenwater? Hoe zijn de processen aan elkaar gekoppeld?
- Hoe verschilt de morfologische ontwikkeling in de periode voordat er met grootschalig suppleren werd begonnen, van de ontwikkeling in de laatste 15-20 jaar?
- Welke geconstateerde morfologische veranderingen in de droge duinen (boven + 3 m NAP, zeereep en achterliggende duinen voor zover hier data van beschikbaar zijn kunnen aan welke oorzaken gekoppeld worden?
- Kan er onderscheid in zeereepontwikkeling worden gemaakt tussen plaatsen waar wel (frequent, incidenteel) gesuppleerd wordt en waar niet gesuppleerd wordt?
- Kan er een onderscheid in zeereepontwikkeling worden gemaakt tussen processen bij vooroever- en bij strandsuppleties?
- Welke relaties kunnen gelegd worden met de Natura2000 doelstellingen zoals die door Min. LNV worden geformuleerd in de aanwijzingsbesluiten voor de verschillende duingebieden?

Tenslotte is de respons van de zeereep op (veranderingen in) zandbudgetten en morfologische ontwikkeling uiteindelijk bepalend voor de ontwikkeling van de ecologie. In Hoofdstuk 8 worden verschillende responstypen onderscheiden, en wordt per proefgebied beargumenteerd welke verwachtingen er met betrekking tot de ontwikkeling van habitattypen is. Vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen in hoeverre deze verwachtingen kloppen, en of daarmee de relatie tussen ecologische en morfologische ontwikkeling duidelijk en begrepen is.

Het onderzoek wordt mede uitgevoerd als onderdeel in het programma Kustlijnzorg van Rijkswaterstaat/Deltares. Daarom wordt naast aanknopingspunten voor ecologisch vervolgonderzoek ook gevraagd om aanknopingspunten voor toepassing van de resultaten bij de uitvoering van de zandsuppleties (hoe kunnen we positieve effecten bevorderen en eventuele negatieve effecten beperken?).

2.1 Relevante habitattypen

De habitattypen die van belang zijn voor dit onderzoek zijn embryonale duinen (type 2110), witte duinen (2120), grijze duinen (2130, alleen subtype a en b) en duinvalleien (2190, alleen subtype b wanneer overstuiving een rol speelt; bij nieuwvorming door uitstuiving of afsnoering kunnen ook andere typen ontstaan). Vooral de typen 2110, 2120 en 2130 hebben een onderlinge relatie door hun specifieke ligging aan de kust. Grijze duinen zijn zogenaamde prioritaire habitats. Dat wil zeggen dat Nederland binnen Europa een speciale taak heeft om deze te behouden en te versterken. De hieronder geschetste zonering van habitattypen is geen status quo. Door autonome ontwikkeling (successie) of door beheer veranderen habitattypen. Door grootschalige landschapsontwikkeling kunnen op de ene plaats habitattypen verdwijnen en op de andere plaats verschijnen.

2.1.1 Systeembeschrijving

Voor een goed begrip van het systeem, en de mogelijke beïnvloeding door suppleties wordt de kust onder verdeeld in 3 types: de afslagkust, de stabiele kust en de aangroeikust. In 1994 hebben Arens & Wiersma de gehele Nederlandse kust volgens een dergelijke indeling geclassificeerd (op basis van luchtfoto´s van 1988). Het inzicht in de

effecten van dynamisch kustbeheer en suppleties zou kunnen worden vergroot door deze classificatie op grond van de huidige situatie te herhalen.

Afslag kust
Bij een afslagkust wordt de zeereep regelmatig aangetast door erosie, waardoor het zand kan remobiliseren (secundaire verstuiving). Door de permanente aantasting komen embryonale duinen niet voor, of slechts kortdurend. Door remobilisatie kan zoveel zand vrijkomen dat de overstuiving van de zeereep en achterliggende duinen extreem kan zijn (witte duinen). Hierbij kunnen zelfs transgressieve duinen ontstaan die landwaarts kunnen gaan bewegen (zie bijvoorbeeld van Dieren, 1934; Beekman, 2007). De mate van mobilisatie is verder afhankelijk van lokale factoren, bijvoorbeeld kalkgehalte en mineraalinhoud van het zand. In (extreem) arm zand slaat de vegetatie moeilijker aan. Hierdoor zijn bijvoorbeeld verstuivingen op Terschelling, Vlieland en in de Schoorlse duinen in het verleden veel extremer geweest dan op andere plaatsen (zie bijvoorbeeld van Dieren, 1934; Klijn, 1981). Overigens is het duin achter de zeereep inmiddels zo dicht begroeid geraakt dat de hoeveelheid zand die nodig is om ook hier tot verhoogde mobiliteit te leiden waarschijnlijk veel groter is dan in het verleden het geval was.

Wanneer zich in de zeereep voldoende zand bevindt zorgt de door afslag opgewekte overstuiving ervoor dat de top landwaarts verschuift, maar ook steeds hoger wordt. De hoogste zeerepen vindt men doorgaans aan een afslagkust. Het is niet duidelijk of er een maximale hoogte is. Hoe hoger de zeereep wordt, hoe sterker de versnelling van de wind rondom de bovenkant van de helling en top wordt, waardoor de kans op winderosie vergroot, zeker omdat bij een afslagkust de voorkant van de zeereep grotendeels kaal is. Het zou kunnen dat door dit mechanisme een maximale hoogte geldt, maar dit is onduidelijk en voor de Nederlandse situatie nooit aangetoond. Door winderosie kunnen stuifkuilen en kerven ontstaan. Bij voortdurende uitstuiving kan het grondvlak van stuifkuil of kerf zover worden uitgeblazen dat een secundaire duinvallei ontstaat. Dit is een mogelijk mechanisme voor het ontstaan van nieuwe duinvalleien (verjonging bij een afslagkust). Er zijn hypothesen die veronderstellen dat het ontstaan van paraboolduinen begint met de ontwikkeling van kerven in de zeereep (de paraboliserende zeereep). Bij een actieve parabolisering ontstaan steeds nieuwe paraboolduinen die landwaarts bewegen (ook behorend tot de witte duinen), en bijbehorende uitblazingsvalleien (duinvalleien). Parabolen in verschillende vormen en maten zijn in bijna alle kustvakken terug te vinden. Afhankelijk van de hoogte van de afslagkust en de expositie ontvangt een grotere of kleinere zone achter de zeereep een lichtere vorm van overstuiving. Dit is de zone van de grijze duinen. Waar de overstuiving nog te groot is zullen witte duinen in stand worden gehouden, waar de overstuiving te klein wordt kan door successie het grijze duin overgaan in een ander type. Overstuiving van achter de zeereep gelegen duinvalleien kan positief zijn (kalkaanvoer, gaat verzuring tegen), maar ook negatief (te grote ophoging van de bodem waardoor deze buiten bereik van het grondwater komt, of planten verstikt worden). Bij de ontwikkeling van duinvalleien is verder van belang of het grondwater kalkrijk is (zoals langs de Hollandse kust) of zuur (op andere plaatsen).

Van oudsher waren afslagkliffen te vinden op midden-Ameland, oost-Vlieland, Texel, langs delen van de kust van Noord-Holland en aan de koppen van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden. Door suppleren is het aandeel kust met afslagklif sterk afgenomen. Vanzelfsprekend neemt het belang na een grote stormvloed weer toe, maar dit is dan een tijdelijk verschijnsel.

Bijzondere vormen van de afslagkust vinden we op de oostelijke staarten van de Waddeneilanden, waar duinvorming en afslag interfereren met washoverprocessen. Hierdoor ontstaan hoefijzervormige complexen met een specifieke dynamiek (zie Samenwerkingsverband Het Tij Geleerd, 2008).

Stabiele kust
Bij een (gemiddeld) stabiele kust is de aantasting van de zeereep door golferosie beperkt, en speelt remobilisatie een ondergeschikte rol. Desondanks kunnen ook in een stabiele kust stuifkuilen en kerven ontstaan (zelfs met parabolisering tot gevolg). Door de geringere aantasting is de mate van remobilisatie echter over het algemeen minder dan bij een afslagkust. In deze situatie kunnen aan de duinvoet en op het strand embryonale duinen ontstaan met een langere levenscyclus. Periodieke afslag bij grote stormvloeden zorgt voor een continue verjonging van de embryonale duinen, omdat deze bij een grote stormvloed geheel of gedeeltelijk worden opgeruimd en weer van voren af aan kunnen beginnen. Door de beperktere aantasting van de zeereep is de kans op remobilisatie kleiner, en is de doorvoer van zand naar achter toe geringer, waardoor het effect op de grijze duinen (mogelijk??) geringer is dan bij een afslagkust. De hoeveelheid overstuiving is over het algemeen niet groot genoeg om vegetatie volledig te begraven. Helm gedijt onder deze omstandigheden over het algemeen zeer goed, wat de kwaliteit van de witte duinen ten goede komt. De hoogte van de zeereep neemt in de loop van de tijd toe. Op dit moment zien we langs grote delen van de Nederlandse kust de hoogte (en ook de breedte) van de zeereep toenemen. De hypothese is dat dit veroorzaakt wordt door een grotere zandaanvoer van vooroever naar strand naar zeereep als gevolg van suppleren.

Aangroei kust
Bij een aangroeikust is de aanvoer van zand zo groot dat voor de zeereep een buffer van zand ontstaat, waardoor bij hoge stormvloeden de zeereep zelf nauwelijks of niet wordt aangetast. Door de groei van in eerste instantie Biestarwegras en later Helm verplaats de duinvoet zich zeewaarts. In alle aangroeisituaties die we op dit moment langs de kust kennen is de aanvoer zodanig dat de vegetatie de overstuiving steeds bij kan houden. Er is sprake van een "milde" dynamiek. Het gevolg is dat de verjonging uitsluitend aan de voorkant van de zeereep en op het strand plaats vindt. De nieuw ontstane duinen vangen het zand voor de oude zeereep weg, waardoor hier de successie op gang kan komen. Theoretisch zouden de witte duinen dan kunnen transformeren naar grijze duinen, via een struweel-(duindoorn)fase, maar wat op dit moment vooral speelt is dat de witte duinen verstarren en verruigen, vaak met struweelontwikkeling. Overigens kan dan ook een habitattype ontstaan, duinen met duindoorn (type 2160), wat Europees gezien waardevol wordt geacht. Op zich is het echter een logische sequentie dat bij verjonging aan de voorkant het achterliggende duin veroudert en de vegetatie steeds verder voortschrijdt in de successie. In duinen is dat vaak een regressieve successie: terug van hoger gestructureerd (bijvoorbeeld struweel) naar lager (bijvoorbeeld grasland).

Het mechanisme van duinvoetverplaatsing, strandbreedte en zandaanvoer is nog niet goed begrepen. Er zijn locaties waar de zandaanvoer enorm groot is en toch het meeste zand op en achter de zeereep wordt opgeslagen, zonder dat de duinvoet wezenlijk verplaatst (dus in feite een stabiele zeereep). Mogelijk is dit gerelateerd aan de dynamiek van het strand, maar hoe dit precies in zijn werk gaat is onduidelijk. Een hypothese is dat strandrijden de vestiging van vegetatie op het strand tegen gaat en daardoor voorkomt dat de duinvoet zich in zeewaartse richting kan uitbouwen.

Over het algemeen leidt vergrote zandaanvoer tot kustuitbouw en dus duinontwikkeling voor de oude zeereep. Theoretisch is het echter ook mogelijk dat de zandaanvoer zo groot wordt dat vegetatie totaal begraven wordt en niet in staat is de bedekking bij te houden. Hierdoor zou de vegetatie op de zeereep geleidelijk aan verdwijnen, waardoor de doorvoer van zand naar achter vergroot. Ook dan zouden transgressieve duinen kunnen ontstaan.

Aangroeikusten zijn te vinden op Schiermonnikoog, west-Terschelling, de Hors op Texel, ten noorden en zuiden van de pier bij IJmuiden, de Kwade Hoek op Goeree, op het Verklikkerstrand op Schouwen en bij Oranjezon op Walcheren. Op de Waddeneilanden zijn meer duinvormen te vinden die tot de aangroeikust kunnen worden gerekend. Aan

de oost kanten van de eilandkernen, vóór de overgang naar de staart met kwelders en washovers, zijn vaak duinbogen te vinden (Samenwerkingsverband Het Tij Geleerd, 2008). Op de oostelijke punten kunnen de zeldzame oogduinen ontstaan (zie bijvoorbeeld Klijn, 1981). Op de staarten van de eilanden is het bovendien mogelijk dat kenmerken van de afslagkust, in de hoefijzervormige complexen die hierboven werden genoemd, samengaan met kenmerken van de aangroeikust, zoals uitgestrekte embryonale duinvelden, die voor de hoefijzervormige complexen ontwikkelen. De oostelijke kanten van Ameland en Schiermonnikoog geven hier bijzonder goed ontwikkelde voorbeelden van.

2.1.2 Abiotische randvoorwaarden habitattypen

Voor een gedetailleerde beschrijving van de habitattypen wordt verwezen naar de profielendocumenten die zijn opgesteld door LNV (www.synbiosys.alterra.nl/natura2000). Hieronder worden de belangrijkste abiotische randvoorwaarden behandeld, voor zover van belang voor het suppletieonderzoek, en wordt aangegeven in hoeverre suppleties een invloed op deze randvoorwaarden kunnen hebben. De informatie is ontleend aan de profielendocumenten van LNV. In dit rapport worden alleen die habitattypen besproken die relevant zijn voor de Hollandse kust. In OBN-kader zullen habitattypen die relevant zijn voor de Wadden en de Deltakust worden toegevoegd.

Habitattype 2110 Embryonale wandelende duinen

Dit type bestaat uit deels begroeide, deels onbegroeide lage duintjes op het strand en de buitenste rand van de zeereep en vertegenwoordigt de prille fase van (primaire) duinvorming. Deze start vaak, maar niet noodzakelijk, als overstoven vloedmerk. Essentiële en algemeen langs de kust voorkomende plant is het **Biestarwegras** soms vergezeld door Zeepostelein, Zandhaver, Zeeraket, Stekend loogkruid, Spiesmelde en de minder algemene Gele hoornpapaver, Gelobde melde en Kustmelde. De vegetatie treedt vaak op in mozaïek met onbegroeide stuifplekken en vloedmerken. Zonder Biestarwegras wordt deze vegetatie niet tot habitattype 2110 gerekend. Wanneer de duintjes zich aaneenrijgen tot een langere keten en verder ophogen gaan ze over in Witte Duinen.

Abiotische randvoorwaarden:

- Kust met zandaanvoer vanuit zee of estuarien milieu. Uitgebreide duinontwikkeling kan zowel voorkomen op een kust waar door zandaanvoer het strand breder wordt als op een kust met een zeer breed strand wat door erosie op de vooroever opgerold wordt;
- Zout grondwater: deze situatie doet zich voor in duintjes lager dan circa 2-5.5 meter boven NAP. Biestarwegras heeft tenminste 2% zout in het bodemvocht nodig;
- Incidentele of regelmatige overspoeling met zoutwater;
- Sterke invloed van saltspray: ligging op het (droge) strand of in buitenste rand (loefzijde) van zeereep;
- Geëxponeerd op de wind – gedurende het jaar (m.n. winterseizoen) geregeld onder invloed van westelijke (zandaanvoerende) wind met windkracht 5 of meer waardoor overstuiving met zand plaatsvindt met een omvang van tenminste 5 cm. NB: door overspoeling met zeewater bij storm al dan niet in combinatie met vloed verdwijnen de laagste Biestarwegrasduintjes weer.

Mogelijke effecten van suppleties:

- Toename zandaanvoer -> nieuwvorming.
- Te grote zandaanvoer -> geen vestigingsmogelijkheid voor Biestarwegras.
- Andere mineraalinhoud -> onbekend?

Habitattype 2120 Wandelende duinen op de strandwal met Helm ("witte duinen")

Dit type bestaat uit de buitenste hogere duinrug van de kust en is onderhevig aan verstuivingen waardoor deze duinrug zich landinwaarts kan verplaatsen. Essentiële plant

is de **Helm**. Voorts plantensoorten als Noordse helm, Zandhaver, Zeemelkdistel (ook Duinzwenkgras??) en de minder algemene Blauwe zeedistel (beschermd onder de Flora & Faunawet), Zeewinde en Zeewolfsmelk en de paddenstoelen Zeeduinchampignon, Zandtulpje en Duinstinkzwam. De vegetatie is vrijwel altijd in mozaïek met onbegroeide stuifplekken. Zonder de aanwezigheid van Helm wordt deze vegetatie niet gerekend tot habitattype 2120.

Abiotische randvoorwaarden:

- Kust met zandaanvoer vanuit zee of estuarien milieu, of remobilisatie binnen de bestaande duinen door aantasting door golf- of winderosie (of recreatie);
- Licht brak tot zoet grondwater of hangwater: deze situatie doet zich voor in duintjes hoger dan circa 3-5.5 meter boven NAP;
- Geen overspoeling met zoutwater;
- Saltspray vertraagt volgens sommige onderzoeken de successie en daarmee de degeneratie van witte duinen, maar het is de vraag of het een essentiële randvoorwaarde voor ontstaan en behoud van witte duinen is. Er is geen consensus. Ook in het binnenduin ontstaan onder sterk stuivende omstandigheden witte duinen;
- Droog;
- Geëxponeerd aan de wind – gedurende het jaar (m.n. winterseizoen) geregeld onder invloed van westelijke (zandaanvoerende) wind met windkracht 5 of meer waardoor overstuiving met zand plaatsvindt met een omvang van tenminste 5 cm (bij minder ontwikkelt zich een moslaag van zandbindende Duinsterretjes) en ten hoogste 100 cm (bij meer verdwijnt Helm).

Mogelijke effecten van suppleties:

- Toename zandaanvoer -> toename overstuiving -> verbetering kwaliteit
- Nieuwvorming HT2110 -> afname doorstuiving -> afname kwaliteit
- Andere mineraalinhoud -> onbekend?

Habitattype 2130: grijze duinen

Grijze duinen ontstaan achter de zeereep waar de dynamiek voldoende laag is voor lichte bodemvorming en het ontstaan van gesloten begroeiingen met kruiden en mossen. Dynamiek in de vorm van lichte overstuiving, hellingprocessen (watererosie) en begrazing door konijnen (gebiedsafhankelijk) zorgt van nature voor instandhouding van het type. In het binnenduin kunnen grijze duinen vooral profiteren van begrazing en kleinschalige dynamiek rondom stuifkuilen en door watererosie, maar dit type is dan losgekoppeld van de zeereep (en valt dus buiten de scope van dit onderzoek). De vegetatie wordt gekenmerkt door een grote soortenrijkdom met dominantie van laagblijvende grassen, kruiden, mossen en/of korstmossen.

Abiotische randvoorwaarden:

- Basisch tot zwak zure bodem;
- Droog tot matig droog;
- Zeer zoet tot zwak brak grondwater;
- Geen of incidentele overstroming met brak water;
- Lichte overstuiving met kalkhoudend zand.
- Helm).

Mogelijke effecten van suppleties:

- Toename zandaanvoer/doorstuiving -> toename overstuiving -> verbetering kwaliteit, lokaal afname door verschuiven grens HT2120
- Nieuwvorming HT2110 -> afname doorstuiving -> afname kwaliteit
- Toename kalkhoudend zand -> tegengaan verzuring -> verbetering kwaliteit kalkminnende vegetaties, afname kwaliteit zure vegetaties
- Andere mineraalinhoud -> onbekend?

Habitattype 2190-b Vochtige duinvalleien (kalkrijk)
Voor dit onderzoek is met name van belang of overstuiving van vochtige duinvalleien door suppleties vermindert. Bij vol stuiven van valleien door versterkte verstuiving kan dit habitattype echter bedreigd worden, maar dit zelfde geldt dan voor andere habitattypen zoals Vochtige duinheide met Kraaihei (H2140), vochtige Heischrale graslanden (H6230), Blauwgraslanden (H6410) en bij extreme overstuiving ook Grijze duinen (H2130), Duinstruwelen (H2160 en 2170) en Duinbossen (H2180). Vernietiging van deze habitats door overstuiving wordt hier verder buiten beschouwing gelaten. Overstuiving met kalkhoudend zand als randvoorwaarde voor het in stand houden van een vochtige duinvallei speelt alleen in type H2190-b (kalkrijk).

Vochtige duinvalleien kunnen ontstaan door afsnoering van een strandvlakte wanneer zeewaarts een nieuwe duinenrij ontstaat (primaire vallei) of door uitstuiving tot op het grondwater waardoor een nieuw reliëfelement ontstaat (secundaire vallei). Kenmerkend zijn fluctuaties in de grondwaterstand zowel door het jaar heen als tussen jaren.

Kalkrijke vochtige duinvalleien onderscheiden zich van de andere typen door een grotere basenrijkdom en een hogere pH. Overstuiving met kalkhoudend zand kan hierbij een rol spelen. Daarnaast is overstuiving op de lange termijn bij een stijgende zeespiegel nodig voor bodemophoging, om te voorkomen dat de vallei geleidelijk aan onder water verdwijnt. Kenmerkend zijn de relatief jonge successiestadia. Door de grote ecologische variatie is het aantal kenmerkende soorten zeer groot.

Abiotische randvoorwaarden:
- Basisch tot zwak zure bodem;
- Zeer zoet tot licht brak grondwater;
- Instroming van kalkhoudend grondwater;
- Geen of incidentele overstroming met brak water;
- Lichte overstuiving met kalkhoudend zand in zwak- of niet gebufferde systemen.

Mogelijke effecten van suppleties:
- Toename zandaanvoer/doorstuiving -> toename overstuiving -> afname nat areaal
- Nieuwvorming HT2110 -> vergroten zoetwaterbel -> stijging GW -> toename nat areaal
- Nieuwvorming HT2110 -> afsnoering strand(vlakte) -> nieuwvorming
- Redynamiseren zeereep -> mogelijkheden voor uitstuiving -> nieuwvorming
- Toename kalkhoudend zand -> tegengaan verzuring -> verbetering kwaliteit kalkminnende vegetaties
- Andere mineraalinhoud -> onbekend?

Habitattype 2190-c Vochtige duinvalleien (ontkalkt)
Hierbij is van belang of verzuurde, ontkalkte omstandigheden door een toename van overstuiving als gevolg van suppleren wijzigen.

Qua vochtomstandigheden zijn deze valleien vergelijkbaar met kalkrijke valleien, zij het dat permanent natte omstandigheden minder een probleem vormen.

Abiotische randvoorwaarden:
- Zwak zuur tot zure bodem;
- Zeer zoet tot zwak brak grondwater;
- Geen of incidentele overstroming met brak water.

Mogelijke effecten van suppleties:

- Toename zandaanvoer/doorstuiving -> toename overstuiving -> afname nat areaal
- Nieuwvorming HT2110 -> vergroten zoetwaterbel -> stijging GW -> toename nat areaal
- Nieuwvorming HT2110 -> afsnoering strand(vlakte) -> nieuwvorming
- Redynamiseren zeereep -> mogelijkheden voor uitstuiving -> nieuwvorming
- Toename kalkhoudend zand -> tegengaan verzuring -> verbetering kwaliteit kalkminnende vegetaties, afname kwaliteit zure vegetaties
- Andere mineraalinhoud -> onbekend?

2.1.3 Oorzaak-effectrelaties

Voor dit onderzoek is van belang wat effecten van suppleties zijn op de abiotische randvoorwaarden van de genoemde habitattypen. Hierbij wordt uitgegaan van de combinatie van suppleren en dynamisch zeereepbeheer, dat wil zeggen geen onderhoud van de zeereep anders dan door middel van suppleren het op zijn plaats houden van de basiskustlijn (dit kan dus ook locaties betreffen waar formeel geen dynamisch zeereepbeheer plaatsvindt, maar door de ontwikkelingen ter plekke geen onderhoud in wat voor vorm dan ook noodzakelijk is). De veronderstelling is dat op locaties met traditioneel beheer, dat wil zeggen vastleggen van verstuivingen, aanleggen van zandbuffers, versterken van de zeereep etc. met traditionele middelen zoals helmaanplant, stuifschermen, opschuiven van banketten etc. de effecten van dit beheer op de habitattypen zo dominant zijn dat eventuele effecten van suppleties geen noemenswaardige rol spelen.

Voor dit onderzoek beperken we ons tot effecten van suppleties op overstuiving en duinontwikkeling. Theoretisch zijn er meer effecten mogelijk, bijvoorbeeld verandering van de vooroevermorfologie door suppleren, waardoor brandingszones verschuiven en saltspray verandert; verbreding van de duinen waardoor de grondwaterbel uitbreidt etc. Figuur 2.1 toont een stroomschema waarin de relatie tussen suppleties op strand en vooroever met de verschillende morfologische processen wordt duidelijk gemaakt.

Mogelijke effecten suppleties

Met betrekking tot suppleties en manipuleren van suppleties t.b.v. natuurbeheer zijn er drie factoren waarmee gestuurd kan worden.

Suppletietype

- Duinsuppletie: duin wordt rechtstreeks aangebracht, structuur is kunstmatig, ecologisch minst gunstig;
- Strandsuppletie: zand wordt op het strand aangebracht, geen sortering van korrelgrootte door water mogelijk;
- Vooroeversuppletie: zand wordt op de vooroever aangebracht en kan door natuurlijke selectie op het strand en vervolgens in de duinen terecht komen;
- Mengvormen van bovenstaande typen.

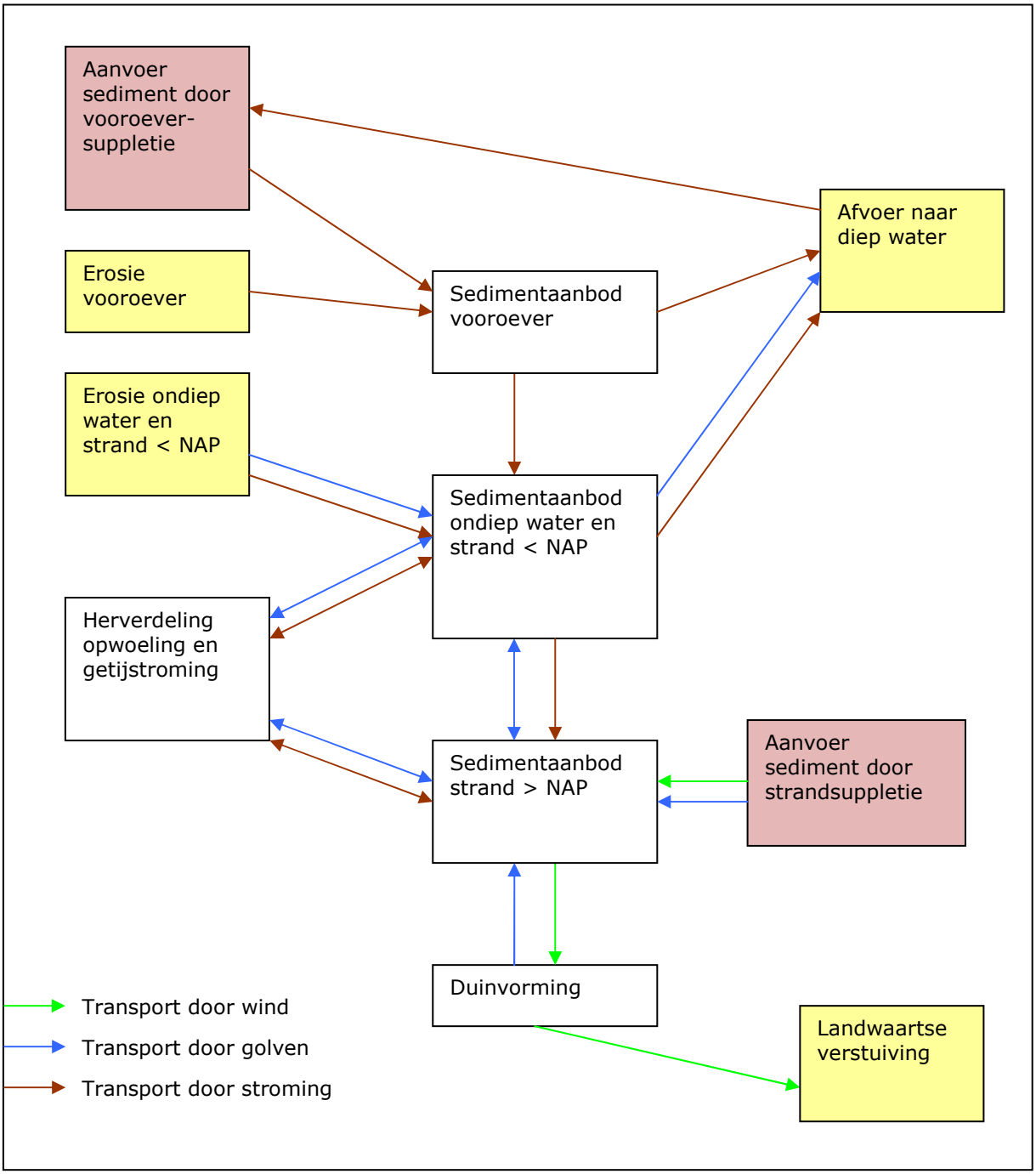
Suppletiehoeveelheid

- Overmaat: hoeveelheid is veel te groot voor op zijn plaats houden BKL;
- Genoeg: hoeveelheid is toerijkend voor op zijn plaats houden BKL;
- Krap: hoeveelheid is net wel of net niet toerijkend voor op zijn plaats houden BKL, maar aantasting zeereep blijft rol spelen.

Suppletiefrequentie

- Vaak: er wordt zo vaak gesuppleerd dat BKL op zijn plaats blijft en zeereepaantasting geen rol speelt;
- Genoeg: frequentie is toerijkend voor op zijn plaats houden BKL; incidentele aantasting zeereep;

- Krap: er wordt pas gesuppleerd als de BKL is overschreden en zeereepaantasting een feit is.



Figuur 2.1 Effecten van suppleties op processen op vooroever, strand en duinen. Naar Jeuken et al, 2005.

Wanneer suppleties aangepast zouden worden t.b.v. natuurbeheer kan bijvoorbeeld overwogen worden te wachten met suppleren tot de zeereep flink aangetast is, waardoor natuurlijke processen op gang kunnen komen, en vervolgens een overmaat te suppleren, waardoor in het geredynamiseerde complex nog eens een grote hoeveelheid zand binnen komt. Een andere overweging zou kunnen zijn een aantal jaren zo veel te suppleren dat zeereepvegetatie de hoeveelheid zandaanvoer niet bij kan benen en verstikt, waardoor redynamiseren op gang komt. Vanzelfsprekend zal dit alleen succesvol zijn wanneer traditioneel zeereepbeheer achterwege blijft.

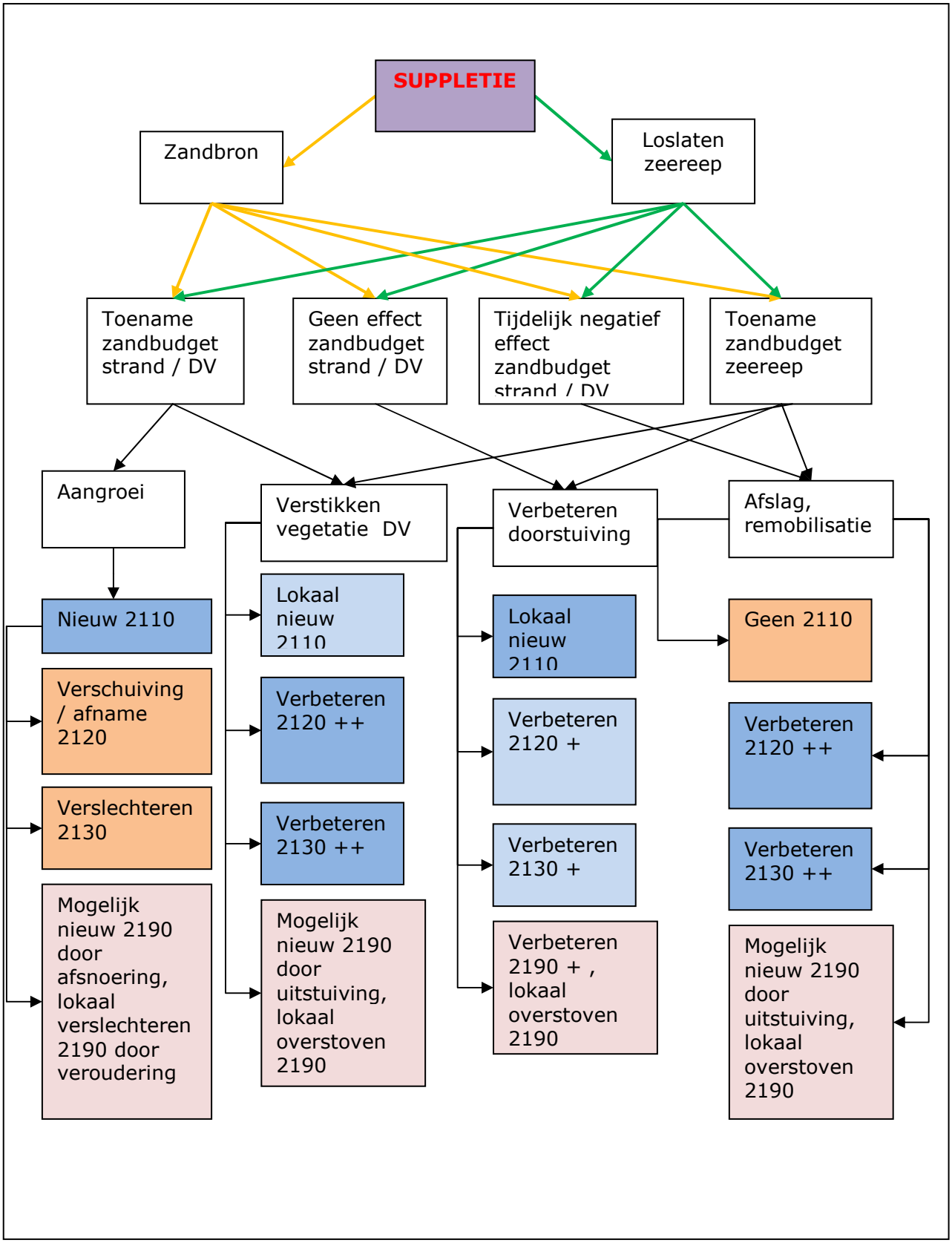
Uitgangspunten bij de mogelijke effecten van suppleties zijn:

- Dynamiek is een inherente eigenschap van een natuurlijk duinsysteem.
- Dynamiek in duinen is gevolg van een dynamisch evenwicht tussen beschikbare energie (wind), beschikbaar zand (zandbron) en vegetatie-eigenschappen (groeikracht) (zie voor een uitgebreide discussie over duinmobiliteit Arens et al., 2007a en b).
- Redynamiseren van een duin kan veroorzaakt worden door erosie, waarbij het zand opnieuw in beweging komt, of door (extreme) depositie, waarbij zoveel zand wordt afgezet dat de bestaande vegetatie verstikt.
- Verjonging is een natuurlijke eigenschap van duinsystemen. In een natuurlijk landschap is er een evenwicht tussen verjonging, veroudering en verdwijnen.
- Prioriteit in natuurbeheer in de zeeduinen en middenduinen ligt bij habitattypen van pioniersituaties, dus jonge systemen.
- De relevante habitattypen zijn gebaat bij een bepaalde mate van dynamiek.
- Door huidig gebruik van ruimte, historisch en huidig beheer van de kust is dit natuurlijke evenwicht verstoord; de natuurbeheerder moet dus stelling nemen: een bepaalde mate van interactie en/of sturing is onvermijdelijk wil men natuurdoelen nastreven.

Tabel 2.1 geeft een samenvatting van de mogelijke effecten van suppleties op de habitattypen, en welke processen daarbij een rol spelen. In de tabel is alleen rekening gehouden met morfologie en zandbudgetten. Eventuele effecten door veranderingen in korrelgrootte, kalkgehalte en/of mineraalinhoud zijn hier buiten beschouwing gelaten.

Tabel 2.1 Mogelijke effecten van suppleties op habitattypen (zonder zeereepbeheer).

Budget Duinvoet / strand	Budget Zeereep	Effect Duinvoet, Zeereep	Proces	Gradiënt	Effect landwaarts bestaande duinen	Hab. Type	Effect Habitat Type
++	++	overmaat, verstikken vegetatie	transgressieve duinen (primair), parabolisering?	compleet, strand tot binnenduin	groot	2110	lokaal nieuwvorming
						2120	++
						2130	lokaal overstoven, ++
						2190	lokaal overstoven, lokaal nieuwvorming, secundair kalkinput
+	0	overmaat, geen verstikken	aangroei, nieuwvorming duinen, mogelijk afsnoering	nieuwe gradiënt zeewaarts, beperken gradiënt landwaarts	klein/nihil	2110	++
						2120	+/-, verschuiving
						2130	-
						2190	mogelijk nieuwvorming, primair
0	+	kleine overmaat	overstuiving zeereep, lokaal doorstuiving, kleinschalig stuifkuilontwikkeling	verbeteren gradiënt binnenduin	matig	2110	lokaal nieuwvorming
						2120	+
						2130	+
						2190	+
-/--	-/+	afslag	transgressieve duinen (secundair), parabolisering, stuifkuilontwikkeling	compleet, strand tot binnenduin	groot	2110	ontstaat niet structureel
						2120	++
						2130	++
						2190	lokaal overstoven, lokaal nieuwvorming, secundair kalkinput
++ sterk positief; + positief; 0 neutraal; - negatief; -- sterk negatief							



Figuur 2.2 Stroomdiagram mogelijke effecten suppleties op habitattypen. Voor uitleg zie tekst.

Een en ander is gevisualiseerd in Figuur 2.2 *Stroomdiagram mogelijke effecten suppleties op habitattypen*. De kleuren in de figuur hebben de volgende betekenis: donkerblauw

geeft aan een sterk positief effect, lichtblauw een positief effect, oranje een negatief effect en roze een risico, zowel mogelijk positief als negatief. In het effectschema komen verschillende veronderstellingen voor, bijvoorbeeld een positief effect van een toename van verstuiving op habitattype 2130, door aanvoer van vers zand, kalk, vergroten strooizone enz., of een veronderstelde verstikking van de vegetatie bij een overmaat aan zandaanvoer. Deze veronderstellingen moeten in een vervolgtraject nader onderzocht worden.

2.1.4 Autonome ontwikkeling

Bij effectstudies is het altijd van belang de autonome ontwikkeling (van gebieden, van vegetatie etc.) te kennen (zie bijvoorbeeld Arens et al., 2007c). Suppleties zouden effecten op habitattypen kunnen hebben, maar de mate van effect, en de vraag of dit positief of negatief is, hangt mede af van de autonome ontwikkeling. Ook kunnen effecten elkaar versterken of verzwakken. Voor het gemak worden alle effecten die niet met suppleties samenhangen met autonome effecten aangeduid. Te denken valt aan klimaatsverandering en -variabiliteit, stikstofdepositie, recreatie, grootschalige kunstwerken, natuurlijke successie.

Met betrekking tot de relevante habitattypen geldt dat zowel embryonale, als witte, als grijze duinen gebaat zijn bij een zekere mate van dynamiek. In een ideale situatie blijven deze habitattypen in stand door een bepaalde mate van zandaanvoer. Ze verkeren dan in een dynamisch evenwicht. Wanneer dit evenwicht verstoord wordt, dan kunnen deze habitattypen door successie veranderen. Suppleties kunnen hier een rol in spelen. Anderzijds kan het zijn dat het evenwicht door diverse omstandigheden verstoord is. Suppleties (gecombineerd met dynamisch zeereepbeheer) kunnen dan een rol spelen bij het herstel van het dynamisch evenwicht.

Voor dit onderzoek is eigenlijk alleen van belang wat de autonome ontwikkeling met betrekking tot zandaanvoer is, en in hoeverre dit door suppleren verandert. Het meest relevant daarbij is de stormactiviteit over de beschouwde periode, maar ook tektonische bewegingen, zoals bijvoorbeeld bodemdaling in het gebied tussen Bergen en Petten, kunnen een rol spelen. In zijn algemeenheid kunnen we stellen dat stormen, en met name stormvloeden met een extreem waterpeil, verantwoordelijk zijn voor een herverdeling van zand in het kust profiel. Bij extreem hoog water slaat de zeereep af, en wordt het zand afgezet op het strand en de ondiepe vooroever. Bij minder extreme condities komt het zand over het algemeen terug in het duinprofiel. Wanneer over een bepaalde periode de frequentie van stormvloeden hoger is dan gemiddeld, dan zal het gevolg zijn dat gemiddeld genomen meer zand vanuit de zeereep naar strand en ondiepe vooroever wordt verplaatst. Het zandbudget van de zeereep zal dan minder positief, of zelfs negatief uit kunnen vallen. Wanneer de stormfrequentie juist lager is dan gemiddeld, dan zal netto meer zand richting zeereep getransporteerd worden, en zal het budget juist positiever worden.

Wanneer we de periode vanaf 1990 beschouwen, dan valt op dat het aantal stormen aanmerkelijk minder is dan in de jaren 70/80 van de vorige eeuw. Het is dus te verwachten dat dit zijn weerslag vindt in het zandbudget van de zeereep. Daarom zal in dit onderzoek een analyse worden gemaakt van stormfrequentie. Eventuele trendbreuken in aanzanding kunnen dan vergeleken worden met veranderingen in stormactiviteit.

3 Gegevens en methoden

Voor een analyse van de ontwikkeling van de zeereep zijn verschillende gegevensbronnen van belang. Voor de lange-termijnontwikkeling zijn sinds 1964 hoogtegegevens van dwarsprofielen beschikbaar in het Jarkusbestand (Jaarlijkse Kustmetingen). Sinds 1997 wordt de hoogteligging van de gehele kust gebiedsdekkend opgenomen met behulp van laseraltimetrie, de zogenaamde AHN-bestanden. Daarnaast is beeldmateriaal beschikbaar via vele bronnen. Digitale en geo-gerefereerde beelden zijn bij Rijkswaterstaat beschikbaar sinds 1996.

3.1 Jarkusgegevens

Met Jarkus-gegevens kan een budgetanalyse alleen voor profielen met een onderlinge afstand van ca 250m worden uitgevoerd. Uit diverse onderzoeken (bijv. Arens & Wiersma, 1994) is gebleken dat de Jarkus-profielen uitermate geschikt zijn om een lange-termijn ontwikkeling op strand en duin te onderzoeken. Juist in gebieden "waar wat gebeurt" blijken de profielgegevens een goed beeld te geven van de verschillende trends.

De volgende stappen worden doorlopen:

- Lange termijn volumeveranderingen, periode 1964-2008
  - Kwantificeren van zandbudget voor strand en zeereep voor korte termijn voor profielen.
  - Bepalen van suppletiegeschiedenis.
  - Bepalen van trends en trendbreuken in budgetten als gevolg van suppleren.
  - Betrouwbaarheidsanalyse.

3.1.1 Beschikbaarheid data

De Jarkus-gegevens zijn beschikbaar sinds 1964, voor een profielenstelsel dat langs de gehele kust is ingericht. Over het algemeen hebben de profielen een onderlinge afstand van 200m (Wadden, Delta) tot 250m (Hollandse kust). De profielen worden zowel onder- als bovenwater opgenomen. De onderwatermetingen worden verricht door lodingen. De bovenwatermetingen zijn tot 1997 fotogrammetrisch uitgevoerd aan de hand van luchtfoto's, vaak aangevuld met waterpassingen op het strand. Sinds 1997 worden de hoogtemetingen afgeleid uit de laseraltimetriegegevens.

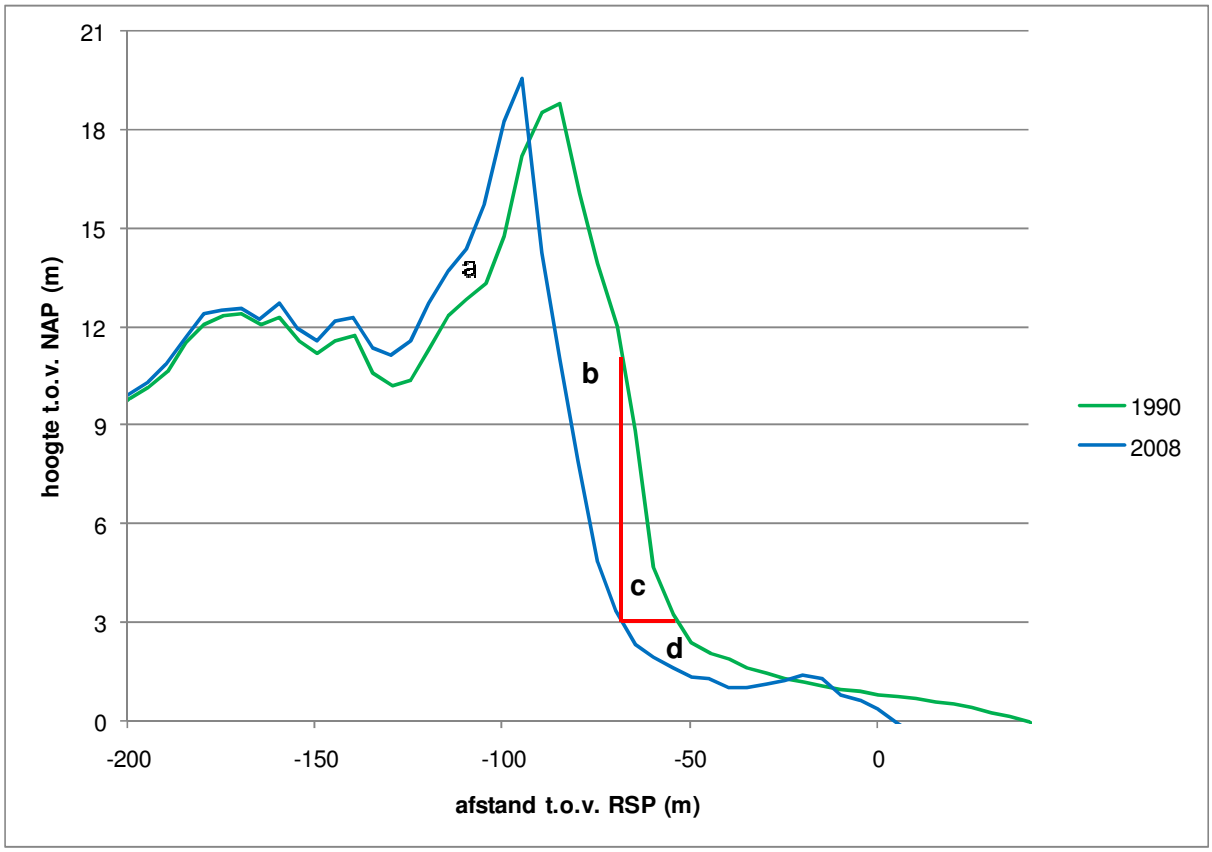
3.1.2 Betrouwbaarheid data

De betrouwbaarheid van de hoogtegegevens is voldoende om flinke hoogteveranderingen, orde 10cm's of meer vast te stellen. Bepaalde trends in de ontwikkeling, zoals de geleidelijke ophoging door overstuiving, of juist verlaging door erosie, zijn over het algemeen goed waarneembaar als ze over een voldoende lange periode bekeken worden. Bij de volumeberekeningen is gebleken dat er sprake is van een enorme fluctuatie (zigzag-profielen) van jaar tot jaar. Daarbij worden transporthoeveelheden vastgesteld die onrealistisch groot kunnen zijn, waarbij opvallend is dat een enorme aanwas in het ene jaar vrijwel altijd vooraf gegaan wordt door een enorme afname in het jaar ervoor of erna. Het is waarschijnlijk dat dit het gevolg is van meetfouten en voor veel gevallen kan dit ook inderdaad aangetoond worden, als bijvoorbeeld een jaar duidelijk afwijkt van de jaren ervoor en erna. Dit betekent dat de

Jarkus-gegevens niet goed kunnen worden gebruikt (net zo min als de AHN-gegevens) voor een jaar-tot-jaar verandering, tenzij de fouten gefilterd kunnen worden (handmatig kunnen veel fouten opgespoord en gecorrigeerd worden, maar dit is zeer arbeidsintensief werk). Wel kunnen deze jaar-tot-jaargegevens worden gebruikt voor trendberekeningen over een langere periode. Trendbreuken zijn met deze gegevens ook op te sporen. Het is nog niet onderzocht welke minimale periode in beschouwing moet worden genomen om betrouwbare (realistische) gemiddelden te krijgen.

3.1.3 Methode uitwerking

De Jarkus-gegevens worden in deze fase van het onderzoek gebruikt voor de bestudering van de lange-termijnontwikkeling in de proefgebieden en eventuele trendbreuken daarin. In eerste instantie worden de profielgegevens gebruikt om grafieken te plotten en een visuele beoordeling van de ontwikkeling te maken. Hiermee worden ook eenvoudig grote fouten in de data duidelijk. Op grond van de visuele beoordeling wordt een classificatie van het profiel gemaakt. Vervolgens worden volumeberekeningen uitgevoerd. Waar mogelijk worden fouten aangegeven. Het is echter ondoenlijk (te arbeidsintensief) om voor alle jaren en alle profielen alle fouten op te sporen en te verwijderen. Jaren waarvoor de gegevens duidelijk onjuist zijn worden buiten beschouwing gelaten.

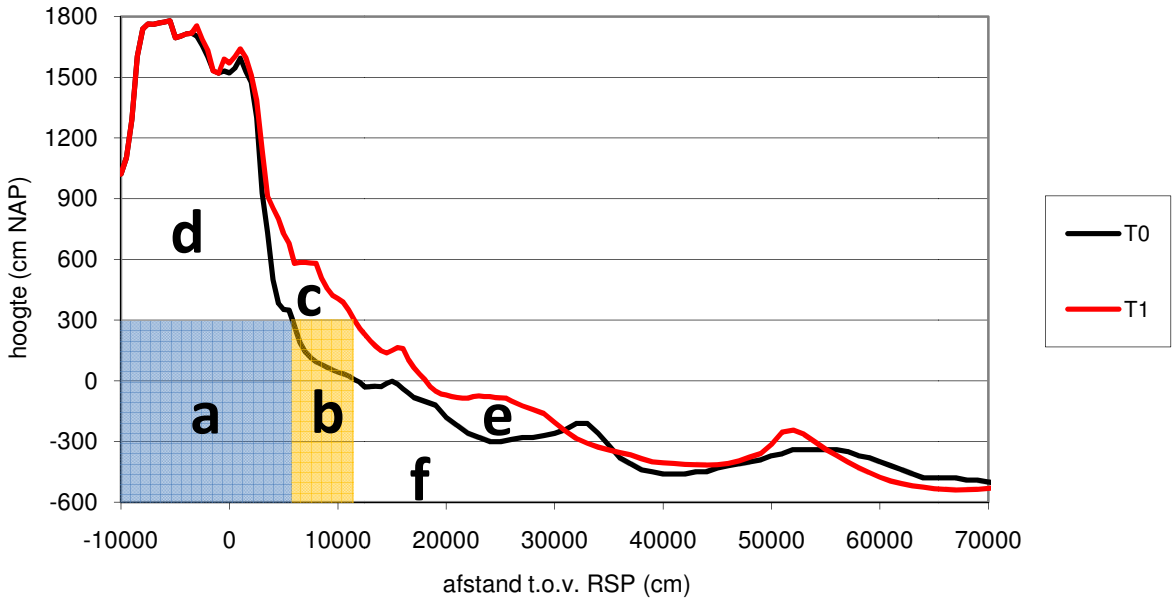


Figuur 3.1 Methode van kuberen. Totale verschil duinvolume is a (overstuiving) + b (afslag, landwaarts van duinvoet 2008) + c (afslag tussen duinvoet 1990 en 2008). Strand- en onderwateroever (d) blijft in deze berekening buiten beschouwing.

Voor de volumeberekeningen is de keuze gemaakt ieder jaar de duinvoet (3m NAP) als grens van het te beschouwen gebied te nemen (*Figuur 3.1*). Het verschil tussen twee jaren, zoals geïllustreerd in de grafiek, is dan de som van a+b+c (met b en c in dit geval negatief). Het deel onder 3m NAP (d in de grafiek) wordt bij de analyse van de veranderingen op de onderwateroever meegenomen en niet bij deze analyse. Een andere keuze zou kunnen zijn de duinvoet in het laatste jaar als grens te beschouwen. Nadeel is dat in geval van afslag situaties geen inzicht ontstaat in de totale hoeveelheid duinvolume die ontrokken wordt aan het systeem, deel c uit de grafiek mist dan immers.

Gezien de vraagstelling van het onderzoek is het belangrijk inzicht te krijgen in de totale zandbalans, om uiteindelijk een uitspraak te kunnen doen of het totale duinvolume toe- of afneemt en wat het effect van suppleties daarop is. Vandaar dat gekozen is voor de eerst genoemde aanpak. Dus het verschil tussen 1990 en 2008 zoals geïllustreerd in de grafiek is de som van a (overstuiving) + b (afslag, negatief volume) + c (afslag, negatief volume). Idealiter zouden compartimenten a en b+c apart berekend worden, om optimaal procesinzicht te verkrijgen. Dit is echter vooralsnog een te tijdrovende exercitie. Als landwaartse begrenzing wordt een vastpunt aan de achterkant van de zeereep genomen, waarvan op grond van de gegevens duidelijk is dat de veranderingen hier beperkt of verwaarloosbaar zijn. Voor jaren of delen van het profiel waar geen gegevens beschikbaar zijn wordt zoveel mogelijk geïnterpoleerd. Voor alle jaren wordt dezelfde begrenzing gehanteerd. De verschilberekening is gebaseerd op een berekening van het totale volume van de zeereep tussen duinvoet (3m NAP) en de landwaartse begrenzing. Op basis van deze volumeberekening is een goede trendanalyse te maken.

In hoofdstuk 6 wordt een vergelijking gemaakt tussen de ontwikkeling van de vooroever met strand en de ontwikkeling van de zeereep. Hiertoe is gebruik gemaakt van de volgende methode. De data van Brière (2010) zijn gebruikt, maar aangepast om de ontwikkeling van volumes te kunnen vergelijken en om een berekening van het totaal volume van het kustprofiel, dus van vooroever tot de achterkant van de zeereep te kunnen maken. Daartoe is het kustprofiel onderverdeeld in een zone onder 3m NAP (vooroever, strand en alles wat onder de duinen, beneden 3m NAP ligt) en een zone boven 3m NAP (duinen: alles wat door de wind boven 3m NAP is afgezet). Het MCL-volume zoals gehanteerd door Brière (2010) is het volume tussen de duinvoet (3m NAP) en circa -5m NAP. In *Figuur 3.2* is dat voor T0 gelijk aan f+b, voor T1 gelijk aan f+e. Het zeereepvolume zoals dat voor dit rapport berekend is, is voor To gelijk aan d en voor T1 gelijk aan d+c. Voor een berekening van het totale volume van het kustprofiel moeten ook de volumes a en b worden meegerekend. Voor T0 komt het totale volume dan uit op d+a+f en voor T1 op d+c+a+b+f+e. Het hele profiel wordt dan dus berekend ten opzichte van een minimum waarde, circa -5m NAP. Over de bepaling van deze minimumwaarde wordt verwezen naar Brière (2010).



Figuur 3.2 Berekening volumes voor koppeling vooroever/strand en zeereep

3.2 Laseraltimetrie

LA-gegevens geven 3D-informatie over de hoogte sinds 1997 en worden verwerkt in ArcGIS, met extensies Spatial Analyst en 3D Analyst. De hoogtegegevens zijn beschikbaar in 5x5m^2 grids. Met LA-gegevens kunnen zandbudgetten vlakdekkend worden bepaald. Voor een willekeurig op te geven kustvak kan voor een periode tussen 1997 en 2008 het volume, en de volumeverandering van de zeereep worden bepaald. Voor dit rapport wordt het AHN gebruikt om morfologische veranderingen te kwantificeren en vlakdekkend in beeld te brengen.

3.2.1 Beschikbaarheid data

De beschikbaarheid van de LA-data is weergegeven in *Tabel 3.1*. De opgenomen arealen wisselen nogal per jaar, waardoor ook de oppervlaktes van de verschilkaarten iedere keer variëren, met gevolgen voor de resultaten, zoals hieronder zal blijken.

Tabel 3.1 Overzicht beschikbare data Laseraltimetrie. X: geen data beschikbaar

	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09
Schiermonnikoog		x			x		x						
Ameland					x		x						
Terschelling					x		x						
Vlieland				x			x						
Texel				x		x							
Noord-Holland				x*		x							
Rijnland	x			x		x							
Delfland				x		x							
Maasvlakte	x			x		x							
Voorne				x		x							
Goeree				x		x							
Schouwen													
Noord-Beveland													
Walcheren													
Zeeuws-Vlaanderen													

*Geen AHN-data, wel Jarkus. Profiel ligt te hoog.

Vanwege de onvolledige beschikbaarheid tot 2004 is het slechts voor een beperkt aantal kustvakken mogelijk jaarlijkse volumeveranderingen te bepalen. Voor een bespreking van betrouwbaarheid en methode van uitwerking van de LA-data wordt verwezen naar het RWS-rapport (Arens, 2009b).

3.2.2 Betrouwbaarheid data

De betrouwbaarheid van de hoogtegegevens is voldoende om flinke hoogteveranderingen, orde 10cm's of meer vast te stellen. Bepaalde trends in de ontwikkeling, zoals de geleidelijke ophoging door overstuiving, of juist verlaging door erosie, zijn over het algemeen goed waarneembaar als ze over een voldoende lange periode bekeken worden. De periode 1997-2008 is inmiddels lang genoeg om dit soort ontwikkelingen te volgen en te kwantificeren. Daarmee zijn de LA-data uitermate bruikbaar om snel inzicht te krijgen in structurele, niet incidentele veranderingen langs de gehele kust. Met de gegevens kan ook de gradiënt in overstuiving vanaf de zeereep landinwaarts worden vastgesteld, maar de mate van overstuiving in de achterliggende duinen is over het algemeen te klein om met LA-gegevens over een periode van 10 jaar te kunnen worden bepaald. Dit zou wel op simpele wijze met behulp van aanvullende veldmetingen kunnen worden bepaald (niet binnen dit onderzoek). De overstuiving achter de zeereep is juist van belang als abiotische randvoorwaarde voor habitattype 2130 (Grijs duin).

Bij bestudering van de data is gebleken dat niet in alle kustvakken het systeem gesloten is, d.w.z. niet overal is de hoogte gemeten tot een punt landwaarts van de zeereep waar geen zandtransport meer plaatsvindt. Dat betekent dat op sommige plaatsen de volumeveranderingen onderschat worden. De fouten die hiermee gemaakt worden zijn echter beperkt, omdat verreweg het grootste deel van het transport zich binnen de zeereep zelf afspeelt. Waar relevant, zal aan deze fout aandacht worden besteed.

Tot ca 2003 is de nauwkeurigheid geringer dan in de latere jaren. Er zijn duidelijke afwijkingen te vinden, bijvoorbeeld jaren die structureel te hoog of te laag zijn. De verschilberekeningen geven dan onrealistische resultaten. Hetzelfde treed overigens op bij de Jarkus-gegevens (zie hierboven).

Daarnaast blijkt de filtering van vegetatie in een aantal kustvakken onvoldoende te zijn, waardoor ook vegetatiegroei (met name ontwikkeling van struwelen) als hoogteverandering wordt aangemerkt, en er dus een positief volumeverschil kan worden berekend als de dichtheid of hoogte van struwelen op een oppervlak toeneemt, en een negatief als door verbeterde technieken vegetatie beter wordt gefilterd (en er dus sprake lijkt van een plotselinge verlaging). Hier moet in de interpretatie rekening worden gehouden. Eigenlijk zou voor een nauwkeurige verschilberekening oppervlak met struweel uit de data verwijderd moeten worden. In ieder geval moet goed onderzocht worden hoe groot het aandeel struweelontwikkeling in de positieve zandbalans is.

Ook verschuivingen in de XY zorgen voor een bron van ruis. Een kleine verschuiving kan tot een groot hoogteverschil leiden (en een jaar later tot een tegengesteld hoogteverschil).

Tot slot leidt ook de beschikbaarheid van data zelf tot onnauwkeurigheid, doordat bij iedere periode een verschillend oppervlak wordt geanalyseerd. Dit kan het beste geïllustreerd worden aan de hand van een voorbeeld. De LA-data van 2003 geven voor de meeste kustvakken een te lage hoogte, waardoor voor de meeste kustvakken de berekende volumeverandering te laag is, in een aantal gevallen zelfs fors negatief. De LA-data van 2004 zijn voor een kleiner oppervlak opgenomen. Een deel van het (onjuiste) negatieve volume wordt daardoor niet gecompenseerd in het volgende jaar. Bij jaar-tot-jaar berekeningen ontstaan daardoor niet bestaande verliezen of winsten. Om dit te vermijden zouden voor alle jaren exact dezelfde oppervlakken geanalyseerd moeten worden. Dit is echter een extra bewerking die veel tijd kost, en geeft bovendien voor de jaren waarover grotere oppervlakken zijn opgenomen een verlies aan detail dat niet gewenst is. De jaar-tot-jaar berekeningen dienen eigenlijk vooral ter illustratie. Als gezegd is het in verband met de nauwkeurigheid wenselijk de volumeberekeningen over een grotere periode te laten plaatsvinden. Vooralsnog wordt er vanuit gegaan dat de berekeningen voor 1997-2006, 1997-2007, 1997-2008 en 1999-2008 realistische verschillen geven. Hier zal bij de behandeling van de studielocaties op terug gekomen worden. Het jaar 1998 geeft voor veel kustvakken een te hoge hoogte, waardoor dit jaar ten behoeve van de analyse niet wordt meegenomen.

3.2.3 Methode uitwerking

Voor de berekening van duinvolumes en –veranderingen is gebruik gemaakt van een vaste hoogte van de duinvoet van 3m NAP. Uitgangspunt is dat alle hoogteveranderingen boven 3m NAP het gevolg zijn van transport door de wind. Dit geldt alleen voor positieve volumeveranderingen. Bij negatieve volumeveranderingen zijn veranderingen boven 3m NAP vaak het gevolg van afslag, maar kunnen ook het gevolg zijn van winderosie. Hier is niet op te onderscheiden. De volumeveranderingen zijn gebaseerd op verschilkaarten, dus kaarten met daarin het verschil in hoogte tussen jaar 1 en jaar 2. De berekening geeft een netto verschil, dus de som van eventuele verliezen en winsten. Combinatie met duinvoetverplaatsing leert of in een betreffend kustvak sprake is van afslag (of achteruitgang door winderosie).

De kustvakken zijn opgedeeld in cellen van 1 km, vanaf strandpaal tot strandpaal. Voor de uiteindelijke volumeverandering is gebruik gemaakt van het volgende algoritme:

1. als hoogte_jaar2>3m EN hoogte_jaar1>3m dan verschil = hoogte_jaar2 - hoogte_jaar1
   (in beide jaren ligt de hoogte boven 3m NAP en is sprake van duin, het hoogteverschil is het gevolg van overstuiving)
2. als hoogte_jaar2>3m EN hoogte_jaar1<3m dan verschil = hoogte_jaar2 – 3m
   (in jaar 1 ligt de hoogte nog onder 3m NAP, in jaar 2 boven 3m NAP, de hoogte in jaar 2 boven 3m NAP is het gevolg van overstuiving)
3. als hoogte_jaar2<3m EN hoogte_jaar1>3m dan verschil = 3m - hoogte_jaar1
   (in jaar 2 ligt de hoogte onder 3m NAP, in jaar 1 lag die boven 3m NAP, het verschil is veroorzaakt door afslag of winderosie, het verschil tot 3m NAP is een onttrekking van het duinvolume)
4. als hoogte_jaar2<3m EN hoogte_jaar1<3m dan geen verschil berekenen
   (in beide jaren ligt de hoogte onder 3m NAP en is geen sprake van duin)

Ad 1. Verschillen zijn 100% het gevolg van duinontwikkeling.
Ad 2. Verschillen zijn 100% het gevolg van duinontwikkeling. Er is sprake van een kleine onderschatting wanneer de werkelijke duinvoet in jaar1 onder 3m NAP ligt (bijvoorbeeld duinontwikkeling op het strand, vanuit embryonale duinen, vaak onder het niveau van 3m NAP), of wanneer landwaarts van de duinvoet een hoogte lager dan 3m NAP voorkomt, die overstoven wordt (bijvoorbeeld een achterliggende duinvallei die overstoven wordt, vaak onder het niveau van 3m NAP), maar door dit algoritme niet mee telt in de verschilberekening.
Ad 3. Afslag en winderosie zijn via de verschilberekening niet van elkaar te onderscheiden. Wanneer de duinvoet op zijn plek blijft liggen en de hoogte beneden 3m NAP landwaarts in het profiel voorkomt, dan is de verlaging zeker het gevolg van uitstuiving. De uitstuiving beneden 3m NAP wordt in deze verschilberekening dan niet meegenomen.
Ad 4. Kleinschalige duinontwikkeling op het strand of tegen de duinvoet wordt door deze berekening buiten beschouwing gelaten.

De fouten die door deze verschillen veroorzaakt worden zijn gering. Per kustvak zal aangegeven worden of deze fouten optreden en of hun rol van belang is.

3.3 Luchtfoto's

Luchtfoto's worden gebruikt voor aanvullende (meer detail) informatie over de morfologische veranderingen en overstuivingspatronen, dus over de wijze waarop het binnenkomende zand verdeeld wordt over de zeereep. In een volgende fase zal dit gekoppeld worden aan informatie over de habitats, zowel voor wat betreft oppervlak als kwaliteit. Aanvullend op de AHN-gegevens geven luchtfoto's bovendien visuele informatie over de onderzoekslocaties, waarmee mate en aard van begroeiing kan worden bepaald. Met behulp van luchtfoto's kunnen gedetailleerde karteringen worden gemaakt, tot een schaal van ca 1:2500.

Luchtfoto's worden gebruikt voor de volgende onderdelen:

- Inventarisatie van morfologische veranderingen en overstuivingspatronen
  - Detailstudies van vormveranderingen
  - Overstuivingszones rondom erosieve verschijnselen
  - Overstuivingsgradiënten in de zeereep
- Vegetatie (voor zover relevant voor geomorfologie)

In een vervolgtraject kunnen de luchtfoto´s gebruikt worden voor het karteren van habitattypen.

3.3.1 Beschikbaarheid data

Er zijn via vele bronnen luchtfoto's beschikbaar, echter lang niet altijd digitaal en gegeorefereerd. Bij Rijkswaterstaat zijn wel voor verschillende jaren digitale, gegeorefereerde foto's beschikbaar. Deze worden voor dit onderzoek gebruikt. Vooralsnog wordt er vanuit gegaan dat dit voldoende informatie oplevert, en geen foto's via andere bronnen gezocht hoeven te worden. Bij de duinbeheerders zijn ook digitale, gegeorefereerde foto´s van verschillende jaren beschikbaar.

Tabel 3.2 Beschikbaarheid luchtfoto´s

opnamedatum	format	resolutie	beschikbaarheid
06 t/m 10-1996	Full colour	1 m^2	RWS
06-2000	Full colour	0.5 m^2	RWS
04 t/m 10-2003	Full colour	0.5 m^2	RWS
09 t/m 10-2005	Full colour	0.4 m^2	RWS
05 t/m 07-2006	Full colour	0.5 m^2	RWS
04-2007	Full colour	0.4 m^2	RWS
voorjaar 2008	Full colour	0.25 m^2	RWS
2009	Full colour	0.25 m^2	RWS

3.3.2 Betrouwbaarheid data

Voor wat betreft de betrouwbaarheid moet met verschillende zaken rekening worden gehouden. Ten eerste is er de locationele precisie. Deze is makkelijk vast te stellen, omdat bij inspectie van de luchtfoto's onmiddellijk blijkt of een object op de verschillende foto's op exact dezelfde plaats ligt. Het blijkt dat er nogal forse afwijkingen kunnen voorkomen, waardoor er sprake is van een verschuiving in de orde van 5-8m, soms meer. Deze afwijking ligt dan in dezelfde orde als het formaat van kleine verschijnselen die gekarteerd worden.

Ten tweede spelen bij luchtfoto's altijd kleurverschillen, waardoor de interpretatie het ene jaar anders uit kan vallen dan het andere jaar. Omdat voor dit onderzoek vooral gekeken wordt naar kaal zand, al dan niet begroeide oppervlakken, en vormontwikkeling, speelt deze fout hier nauwelijks een rol.

Ten derde is de resolutie van de foto van belang. De resolutie neemt in de loop van de tijd toe. Op de oudste digitale foto's (1996) zijn de minste details herkenbaar.

Tot slot is het opnametijdstip van groot belang. Juist voor de beoordeling van de mate van verstuiving, en dus de dynamiek van een gebied, is de opnamedatum extreem belangrijk. Een beeld van april, aan het eind van het stormseizoen en het begin van het groeiseizoen geeft een totaal andere indruk dan een beeld van oktober, aan het eind van het groeiseizoen en het begin van het stormseizoen, zowel doordat de mate van overstuiving dan anders is, als dat de mate van begroeiing dan anders is. Wanneer van een serie luchtfoto's de opnamedatum zo veel scheelt, dan moet hier bij de interpretatie goed rekening mee worden gehouden. Op dit moment zijn de exacte opnamedata van de foto's voor de verschillende proefgebieden nog niet uitgezocht.

Als voorbeeld zijn de luchtfoto's van 1996 lastig te interpreteren. De resolutie is minder dan bij de andere foto's, het opnametijdstip wijkt af (zomer), waardoor de dynamiek veel minder lijkt dan in andere jaren, en het contrast van de foto is slecht. Het onderscheid tussen bijvoorbeeld stuifkuilen of kale plekken is daardoor niet altijd te maken.

3.3.3 Methode uitwerking

Per locatie wordt een kwalitatieve beschrijving gegeven van de huidige morfologie en de ontwikkeling sinds ca. 1996. Voor twee jaargangen, meestal 1996 en 2007 zijn de dynamiek gekarteerd en de ontwikkeling van dynamiek gekwantificeerd. Hoewel 1996 niet de meest geschikte luchtfoto is voor interpretatie, is het wel de oudste. De

eerstvolgende dateert van 2000. Daarom is er toch zo veel mogelijk voor gekozen 1996 als uitgangssituatie te nemen. Voor enkele gebieden is van 1996 geen opname beschikbaar (Terschelling, Castricum, Wassenaar). Voor de kartering zal gebruik worden gemaakt van dynamische, morfologische eenheden volgens onderstaande legenda:

Z	Kale plek, geen specifieke vorm
S	Stuifkuil: omgrenzing, erosief
K	Kerf: omgrenzing, erosief
E	Embryoduinen
Ba	Beheersmaatregel: aanplant
Bs	Beheersmaatregel: stuifschermen
Bp	Mechanische herprofilering
R	Recreatie (strandhuisjes etc)

De veranderingen van oppervlakken van deze eenheden in de loop van de tijd geven inzicht in de toe- of afname van dynamiek, en de effecten van dynamisch zeereepbeheer. De ruimtelijke verspreiding van eenheden geeft inzicht in doorwerking van dynamiek landwaarts. In een vervolgtraject zal uitgezocht moeten worden in hoeverre een natuurlijkere morfologie en/of een grotere dynamiek zich ook vertaald in betere omstandigheden voor de ontwikkeling van de verschillende habitattypen, zowel wat betreft kwantiteit als kwaliteit.

3.4 Suppletiegegevens

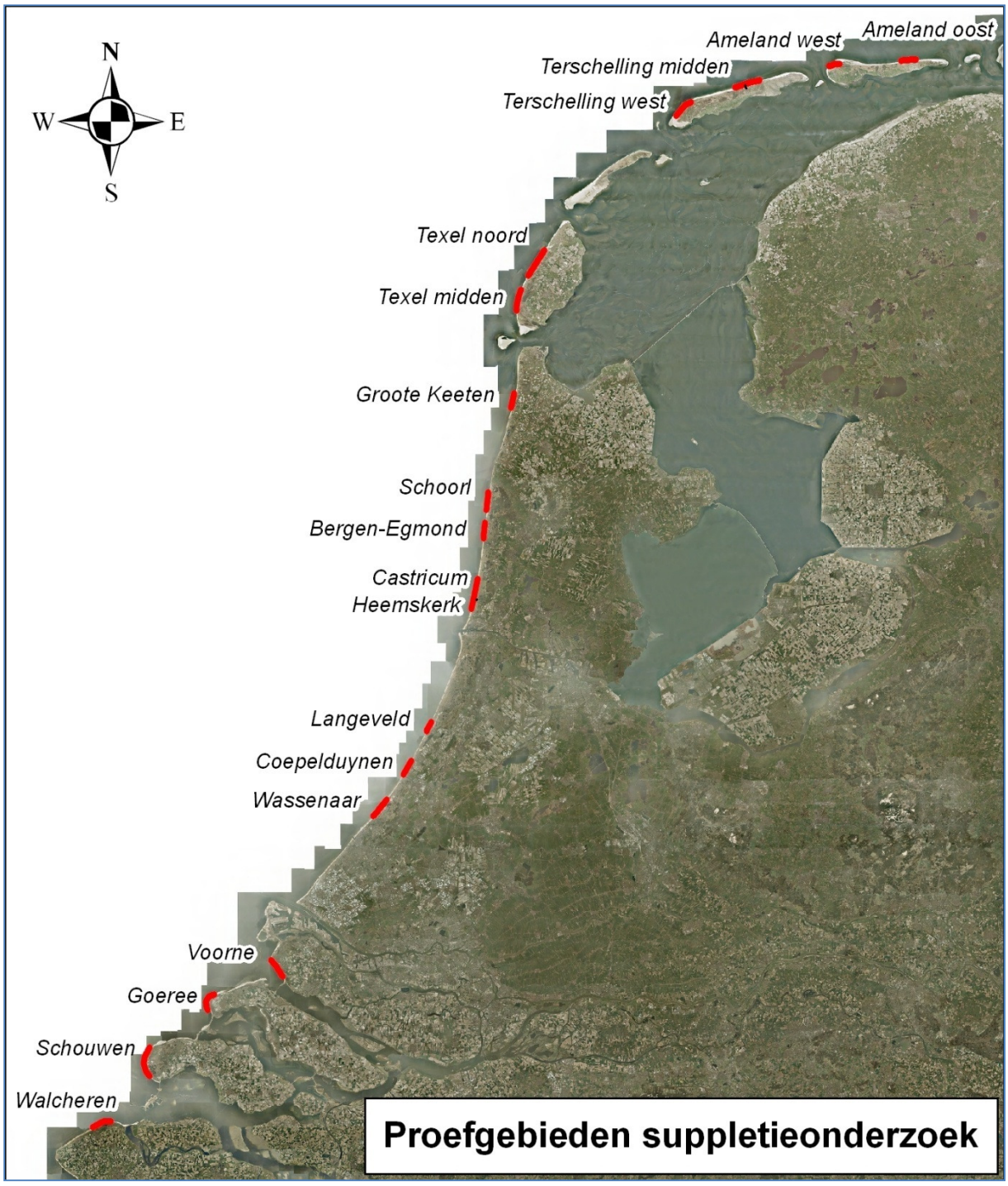
De gegevens over suppleties worden bijgehouden door Rijkswaterstaat. Voor onderzoek is een spreadsheet beschikbaar met daarin de ruimtelijke gegevens van de suppleties, periode van aanleg, type en hoeveelheid. Het spreadsheet wordt jaarlijkse aangevuld. Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van gegevens tot en met 2009 (Rijkswaterstaat, 2009).

4 Locatie keuze

Bij de aanpak en de keuze van de locaties is het van belang dat het gehele systeem, vooroever, strand, zeereep tot eindpunt van de overstuiving wordt onderzocht zodat de resultaten kunnen bijdragen aan de systeemkennis. Uitgangspunt is dat het onderzoek resultaten oplevert op basis waarvan een doorvertaling naar Natura 2000 doelen en daarmee samenhangende eisen aan de uitvoering van zandsuppleties gemaakt kan worden. De vooroever komt in deze studie slechts beperkt aan bod.

Voor dit onderzoek zijn locaties geselecteerd waar morfologisch gebied belangrijke veranderingen zijn opgetreden, en die onderscheidend zijn in mate van suppleren: veel – weinig - niet. De volgende locaties worden in deze fase onderzocht (zie ook *Figuur 4.1*):

- Ameland oost (RSP 17.00-20.00): zowel op strand als op vooroever eenmaal gesuppleerd. Sterk aanstuivende zeereep met vooral toename van de hoogte en embryonale duinen aan de voorzijde. Weinig morfologische veranderingen.
- Ameland west (RSP 3.00-5.00): tweemaal op het strand en eenmaal op de vooroever gesuppleerd. Strandontwikkeling onder invloed van strandhaak. Weinig morfologische veranderingen, vooral aan- en overstuiving en embryonale duinen en lokaal kleinschalige stuifkuilen.
- Terschelling midden (RSP 15.00-20.00): één van de eerste vooroeversuppleties. Extreem dynamische zeereep als gevolg van ingrepen; zeer sterke doorstuiving en winderosie in de oude zeereep, lokaal kerfvorming.
- Terschelling west (RSP 2.00 – 6.00): nooit gesuppleerd. Extreme zandaanvoer o.a. gerelateerd aan zandplaten, met extreme overstuiving van de zeereep. Belangrijke morfologische ontwikkeling: parabolisering, aanvankelijk vanuit stuifkuilen in de zeereep, uitgegroeid tot kerven.
- Texel noord (RSP 18.00-24.00): veelvuldig op het strand gesuppleerd, tweemaal op de vooroever. Overduidelijke invloed op het sedimentbudget. Weinig morfologische veranderingen, voornamelijk aanstuiving en lokaal (en incidenteel) embryonale duinen.
- Texel midden (RSP 11.00-15.00): veelvuldig gesuppleerd op strand en vooroever. Overduidelijke invloed op het sedimentbudget. Kleinschalige erosieve vormen in het middengebied dat al langer dynamisch beheerd wordt (zie Arens et al., 2003), en lokaal aan de zuidkant, voornamelijk aan- en overstuiving in de rest van het gebied. Bemonsterd voor korrelgrootte en chemische analyse.
- Groote Keeten (RSP 8.00-11.00): noordkant vrijwel niet gesuppleerd, zuidkant regelmatig gesuppleerd, afwisselend op strand en onderwater. Belangrijke morfologische ontwikkeling met stuifkuil- en kerfontwikkeling en embryonale duinen. Bemonsterd voor korrelgrootte en chemische analyse.
- Schoorl (RSP 28.00-31.50): onderzoekslocatie duurzame verstuiving, duinvorming, enkele keren gesuppleerd op strand en onderwater. Bemonsterd voor korrelgrootte en chemische analyse.
- Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00): belangrijke geomorfologische ontwikkeling, beperkt gesuppleerd. Bemonsterd voor korrelgrootte en chemische analyse.
- Ten zuiden van Castricum (RSP 45.00-48.50): eenmaal op het strand gesuppleerd. Voornamelijk aanstuiving en lokale stuifkuilontwikkeling aan de noordkant, kerfontwikkeling aan de zuidkant,



Figuur 4.1 Overzicht proefgebieden

- Heemskerk (RSP 48.50-51.00): eenmaal op het strand gesuppleerd. Kerfontwikkeling en parabolisering aan de noordkant, stuifkuilontwikkeling en aanzanding aan de zuidkant.
- Langeveld (RSP 74.50-76.50): eenmaal onderwater gesuppleerd. Voornamelijk aanstuiving aan de voorzijde van de zeereep. Geen erosieve structuren.
- Coepelduynen (RSP 83.00-86.00): eenmaal onderwater gesuppleerd. Voornamelijk aanstuiving aan de voorzijde en eerste top van de zeereep. Geen erosieve structuren. Achter de zeereep is er sprake van een grote mate van dynamiek met de ontwikkeling van een enorme hoeveelheid stuifkuilen.

- Wassenaar (RSP 92.00-96.00): driemaal op het strand, eenmaal onderwater gesuppleerd. Duinvorming met nieuw zeereepje, stuifkuil. Bemonsterd voor korrelgrootte en chemische analyse.
- Voorne (RSP 11.00-15.00): extreem veel gesuppleerd op het strand, verschillende duinverzwaringen. Zeereep daardoor grotendeels kunstmatig van oorsprong. Continue aanzanding waarschijnlijk veroorzaakt door suppleren. Beperkte morfologische ontwikkeling, voornamelijk aanstuiving en embryonale duinen aan de voorzijde van de zeereep. Extreme struweelontwikkeling.
- Goeree (RSP 14.00-17.00): extreem veel gesuppleerd op het strand, verschillende duinverzwaringen. Lokaal ontwikkeling van kleinschalige dynamiek, verder voornamelijk overstuiving van de zeereep met ophoging.
- Schouwen (10.00-15.00): veelvuldige strandsuppleties. Gevarieerde morfologische ontwikkeling, met aangroei aan de noord- en zuidkant, en afslag in het midden. Aan de noordkant ontstaan embryonale duinen, midden- en zuidkant kennen een gevarieerdere morfologische ontwikkeling met kerven en stuifkuilen. Vooral het stuk tussen 13.95 en 15.25 vertoont veel secundaire structuren, waarschijnlijk mede ten gevolge van de afslag.
- Walcheren (8.00-12.00): veelvuldige strandsuppleties, eenmaal op de vooroever en eenmaal een duinverzwaring. Langdurige aan- en overstuiving van een aanvankelijk kunstmatige zeereep. Voornamelijk embryonale duinen en overstuiving, weinig tot geen erosieve verschijnselen.

4.1 Ameland oost (RSP 17.00-20.00)

In dit gebied wordt sinds 1995 dynamisch zeereepbeheer toegepast. De effecten hiervan worden door het Natuurcentrum Ameland gemonitord. Hierover zijn diverse rapporten verschenen (o.a. Krol, 2003a en 2006). Opvallend is dat de zeereep vooral hoger wordt, zonder dat er erosieve structuren in ontstaan, alleen tussen 17 en 18 gebeurd dit wel (mogelijk als gevolg van de afslag in 1990). Er is duidelijk sprake van een uitgestrekte overstuivingsgradiënt die tot ver achter de zeereep doorwerkt, en van invloed is op de daar aanwezige Grijze duinen.

Tussen 17 en 18 is de gemiddelde trend van het sedimentbudget negatief, vooral door een enorme afname tussen 1989 en 1991 (storm 1990). Hierna is er overwegend sprake van volumetoename. Ten oosten van 18 is het budget positief vanaf 1976. Suppleties lijken weinig invloed op deze trend te hebben. In 1992 is op het strand, in 1998 op de vooroever gesuppleerd. Tot ca 1995 is de zeereep beheerd geweest, vooral door met stuifschermen een zandbuffer te creëren aan de voorzijde. Deze bufferzone is nu grotendeels vervangen door een zeer natuurlijk ogende embryonale duinzone. Een deel van de vegetatiepatronen hierin zijn echter nog terug te voeren op stuifschermen.

4.2 Ameland west (RSP 3.00-5.00)

Dit gebied wordt ook dynamisch beheerd en gemonitord door het Natuurcentrum Ameland (Krol 2003b en 2004).Ondanks een erosief strand dat regelmatig aangevuld wordt met suppleties is de zeereep overwegend positief. Suppleties dateren uit 2004 (strand) en 2007 (strand en vooroever). De morfologische ontwikkeling is vergelijkbaar met die aan de oostkant, met veel aanstuiving, en toenemende hoogte, en een uitgestrekte overstuivingsgradiënt achter de zeereep. Deze heeft echter vooral ecologische consequenties want er is nauwelijks sprake van een hoogtetoename achter de zeereep. Tot circa 1995 werd hier beheerd door stuifschermen te plaatsen om een zandbuffer te creëren.

In het gebied liggen twee kunstmatig opengehouden kerfjes waardoor zeewater naar binnen kan stromen.

4.3 Terschelling midden (RSP 15.00-20.00)

Dit gebied kent een stormachtige ontwikkeling. In het verleden werd de zeereep hier gecontroleerd geretireerd, een zogenaamd rollende zeereep. Vanaf 195 werd actief ingegrepen om de zeereep landschappelijk in te passen. Het gevolg is een enorme overstuiving en verder achterwaarts rollen van de zeereep, waarbij opvalt dat op de plaats waar rond 1995 de duinvoet lag, inmiddels een nieuw zeereepje aan het ontstaan is. Op verschillende plaatsen wordt weer actief ingegrepen om de verstuiving te beteugelen, bijvoorbeeld waar infrastructuur in het gedrang komt. De zeereep heeft een overwegend positief budget, maar er zijn enkele plekken waar door winderosie zand uit de zeereep wordt geblazen, en er dus lokaal sprake is van een negatief budget. In 1994 is hier een vooroeversuppletie uitgevoerd.

4.4 Terschelling west (RSP 2.00 – 6.00)

De zeereep op deze locatie heeft het meest positieve sedimentbudget van het land. Er is dan ook nooit gesuppleerd. De aan- en overstuiving is enorm. Op diverse plaatsen zijn grootschalige erosieve structuren in de vormen van kerven ontstaan. Deze zijn als stuifkuilen in de top van de zeereep begonnen, en uitgegroeid tot op het strand. Inmiddels lijkt hier een proces van parabolisering op gang gekomen te zijn, samen met de kerven bij Heemskerk het meest duidelijke voorbeeld dat dit proces ook vandaag de dag actief kan zijn. In het gebied zijn verschillende studies uitgevoerd naar de dynamische ontwikkeling (Arens, 2007 en 2009a).

4.5 Texel noord (RSP 18.00-24.00)

Dit gebied is vaak gesuppleerd, in 1984, 1991, 1996/1997 op het strand en in 2002 en 2006 op de vooroever. De lange termijnontwikkeling is door suppleren zodanig beïnvloed dat sinds grofweg 1990 sprake is van een positief sedimentbudget van de zeereep. De zeereep zandt daardoor aan en wordt vooral breder en hoger, zonder dat dit tot duidelijke morfologische veranderingen leidt.

4.6 Texel midden (RSP 11.00-15.00)

Tussen 1998 en 2003 werd hier een experiment uitgevoerd met dynamisch zeereepbeheer (zie Arens et al., 2003 voor een eindrapportage). Het middenstuk werd in die tijd niet meer beheerd (met uitzondering van de suppleties), de noord- en zuidkant werden als vanouds beheerd, voornamelijk door stuifschermen te zetten voor de duinvoet. Er is vaak gesuppleerd, in 1993, 1994, 1997 en 2000 op het strand, in 2003, 2005 en 2007 op de vooroever. Vanaf 1993 is een negatieve trend in het sedimentbudget van de zeereep omgebogen naar een positieve. In het gebied dat dynamisch werd beheerd was de doorstuiving landwaarts groter dan in de andere delen, en ontstonden op kleine schaal erosieve vormen. Dit gebeurt nu ook aan de zuidkant van het gebied. Het oorspronkelijk verschil tussen de dynamische en traditioneel beheerde delen is nog steeds terug te vinden, zowel in de verschilkaarten als in de morfologie, maar de verschillen zijn kleiner dan in 2004.

4.7 Groote Keeten (RSP8.00-11.00)

Een eerste beschrijving van het proefgebied bij Groote Keeten werd gegeven door Arens & Mannaart, 2008.

Tussen 10 en 11 is in het gebied tussen 1996 en 2009 verschillende malen gesuppleerd op strand en vooroever. Ten zuiden van 11 is ook vóór 1996 gesuppleerd. Tussen 8.12 en 8.27 zijn in 2005-2006 werkzaamheden uitgevoerd voor de aanleg van een kabel, waarbij een deel van de zeereep is vergraven. Tussen 8 en 10 is in 2009 voor het eerst gesuppleerd.

De zeereep bij Groote Keeten is één van de weinige autonoom aanstuivende zeerepen langs de Hollandse kust met substantiële aangroei. Tegelijkertijd zijn op verschillende plaatsen kerven en stuifkuilen ontstaan. Er is sprake van een paraboliserende zeereep. De zeereep bouwt al vanaf de jaren 1950 uit. Desondanks is vanwege de ontwikkeling van enkele diepe kerven een veiligheidsprobleem ontstaan, zodat in 2003 een kleine vooroeversuppletie is uitgevoerd, en in 2008 beheersmaatregelen in de zeereep zelf zijn verricht (dichtschuiven en inplanten van de grootste kerf, plaatsen van stuifschermen in een aantal kleinere kerven). De combinatie van aangroei en kerfontwikkeling is zeldzaam.

4.8 Schoorl (RSP 28.00-31.50)

De zeereep bij Schoorl verhoogt op de meeste plaatsen. Meest opvallende gebeurtenis is het doorgraven van de zeereep in december 1997 bij RSP 30.500. De duinvoet ter plaatse is daardoor naar binnen verplaatst. Op een aantal plekken ontstaan kleine kerven en aan de uiterste noordkant een flinke stuifkuil, in een overigens vrij stabiele zeereep. De kleine kerfjes in vak 0731 zijn vanuit embryonale duinen ontstaan. In het gebied is een aantal malen gesuppleerd, in 1992, 1997 en 2001 op het strand, in 2002 op de vooroever. De aangrenzende gebieden aan noord en zuidkant zijn veel vaker gesuppleerd.

4.9 Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00)

In de zeereep tussen Bergen en Egmond zijn in betrekkelijk korte tijd veel stuifkuilen ontstaan. Ze ontstaan allemaal in de kruin, sommige aan de bovenkant van een afslagklif, andere in de top van een meer stabiele zeereep. Dit zou samen kunnen hangen met het voorkomen van Rood zwenkgras op de top, dat ondiep wortelt en makkelijk beschadigd (Rienk Slings, pers. commun.). In 1996 zijn de meeste kuilen in aanzet reeds aanwezig, maar worden ze nog beheerd (dat wil zeggen uitstuiven wordt belemmerd of beperkt). In de periode 1997-2008 varieert de maximale uitstuiving van 5-10m. Dat laatste komt neer op bijna 1m per jaar! Enigszins afhankelijk van de definitie liggen er tussen km34 en 37 in totaal 29 kuilen / kuilachtige vormen. De vormen ontwikkelen zich tot nu toe allemaal als kuilen, d.w.z. er is nog nergens sprake van parabolisering. De tweelingkuil bij km35 is in 2009 naar het strand doorgebroken. Ook de diepste kuilen liggen nog ruim boven het grond water, de deflatiebasis is nergens binnen bereik. Ook in het binnenduin is de dynamiek veel groter dan elders (met uitzondering van Coepelduynen en Schouwen). Blijkbaar zorgt de kalkgrens (wel kalkhoudend zand, maar weinig nutriënten?) hier voor een bijzondere situatie waarbij de bedekking van de bodem door vegetatie (of biomassa ophoping) minder is dan elders. In dit gebied zelf is beperkt gesuppleerd, in 1997 op het strand, en in 1999/2000 en 2004/2005 op de vooroever, maar zowel aan de noordkant (Bergen aan zee) als aan de zuidkant (Egmond aan zee) wordt intensief gesuppleerd.

4.10 Castricum (RSP 45.00-48.50)

In dit studiegebied zijn aan de noordkant enkele stuifkuilen ontstaan, aan de zuidkant een grote, paraboliserende kerf. In 1996 is de kerf al aanwezig, maar dan nog als stuifkuil in de helling (moeilijk te zien vanwege matige kwaliteit luchtfoto). Vijfhonderd meter naar het noorden is een nieuwe kerf in ontwikkeling, die al in 2000 als klein stuifkuiltje in de helling aanwezig was. De kerven ontwikkelen zich in een zone met afslag. De duinvoet is 8-18m teruggeweken. In het gebied is eenmaal, in 2005, een strandsuppletie uitgevoerd.

4.11 Heemskerk (RSP 48.50-51.00)

Dit gebied wordt gekenmerkt door een aansprekende kerfontwikkeling op een aantal plaatsen. Waarschijnlijk wordt dit gestuurd door een lichte afslag (wat waarschijnlijk weer gestuurd wordt door de verlenging van de pieren bij IJmuiden in 1961). Er zijn 12 kerven/stuifkuilen ontstaan en één grote kerf. In de grote kerf zorgt winderosie voor een flinke verlaging van de kerfmond. In het gebied is in 1996/1997 een strandsuppletie uitgevoerd tussen 49.65 en 51.00.

4.12 Langeveld (RSP 74.50-76.50)

Een stabiele zeereep met stabiele of licht uitbouwende duinvoet. Er is sprake van een ophoging van 0-4m. Er zijn geen verdere bijzondere morfologische ontwikkelingen. In 2002 heeft een vooroeversuppletie plaatsgevonden. Voorbeeld van een zeereep waar door milde duinontwikkeling de oude zeereep dichtgroeit en verruigt.

4.13 Coepelduynen (RSP 83.00-86.00)

Een stabiele zeereep met stabiele of licht uitbouwende duinvoet en een matige verhoging van de eerste zeereeptop. Er is sprake van een ophoging van 0-4m. Opvallend in het gebied is de enorme ontwikkeling van stuifkuilen achter de zeereep, die blijkbaar onafhankelijk van zeereepprocessen optreedt. In het gebied is eenmaal op de vooroever gesuppleerd, in 2006.

4.14 Wassenaar (RSP 92.00-96.00)

Stabiele of licht uitbouwende zeereep met ontwikkeling van een nieuwe duinenrij vóór de oude zeereep. In de zeereep ontwikkelt één stuifkuil die door de nieuwe duinenrij steeds verder van zee komt te liggen. Deze kuil wordt al langere tijd gemonitord. Er is verschillende malen gesuppleerd, in 1994, 1996/1997 op het strand, in 2002 op de vooroever. Gezien de mate van stabiliteit en de huidige duinontwikkeling lijkt de hoeveelheid suppletie groter dan noodzakelijk.

4.15 Voorne (RSP 11.00-15.00)

In dit gebied is extreem veel gesuppleerd met strandsuppleties in 1973/1974, 1977, 1983, 1993 en 2005 en duinverzwaringen in 1974, 1984 en 1986/1987. De zeereep is daardoor grotendeels kunstmatig van oorsprong, en mede daardoor extreem verruigd, namelijk vrijwel geheel begroeid met duindoorn. De enige vorm van dynamiek is aanstuiving tegen deze kunstmatige zeereep, wat voor een natuurlijkere voorkant zorgt,

met een vrij uitgestrekte zone met embryonale duinen. Deze aanstuiving past in een lange trend die waarschijnlijk grotendeels gestuurd wordt door (langdurig) suppleren, al vanaf 1973.

4.16 Goeree (RSP 14.00-17.00)

Ook in dit gebied is extreem veel gesuppleerd met strandsuppleties in 1969, 1971, 1973, 1977, 1984, 1985 en 2005 en duinverzwaringen in 1966, 1972 en 1973. De ontwikkeling van de zeereep is echter veel gevarieerder, waarschijnlijk door een grotere afslagdynamiek. De zeereep is minder extreem verruigd dan op Voorne, desondanks domineert duindoorn. Lokaal ontstaan kerven, verder stuift de voorzijde aan, met onder andere het ontstaan van embryonale duinen tot gevolg. Op sommige plaatsen zorgen de embryonale duinen voor een afsnoering van kale plekken. Er is op het strand een langgerekte structuur zichtbaar (2007), mogelijk een stuifscherm, of een raster, samenhangend met recreatieve voorzieningen.

4.17 Schouwen (10.00-15.00)

Hier zijn verschillende strandsuppleties uitgevoerd, in 1987, 1991, 1996, 2003 en 2007. De suppletie van 1991 zou beter een duinverzwaring genoemd kunnen worden, omdat deze is aangelegd tot een hoogte van 10m NAP. De ontwikkeling van het gebied is gevarieerd. De noordkant kent overwegend aangroei, met ontwikkeling van embryonale duinen. Tussen 12.08 en 12.68 ontstaan ook erosieve structuren. Vanaf 12.68 wordt de zeereep erosief, en ontstaan door afslag grotere erosieve structuren. De afslag is van invloed tot 15.48. In dit stuk is het budget van de gehele zeereep negatief. De morfologische variatie is sinds 1996 aanzienlijk toegenomen. Bij 14.25 is een grotere kerf in ontwikkeling met daarachter secundaire duinontwikkeling, mogelijk richting parabolisering. Achter de zeereep liggen enkele zeer grote, actieve stuifvalleien.

4.18 Walcheren (8.00-12.00)

In dit gebied is vaak gesuppleerd, in 1990, 1993 1996, 2000 en 2004 op het strand, in 2008 op de vooroever en in het midden van het gebied een duinverzwaring in 1984. Het gebied wordt vooral gekenmerkt door aangroei, al dan niet kunstmatig versterkt. Er zijn verschillende structuren op het strand zichtbaar die afkomstig lijken van stuifschermen en/of aanplant. Op verschillende plaatsen ontstaan embryonale duinen, ook met gehele of gedeeltelijke afsnoering van stukken strand. Er is een zeer divers patroon van overstuiving van de zeereep, op sommige plaatsen zeer diffuus, op andere geconcentreerd rondom kerfachtige structuren.

Tabel 4.1 Overzicht proefgebieden met suppletiehistorie.

Ameland midden	17.00-20.00													90		92					98								06			
Ameland west	3.00-3.40																			97							04			07		
Ameland west	3.40-5.00																															
Terschelling midden	15.00-18.10																93															
Terschelling midden	18.10-20.00																															
Terschelling west	2.00-6.00																															
Texel noord	18.00-24.00									84					91				96	97			00		02				06			
Texel midden	11.00-15.00																93	94		97			00			03		05	06	07		
Groote Keeten	7.00-7.50																93		96													09
Groote Keeten	7.5-10.00																									03						09
Groote Keeten	10.00-11.00											86							96			99				**03**			06			09
Schoorl	28.25-31.50															92				97	98			01	02			05				
Bergen-Egmond	34.25-37.00															92						99	00				04	05				
Castricum	45.00-46.50																															
Castricum	46.50-48.50																											05				
Heemskerk	48.50-49.65																															
Heemskerk	49.65-51.00																		96	97												
Langeveld	74.50-76.50																								02							
Coepel duynen	83.00-86.00																												06			
Wassenaar	92.00-96.00																	94	96	97					02				06			

Voorne	11.00-15.00					73	74	77	83	84		86	87				93											05				
Goeree	14.50-17.50	66	69	71	72	**73**		77		84	85																	05				
Schouwen	10.00-16.00												87		91				96							03				07		
Walcheren	8.00-8.80																															
Walcheren	8.80-10.85									84				90			93		96				00				04				08	
Walcheren	10.85-11.85																															

Betekenis kleuren: Lichtblauw gearceerd: nooit gesuppleerd / Geel: strandsuppletie / Groen: duinverzwaring / Blauw: vooroeversuppletie / Oranje: banket/anders / Combinaties mbv vlakvulling en gekleurde letters

Verstarde duinen? Schoorlse duinen, 2010

5 Uitwerking zandbudgetten zeereep

Zandbudgetten voor de duinen (van 3m NAP tot aan de achterkant van de zeereep) zijn voor twee perioden berekend, voor de lange termijn (1975-2008) met behulp van Jarkus-data en voor de korte termijn (1997-2008) met behulp van laseraltimetriegegevens. Sinds 1997 worden de Jarkus-gegevens uit de laseraltimetriegegevens gehaald, en zijn dus afkomstig van dezelfde bron. De lange-termijnontwikkeling wordt vooralsnog alleen voor de proefgebieden geanalyseerd. De korte-termijnontwikkeling is kustbreed onderzocht en wordt in dit hoofdstuk besproken.

5.1 Zandbudgetten per kustvak

De km-gegevens zijn per kustvak geaggregeerd. Zie voor detailgegevens de figuren in Bijlage 2 en Tabel 5.1. Figuur 5.1 en Tabel 5.2 illustreren de volumeveranderingen per kustvak per periode. Duidelijk is dat de jaarlijkse fluctuatie vaak onrealistisch groot is. Een toename voor Voorne van 100 m^3/m.jaar is absoluut onmogelijk, ook een gemiddelde toename van 60 m^3/m.jaar voor de Maasvlakte is zeer onwaarschijnlijk. Het geeft aan dat de data niet geschikt zijn voor jaarlijkse berekeningen, omdat er te veel fouten in de data zitten. Over een langere periode worden deze fouten uitgemiddeld. Figuur 5.2 toont de berekeningen voor de langere perioden per kustvak. Het beeld voor de verschillende perioden is redelijk eenduidig, hoewel er soms flinke verschillen voorkomen (Terschelling). De verschillen tussen de kustvakken komen duidelijk naar voren. Binnen de kustvakken kunnen, zoals hieronder zal blijken, grote verschillen voorkomen. Een aantal kustvakken springt er met een fors positieve balans uit: Terschelling, Texel, Noord-Holland, Delfland, Oosterschelde, Noord-Beveland. Met uitzondering van Terschelling hebben op al deze kustvakken in de beschouwde periode strandsuppleties plaatsgevonden. Op Terschelling heeft alleen in 1993 een vooroeversuppletie plaatsgevonden.

5.1.1 Totalen voor de kust en de regio's

In Tabel 5.1 zijn per kustvak de resultaten van de kuberingen geaggregeerd. Per kustvak is ook de totale hoeveelheid die gesuppleerd is aangegeven, vanaf de start van suppleren (verschillend per kustvak) en vanaf 1997 om een directe vergelijking met de kuberingen mogelijk te maken. Daarnaast is de hoeveelheid aangegeven die op de vooroever is gesuppleerd. Van 1997 tot en met 2008 is langs de gehele Nederlandse kust in totaal 131 miljoen m^3 gesuppleerd, waarvan 78 miljoen m^3 op de vooroever. Over de periode 1997-2008 bedraagt de aanzanding 34 miljoen m^3, ofwel 26% van de totale suppletiehoeveelheid (NB van het suppletiezand wordt, zeker bij duinsuppleties, maar ook bij strandsuppleties een deel van het zand in het duin gesuppleerd, wat direct mee wordt gerekend in de aanzanding, een deel van de suppletie wordt dan ten onrechte als aanzanding aangemerkt). Voor de drie regio's geldt het volgende. Op de Wadden is 34 miljoen m^3 gesuppleerd, waarvan 73% op de vooroever. De aanzanding bedraagt 42% van de totale suppletiehoeveelheid. Langs de Hollandse kust is 71 miljoen m^3 gesuppleerd, waarvan 67% op de vooroever. De aanzanding bedraagt17% van de totale suppletiehoeveelheid. Voor de Delta is 25 miljoen m^3 gesuppleerd, waarvan slechts 23% op de vooroever. De aanzanding bedraagt 31% van de totale suppletiehoeveelheid. In de Delta is een relatief groot deel van de suppleties uitgevoerd als duinverzwaring, wat dus rechtstreeks meetelt in de berekening van de aanzanding. Opvallend is dat voor de

Wadden in verhouding het meest op de vooroever is gesuppleerd en ook het meeste zand in de duinen terecht is gekomen. Logischerwijs zou verwacht worden dat als er meer zand op de vooroever gesuppleerd wordt, er naar verhouding minder zand in de duinen terecht komt, omdat het zand een langere (en minder zekere) weg moet afleggen. Mogelijk speelt een veel langere traditie van minder intensief zeereepbeheer een rol hierbij, waardoor minder zand bij de duinvoet wordt gefixeerd. Een andere mogelijkheid is dat een andere expositie van de kust van invloed is op het transport van de vooroever naar het strand.

5.2 Zandbudgetten per kustvak

Van alle kustvakken zijn alleen Schiermonnikoog en Oosterschelde nooit gesuppleerd. In beide kustvakken is sprake van een netto aanzanding. Van alle gesuppleerde kustvakken is Terschelling het enige kustvak waar de aanzanding (aanmerkelijk) groter is dan de totale gesuppleerde hoeveelheid (vóór 1997). Ook voor Voorne is de aanzanding groter dan de gesuppleerde hoeveelheid over de periode 1997-2008, maar die valt in het niet bij de hoeveelheid die vóór 1997 is gesuppleerd. Voor alle andere kustvakken is de aanzanding minder dan de totale hoeveelheid suppletiezand, variërend van 11% op de Maasvlakte tot 56% op Goeree.

Schiermonnikoog

- Volumeverandering heeft een belangrijke fout door vegetatie (zie voor uitleg over de filtering van vegetatie §3.2.2).
- Luchtfoto 1996 ontbreekt.
- Zandbudget licht positief, ca 4 m^3/m.jr.
- 1997-2008 mogelijk iets overschat door struwelen in 2008.
- 1999-2008 mogelijk iets onderschat door te hoge waarde 1999.
- Geen suppleties.

Voor de westkant van het eiland is het zandbudget neutraal of licht negatief, voor het middenstuk positief en voor de oostkant licht positief. Op het eiland spelen de grootste veranderingen echter op het strand. Hier ontstaan nieuwe duinen, voor het grootste deel echter nog met een hoogte beneden 3m NAP, waardoor deze nog niet in de volumeberekeningen zijn opgenomen. Aan de oostkant is sprake van een eroderende zeereep, afgewisseld met washovergaten.

Ameland

- Beperkte fout door vegetatie, vnl in middenstuk (bos).
- Zandbudget licht positief, ca 5 m^3/m.jr, paal 3-5 en 15-23 sterk positief door opstuivende zeereep.
- Afname door stormen 2006-2007; afslag.
- Suppleties: diverse strandsuppleties, duinverzwaringen en vooroever-suppleties. Niet gesuppleerd 3.2-7; ten oosten van 21.
- Totaal gesuppleerd 9.4 miljoen m^3 van 1997-2008, waarvan 72% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1980 en 1992.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 14%.

Waar het zandbudget positief is wordt de zeereep hoger en breder. Alleen aan de oostkant, ten oosten van paal 23 is een licht positief zandbudget gekoppeld aan een achteruitschrijdende zeereep met ophoging door overstuiving en nieuwvorming van duinen op het strand (<3m NAP), vergelijkbaar met de ontwikkeling aan de oostkant van Schiermonnikoog. Dynamisch kustbeheer leidt niet tot veranderingen in dit patroon.

Terschelling

- Geen vegetatiecomponent.
- Luchtfoto 1996 ontbreekt.
- Zandbudget sterk positief, ca 15 m^3/m.jr, aan westkant extreem positief.
- Mogelijk toename door stormen 2006-2007; geen afslag.
- Suppleties: alleen in 1993 een vooroeversuppletie tussen 13.7 en 18.1.
- Totaal gesuppleerd 2 miljoen m^3 in 1993, waarvan 100% op de vooroever.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 290%.

Aan de westkant van het eiland is het zandbudget extreem positief. Ook middendeel en oostkant zijn grotendeels sterk positief tot km 25. Ten oosten daarvan is het budget negatief. In het middendeel gaat een positief zandbudget gedeeltelijk samen met een achteruitgaande zeereep door winderosie. Dit is een effect van een actieve ingreep, in combinatie met dynamisch kustbeheer. Aan de westkant gaat het positieve budget samen met een sterke kerf- en stuifkuilen ontwikkeling, en een forse overstuiving tot achter de zeereep, resultaat van dynamisch kustbeheer.

Vlieland

- Geen vegetatiecomponent.
- Luchtfoto 1996 ontbreekt.
- Zandbudget positief, ca 7 m^3/m.jr, vooral paal 47-49 en 41-45.
- Beperkte afname door stormen 2006-2007; enige afslag.
- Suppleties, inclusief duinsuppleties bij Stortemelk: tussen 52.5 en 53.7 en ten westen van 46.2 is nooit gesuppleerd.
- Totaal gesuppleerd 2.9 miljoen m^3 van 1997-2008, waarvan 73% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1995 en 2008.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 40%.

Voor vrijwel het gehele eiland is het zandbudget positief, met uitzondering van km49 waar een voormalige zandgolf nu opgeruimd wordt. In het middendeel ontstaan (mede) dankzij dynamisch kustbeheer op veel plaatsen kerven en stuifkuilen. Het ontstaan van kuilen is soms gebonden aan afslag, maar niet overal. Waarschijnlijk speelt recreatie een rol bij het ontstaan. Aan de westkant heeft dynamisch kustbeheer niet dit effect, hier ontstaan massaal nieuwe duinen voor de zeereep en wordt de zeereep hoger en breder.

Texel

- Geen vegetatiecomponent.
- Zandbudget sterk positief, ca 16 m^3/m.jr, vrijwel overal een ophogende zeereep
- Geen verandering door stormen 2006-2007; afslag.
- Suppleties: ten zuidwesten van km9 is niet gesuppleerd.
- Totaal gesuppleerd 21.1 miljoen m^3 van 1997-2008, waarvan 73% op de vooroever.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 22%.

Het sterk positieve zandbudget (voor alle km´s) van de zeereep van Texel hangt ongetwijfeld grotendeels samen met het veelvuldig toepassen van strandsuppleties. Dit zal in de volgende fase van het onderzoek verder worden onderbouwd. De zeereep wordt overwegend hoger en breder. Alleen ten zuidwesten van km9, waar nooit gesuppleerd is, ontstaan kerven. Op de Hors is sprake van forse nieuwvorming van duinen, ook boven 3m NAP.

Noord-Holland

- Geen vegetatiecomponent.
- Zandbudget sterk positief, ca 10 m^3/m.jr, extreem positief paal 2-3, vrijwel overal een ophogende zeereep, maar hier en daar gecombineerd met achteruitgang duinvoet.

- Geen verandering door stormen 2006-2007; afslag.
- Suppleties: er is niet gesuppleerd tussen km7.5-9, 40-46 en 51-56.
- Totaal gesuppleerd 35.8 miljoen m^3 van 1997-2008, waarvan 67% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1976, 1979, 1986 en 1987.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 16%.

Het sterk positieve zandbudget in de kop van Noord-Holland hangt ongetwijfeld samen met de veelvuldig toegepaste strandsuppleties. Er zijn enkele opvallende gebieden in Noord-Holland met ieder een karakteristieke ontwikkeling. Op opvallend veel plaatsen ontstaan grote kerven en stuifkuilen. Kleine delen van de kust beginnen te paraboliseren. Op veel plaatsen met zo een dynamische ontwikkeling is een beperkte afslag waarschijnlijk de motor achter het ontstaan van stuifkuilen en kerven. Er zijn echter ook enkele plaatsen waar het ontstaan van kerven en stuifkuilen niet gedreven wordt door afslag. De zeereep bij Groote Keeten is hiervan een aansprekend voorbeeld.

Rijnland

- Beperkte vegetatiecomponent.
- Zandbudget sterk positief, ca 10 m^3/m.jr, op veel plaatsen licht tot sterk ophogende zeereep.
- Extreem positieve budget bij Noordwijk door verzwaring Zwakke Schakel.
- Geen verandering door stormen 2006-2007; afslag.
- Suppleties: bij km68-73 is niet gesuppleerd.
- Totaal gesuppleerd 15.3 miljoen m^3 van 1999-2008, waarvan 88% op de vooroever.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 23%.

Voor vrijwel geheel Rijnland geldt dat de zeereep hoger wordt. Het zandbudget wisselt, maar is overwegend matig tot sterk positief. Vrijwel nergens is sprake van een redynamisering, waarschijnlijk omdat ook nergens afslag optreedt. Een experiment met dynamisch zeereepbeheer bij Parnassia, km61 leverde in de beginjaren, na stormschade, aanzienlijke dynamiek op, die echter geleidelijk tot stilstand aan het komen is (zie Arens, 2009d).

Delfland

- Vegetatiecomponent.
- Zandbudget sterk positief, ca 12 m^3/m.jr, met overwegend ophogende zeereep.
- Geen verandering door stormen 2006-2007.
- Suppleties: km101-106 is niet gesuppleerd.
- Totaal gesuppleerd 14.6 miljoen m^3 van 1997-2008, waarvan 54% op de vooroever.
- Landwaartse duinverzwaring in 1986.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 19%.

Het overwegend sterk positieve zandbudget van de zeereep hangt ongetwijfeld samen met de grote hoeveelheid strandsuppleties die in dit kustvak is uitgevoerd (wordt verder onderbouwd in de volgende fase). Het kustdeel tussen km101 en 106 dat nooit gesuppleerd is, is licht positief, met plaatselijk ook een zeer gering negatief budget (km104), waarschijnlijk echter het gevolg van meetonnauwkeurigheid (vegetatie). Het belangrijkste proces is verhoging van de zeereep.

Maasvlakte

- Beperkte vegetatiecomponent
- Zandbudget positief, ca 6 m^3/m.jr
- Afname door stormen 2006-2007; afslag
- Suppleties:

- Totaal gesuppleerd 5.7 miljoen m^3 van 1999-2008, waarvan 37% op de vooroever.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 11%.

De zuidwest en noordwestkant van de Maasvlakte kent een ophogende zeereep onder invloed van strandsuppleties. Voor de noordwestkant is het zandbudget matig tot sterk positief, voor de zuidoostkant licht positief.

Voorne

- Belangrijke vegetatiecomponent.
- Zandbudget positief, ca 8 m^3/m.jr, met aan noordkant en zuidkant ophogende zeereep.
- Afname door stormen 2006-2007; afslag.
- Suppleties: veelvuldige strandsuppleties en omvangrijke duinverzwaring in 1973 en 1987.
- Totaal gesuppleerd 0.8 miljoen m^3 van 1997-2008, waarvan 0% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1973, 1974, 1984, 1986 en 1987 (met zeer kleiig materiaal).
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 114%.

Het zandbudget van de zeereep van Voorne is sterk verontreinigd door vegetatie. Desondanks zal het budget overal matig tot sterk positief zijn, met uitzondering van de westpunt, waar het budget matig tot sterk negatief is. Er is uitsluitend sprake van ophoging en verbreding van de zeereep, alleen aan de punt is sprake van afslag.

Goeree

- Vegetatiecomponent.
- Zandbudget positief, ca 6 m^3/m.jr.
- Afname door stormen 2006-2007; afslag.
- Suppleties: veelvuldige strandsuppleties en duinverzwaringen.
- Totaal gesuppleerd 2.8 miljoen m^3 van 1997-2008, waarvan 0% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1966, 1986, 1970, 1972, 1974 en 1976.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 56%.

Het negatieve budget aan de noordoostkant, bij de Kwade Hoek is van km 2 t/m 4 het gevolg van vegetatieverontreiniging, en voor km6 en 7 het gevolg van de afvoer van zand t.b.v. versterking van het Flauwe Werk. Bij km8, 14 en 17 is sprake van enige dynamisering. Bij km 15 en 16 (westpunt) treedt afslag op, met voornamelijk achteruitgang van de zeereep. Voor de overige km´s is er voornamelijk sprake van ophoging en verbreding van de zeereep.

Schouwen

- Beperkte vegetatiecomponent.
- Zandbudget positief, ca 6 m^3/m.jr.
- Afname door stormen 2006-2007; afslag.
- Suppleties: km6.5-10 is niet gesuppleerd.
- Totaal gesuppleerd 3.4 miljoen m^3 van 1997-2008, waarvan 0% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1990.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 38%.

Tot en met km12 is er voornamelijk sprake van ophoging en verbreding van de zeereep, met een matig tot sterk positief zandbudget. Bij km 13 en 14 is sprake van een negatief zandbudget door afslag (westpunt). Van km 12 t/m 16 is sprake van een dynamische ontwikkeling, tussen 13 en 14 dus gecombineerd met afslag, bij de andere km´s gecombineerd met uitbreiding van de zeereep (dynamisch kustbeheer?).

Oosterschelde (Neeltje Jans)

- Zeer beperkte vegetatiecomponent.

- Zandbudget positief, ca 12 m^3/m.jr, ophogende zeereep.
- Geen verandering door stormen 2006-2007; enige afslag.
- Suppleties: geen.

Aan de westkant van Neeltje Jans bevindt zich een uitbouwende zeereep met een slufterachtige ontwikkeling. Op twee plaatsen is sprake van beperkte afslag. Het zandbudget van de zeereep is sterk positief.

Noord-Beveland

- Beperkte vegetatiecomponent.
- Zandbudget positief, ca 12 m^3/m.jr, uitbouwende zeereep.
- Geen verandering door stormen 2006-2007; zeer beperkte afslag.
- Suppleties: vier strandsuppleties, in 1973, 1996, 2000 en 2004.
- Totaal gesuppleerd 1.5 miljoen m^3 van 1999-2008, waarvan 0% op de vooroever.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 31%.

De strandsuppleties zorgen in dit kustvak blijkbaar (wordt verder onderbouwd) voor flinke dynamiek en uitbouw van de zeereep (gedeeltelijk over een dijk heen). Het zandbudget van de zeereep is sterk positief. De belangrijkste verandering is ophoging en verbreding. Ook hier bevindt zich een slufterachtig systeem.

Walcheren

- Vegetatiecomponent.
- Zandbudget positief, ca 7 m^3/m.jr.
- Toename door stormen 2006-2007; zeer beperkte afslag.
- Suppleties: km 5-8 en 11-12 niet gesuppleerd.
- Totaal gesuppleerd 14.6 miljoen m^3 van 1997-2008, waarvan 40% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1975, 1986 t/m 1989.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 16%.

Overwegend uitbouwende zeereep met matig tot sterk positief zandbudget, grotendeels als gevolg van veelvuldige strandsuppleties en duinverzwaringen (wordt verder onderbouwd).

Zeeuws-Vlaanderen

- Zeer beperkte vegetatiecomponent.
- Zandbudget positief, ca 7 m^3/m.jr, uitbouwende zeereep.
- Geen verandering door stormen 2006-2007; geen afslag.
- Suppleties: veelvuldige strandsuppleties en duinverzwaringen.
- Totaal gesuppleerd 2.6 miljoen m^3 van 1997-2008, waarvan 0% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 19789, 1984, 1988, 1989 en 1990.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 41%.

Overwegend uitbouwende zeereep (veelal over dijken) met matig tot sterk positief zandbudget, grotendeels als gevolg van veelvuldige strandsuppleties en duinverzwaringen (wordt verder onderbouwd). Twee slufterachtige systemen bij de Verdronken Zwarte Polder en Het Zwin.

5.3 Zand, overstuiving en dynamisch zeereepbeheer

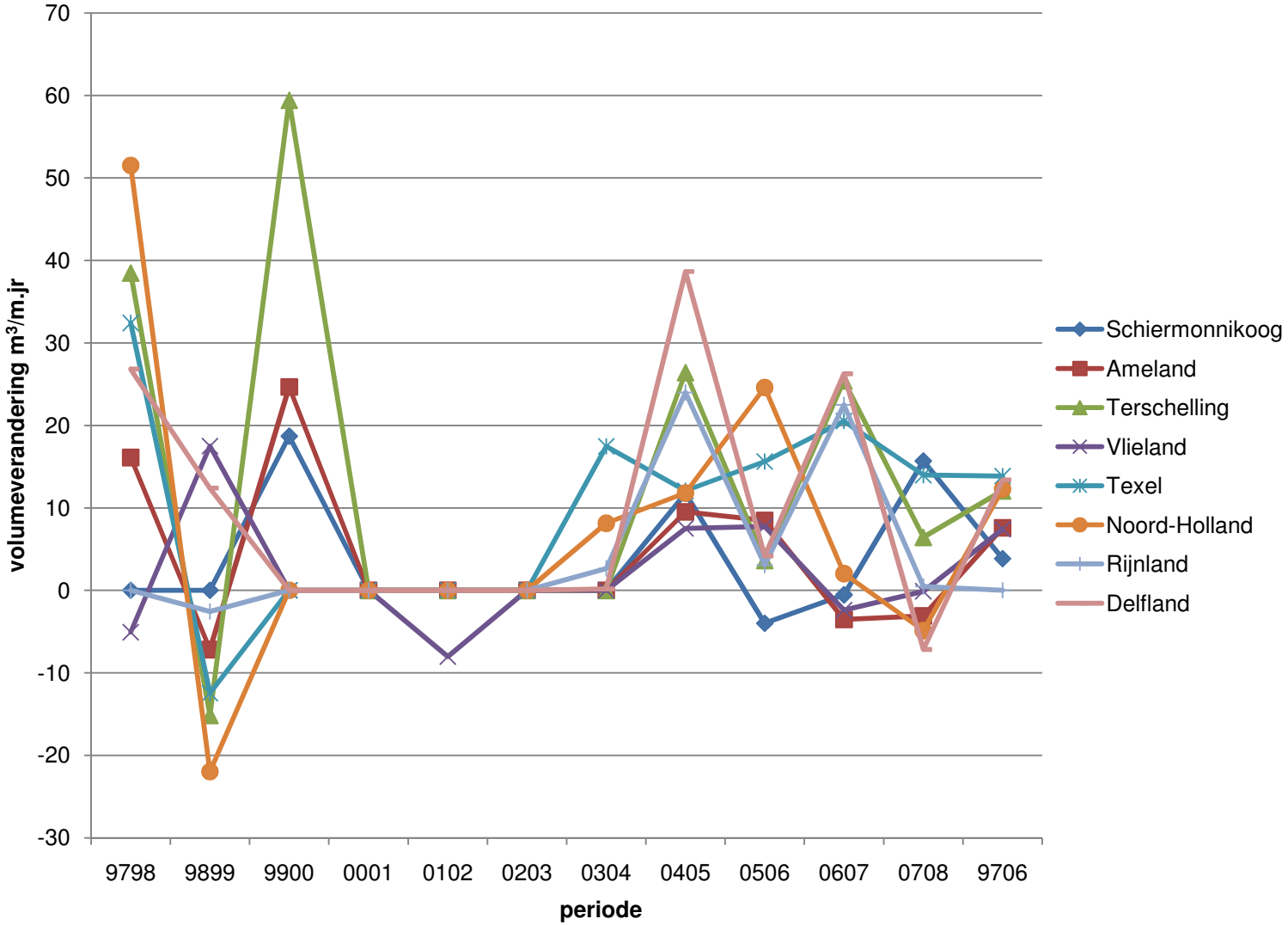
In het voorgaande is aangetoond dat langs vrijwel de gehele kust veel zand in de zeereep binnenkomt. In het volgende hoofdstuk zal worden aangetoond dat dit de laatste 10 jaar significant meer is dan in de periode vóór suppleren. Het feit dat netto zand in de zeereep wordt opgeslagen is zeer belangrijk. Maar in het kader van kustverdediging,

voorbereiden op zeespiegelstijging en natuurbeheer is minstens zo belangrijk hoe het zand wordt opgeslagen. Ervaring met het traditionele beheer heeft geleerd dat het fixeren van zand in de zeereep leidt tot een versteiling van het profiel. De zeereep wordt steeds hoger, en bij afslag ontstaat daardoor meer schade. Bovendien zal bij afslag van een hoog duinfront meer zand aan het duinsysteem worden ontrokken dan bij afslag van een laag duinfront. Het is daarom gunstiger als het zand wordt doorgevoerd. Dynamisch zeereepbeheer heeft daarbij een gunstig effect, maar er zijn genoeg gebieden waar dit effect uitblijft, hetzij omdat de zeereep zo dicht begroeid is met Helm dat deze Helm al het passerende zand invangt, hetzij omdat door aangroei de actieve aanstuiving steeds verder voor de voormalige zeereep komt te liggen. Er is langs de kust een beperkt aantal gebieden waar dankzij dynamisch zeereepbeheer een redynamisering van de zeereep optreedt, en daadwerkelijk zand tot in de achter de zeereep liggende duinen kan stuiven. Langs het overgrote deel is er echter sprake van invangen van zand in de huidige zeereep, waarbij deze in omvang, zeer vaak in hoogte, toeneemt. Het is de vraag of dit de gewenste ontwikkeling is (zie verder Hoofdstuk 8, Discussie).

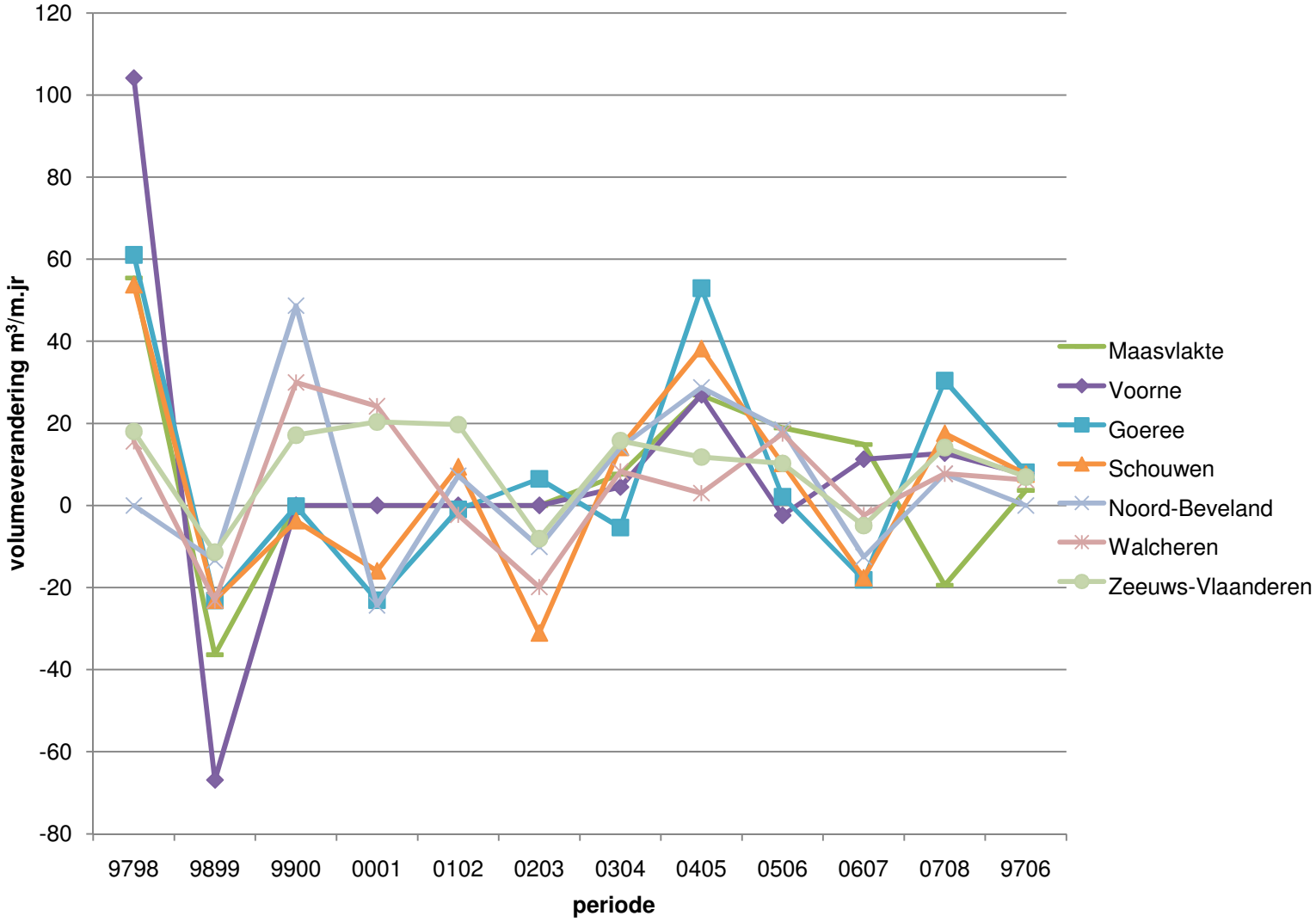
Met behulp van de laseraltimetriegegevens, en de gemaakte verschilkaarten, is een goed beeld te krijgen van de overstuivingspatronen, en van de verschillen langs de kust. Bij de behandeling van de morfologische ontwikkeling in Hoofdstuk 6 zal hier verder op worden teruggekomen.

5.4 Uitwerking suppletiegegevens

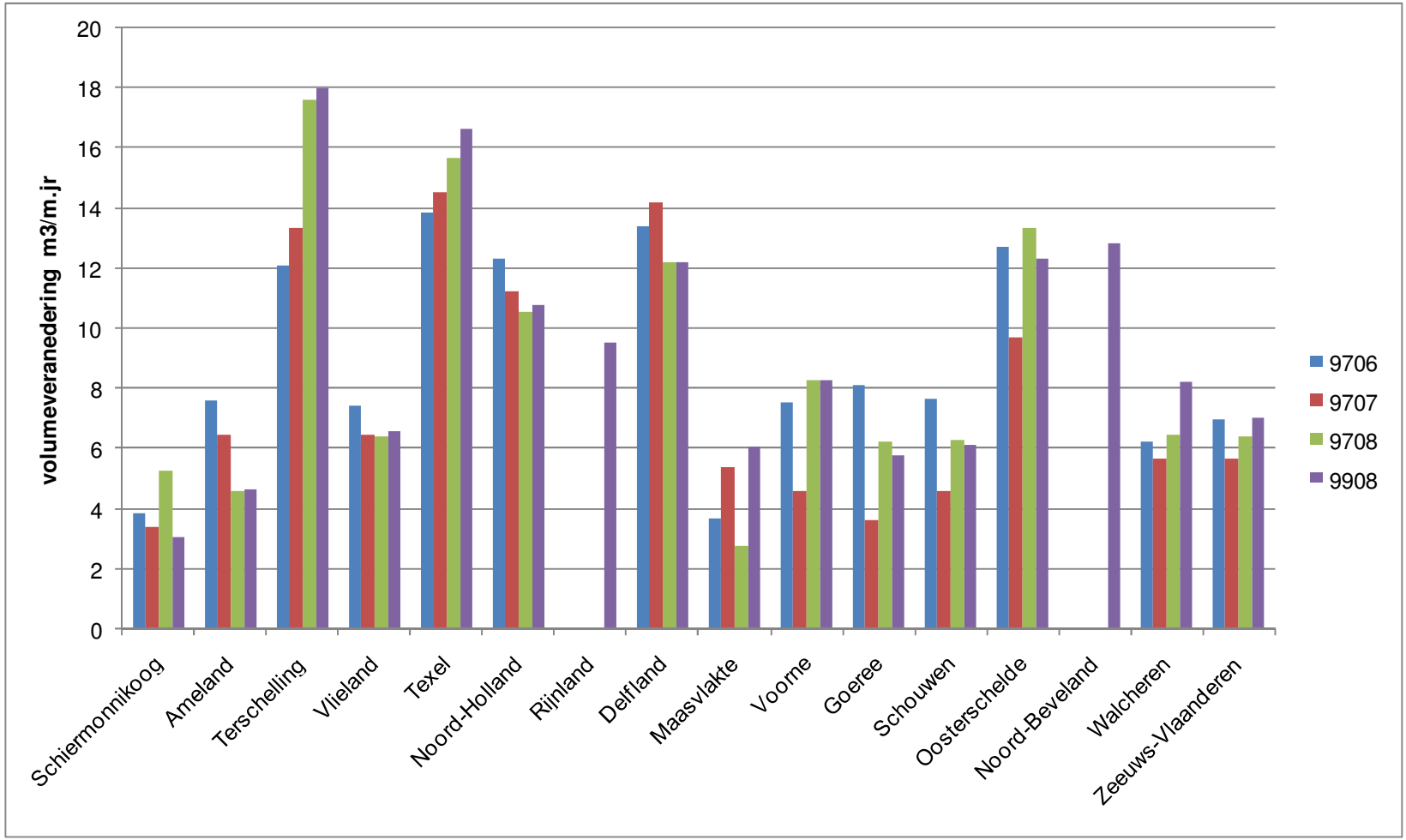
In de berekeningen moet het effect van de gesuppleerde hoeveelheid worden verrekend. Probleem hierbij is dat bij strandsuppleties vaak een deel van het zand boven 3m NAP is aangebracht. In de kuberingen is de suppletie dan over twee componenten verdeeld, het duinen deel (boven 3m NAP) en het strand en vooroever deel (onder 3m NAP). Voor een goede systeemanalyse zou eigenlijk in detail uitgezocht moeten worden hoe het suppletiezand over het profiel verdeeld is, en hoe dit in de loop van de tijd verplaatst. Het is de vraag of de suppletiegegevens daarvoor in voldoende detail aanwezig zijn. Een alternatief is een kubering voor de duinen boven 5m NAP te maken. Hierin zit zeker geen rechtstreeks aangebracht suppletiezand. Eventuele duinsuppleties kunnen hier simpel uitgefilterd worden, omdat deze wel overduidelijk in de ontwikkeling van profielen naar voren komen.



Figuur 5.1 Jaarlijkse volumeverandering per kustvak; Wadden en Hollandse kust



Figuur 5.2 Jaarlijkse volumeverandering per kustvak; Delta regio



Figuur 5.3 Gemiddelde volumeverandering per kustvak voor een aantal periodes in m^3/m.jr

Tabel 5.1 Volumeverandering per kustvak en periode in $m^3/m.jr$

Kustvak	**9798**	**9899**	**9900**	**0001**	**0102**	**0203**	**0304**	**0405**	**0506**	**0607**	**0708**	**9706**	**9707**	**9708**	**9908**
Schiermonnikoog			18.7					11.7	-4.0	-0.5	15.7	3.8	3.4	5.2	3.0
Ameland	16.1	-7.2	24.7					9.5	8.5	-3.5	-3.1	7.6	6.5	4.5	4.6
Terschelling	38.5	-15.1	59.4					26.4	3.6	25.4	6.4	12.1	13.3	17.6	18.0
Vlieland	-5.1	17.5			-8.0			7.5	7.7	-2.4	-0.1	7.4	6.4	6.4	6.6
Texel	32.4	-12.5					17.4	12.1	15.6	20.5	14.0	13.9	14.5	15.7	16.7
Noord-Holland	51.5	-22.0					8.1	11.8	24.6	2.0	-4.9	12.3	11.2	10.5	10.8
Rijnland		-2.6					2.7	24.0	3.1	22.5	0.5				9.5
Delfland	26.8	12.4					0.2	38.7	4.2	26.3	-7.2	13.4	14.2	12.2	12.2
Maasvlakte	55.4	-36.4					7.6	26.9	18.9	14.8	-19.4	3.7	5.4	2.7	6.1
Voorne	104.1	-66.9					4.5	26.9	-2.4	11.2	12.7	7.5	4.6	8.2	8.3
Goeree	61.1	-23.2	-0.2	-23.1	-1.0	6.5	-5.4	52.9	2.1	-18.1	30.4	8.1	3.6	6.2	5.7
Schouwen	53.8	-23.1	-3.7	-15.9	9.4	-31.1	14.2	38.2	10.2	-17.6	17.6	7.6	4.5	6.3	6.1
Oosterschelde	23.3	18.2	-0.4	-24.3	20.0	19.5	15.4	-1.8	26.0	7.0	24.4	12.7	9.7	13.4	12.3
Noord-Beveland	0.0	-13.3	48.7	-24.3	7.2	-10.1	14.2	28.8	18.5	-12.5	7.7	0.0	0.0	0.0	12.8
Walcheren	15.6	-23.1	30.0	24.2	-2.3	-19.9	8.3	3.0	17.5	-2.3	7.7	6.2	5.6	6.5	8.2
Zeeuws-Vlaanderen	18.0	-11.4	17.1	20.3	19.7	-8.1	15.8	11.8	10.3	-4.9	14.1	6.9	5.7	6.4	7.0
gemiddeld	35.8	-13.9	26.7	0.3	3.5	-16.1	7.3	20.1	10.2	6.0	5.5	9.4	8.5	9.3	9.5

Tabel 5.2 Aanzanding en suppletiehoeveelheden per kustvak. Alle hoeveelheden in 10^^{6} m^3.

kustvak	**Jaarlijkse aanzanding kustvak 1997-2008**	**Totale suppletie in kustvak 1997-2008**	**Suppletie vooroever in kustvak 1997-2008**	**% vooroever t.o.v. totale suppletie**	**Totale aanzanding 1997-2008**	**% aanzanding t.o.v. suppletie**	**Aanzanding – suppletie in periode**	**Start suppleren**	**Totale suppletie sinds startjaar[1]**	**Totale suppletie vooroever sinds startjaar[1]**
	A	B	C	D	E	F=100*E/B	G=E-B			
Schiermonnikoog	0.09	0	0	nvt	0.98	nvt	0.98	nvt	0.00	0.00
Ameland	0.12	9.45	6.81	72	1.35	14	-8.10	1980	16.04	6.81
Terschelling	0.53	0	0	nvt	5.80	nvt	5.80	1993	2.00	2.00
Vlieland	0.11	2.94	2.16	73	1.19	40	-1.75	1991	3.13	2.16
Texel	0.42	21.12	15.41	73	4.65	22	-16.47	1979	42.09	15.41
Noord-Holland	0.51	35.79	24.11	67	5.56	16	-30.23	1962	48.67	24.11
Rijnland[2]	0.39[2]	15.30[2]	13.45[2]	88	3.51[2]	23	-11.78	1990	23.05	19.41
Delfland	0.26	14.62	7.92	54	2.82	19	-11.80	1953	45.89	7.92
Maasvlakte[2]	0.07[2]	5.69[2]	2.10[2]	37	0.60[2]	11	-5.09	1979	13.12	2.10
Voorne	0.08	0.80	0	0	0.91	114	0.11	1973	10.52	0.00
Goeree	0.14	2.82	0	0	1.58	56	-1.24	1966	14.76	0.00
Schouwen	0.12	3.44	0	0	1.32	38	-2.12	1975	10.27	0.00
Oosterschelde	0.04	0	0	nvt	0.44	nvt	0.44	nvt	0.00	0.00
Noord-Beveland[2]	0.05[2]	1.49[2]	0[2]	0	0.46[2]	31	-1.03	1973	3.00	0.00
Walcheren	0.21	14.63	5.82	40	2.34	16	-12.29	1952	24.16	5.90
Zeeuws-Vlaanderen	0.10	2.59	0	0	1.06	41	-1.53	1971	9.06	0.32
Totaal	***3.18***	***130.68***	***77.78***	***60***	***34.05***	***26***	***-96.10***		***265.76***	***86.14***
Wadden	1.27	33.51	24.38	73	13.97	***42***	-19.54		63.26	26.38
Hollandse kust	1.16	71.41	47.58	67	12.50	***17***	-58.91		130.74	53.54
Delta	0.75	25.76	5.82	23	8.10	***31***	-17.64		71.76	6.22

1: gegevens tot en met 2008
2: periode 1999-2008

6 Uitwerking zandbudgetten proefgebieden

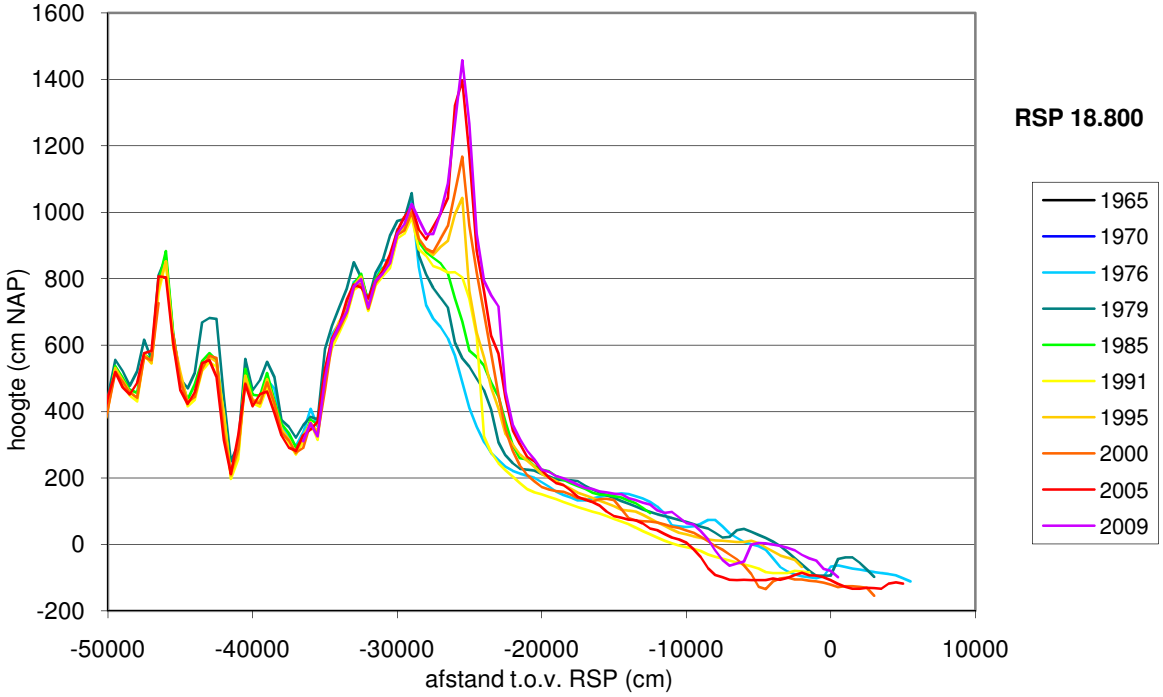
Door het bestuderen van het zandbudget van de zeereep wordt duidelijk of het suppleren hier een effect op heeft. Het effect kan zowel direct als indirect zijn. De beschikbaarheid van zand voor duinontwikkeling vormt een belangrijke randvoorwaarde voor de geomorfologische ontwikkeling, en daarmee uiteindelijk voor de ecologische ontwikkeling. Door rechtstreeks toevoegen van zand aan het systeem kunnen suppleties een directe invloed op de duinontwikkeling uitoefenen. Bij vooroeversuppleties is het effect meer indirect: uiteindelijk wordt het zandbudget van strand en zeereep beïnvloed, waardoor het type kust verandert, zonder dat suppletiezand direct in de zeereep wordt afgezet.

In dit hoofdstuk wordt per proefgebied het zandbudget van de zeereep besproken, met de historische ontwikkeling vanaf 1975, en de mogelijke invloed van suppleties daarop. De Jarkus-gegevens zijn eerst per raai geanalyseerd, en vervolgens per km geaggregeerd. Per profiel zijn volumeberekeningen uitgevoerd en gemiddeld over de kilometervakken. De ontwikkeling van het volume per kilometervak in de loop van de tijd is weergegeven in een grafiek (de ontwikkeling per raai is opgenomen in Bijlage 1). Hieruit is een trend in ontwikkeling te bepalen, en in een aantal gevallen ook een trendbreuk. Voor iedere kilometer is een gemiddelde volumeverandering voor een bepaalde periode in een tabel gezet. Per proefgebied worden enkele typerende profielen weergegeven. Voor de korte termijn wordt een vergelijking gemaakt van de resultaten uit de Jarkus-gegevens en de resultaten uit de laseraltimetriegegevens.

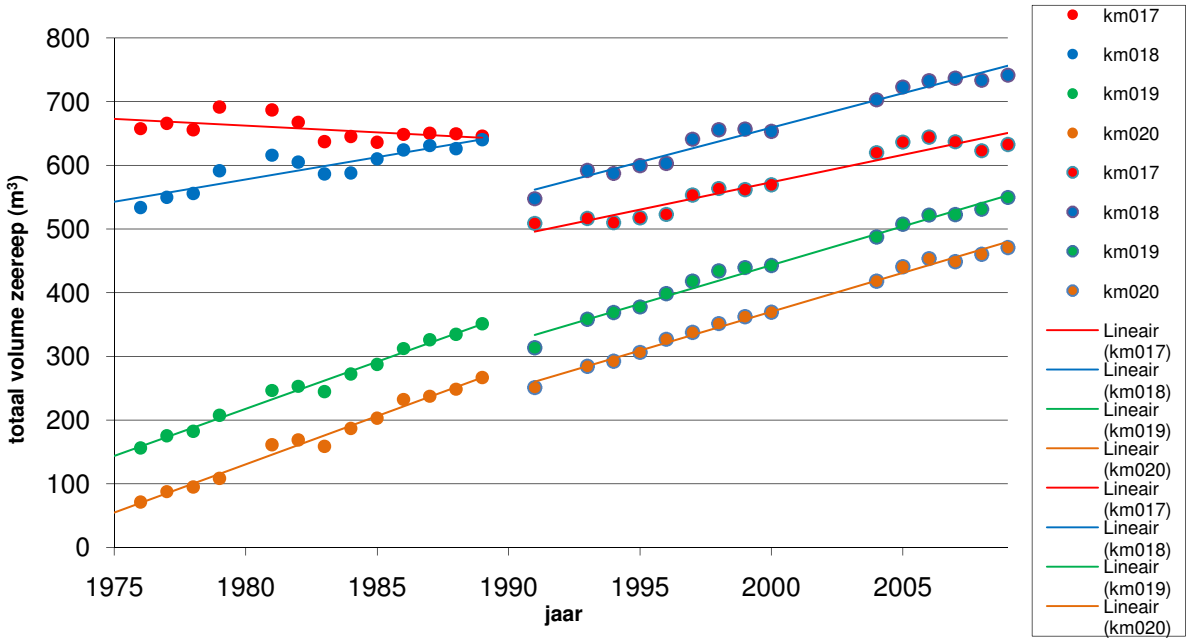
6.1 Ameland oost (RSP 17.00-20.00)

Het meest kenmerkend voor de zeereep in dit gebied is een sterke aanzanding met ophoging van de top en embryonale duinontwikkeling.

Tot grofweg raai 18.40 is het budget van de zeereep tussen 1976 en 1991 gemiddeld negatief, ten oosten daarvan dan al positief. In alle raaien is een grote afname in volume tussen 1989 en 1991 te zien (data van 1990 ontbreken). De afname is het grootst aan de westkant, en neemt naar het oosten toe geleidelijk af. De raaien ten oosten van 18.4 hebben over de gehele periode een positieve trend. In onderstaande tabel zijn de gegevens van 1989-1991 niet meegerekend. Uit de tabel blijkt dat ten westen van raai 19.00 het budget positiever is geworden (dankzij suppleren?), ten oosten daarvan enigszins minder positief (ondanks suppleren). Het is niet waarschijnlijk dat de positieve trend aan de oostkant samenhangt met suppleties meer naar het westen. Tot 1990 is daar tweemaal een duinverzwaring aangebracht, in 1980 tussen 10 en 16 en in 1990 tussen 12.4 en 17 (in raai 17 is deze overigens niet terug te vinden). Overigens lijken de suppleties van 1992 en 1998, die ook het oostelijk deel betreffen, geen verandering in de aanzanding te hebben veroorzaakt. De trend is hoogstens iets minder positief geworden. De trendbreuk voor km17 zou wel samen kunnen hangen met suppleties in combinatie met een natuurlijk herstel van de zware afslag van 1990.



Figuur 6.1 Typerend dwarsprofiel voor Ameland oost.

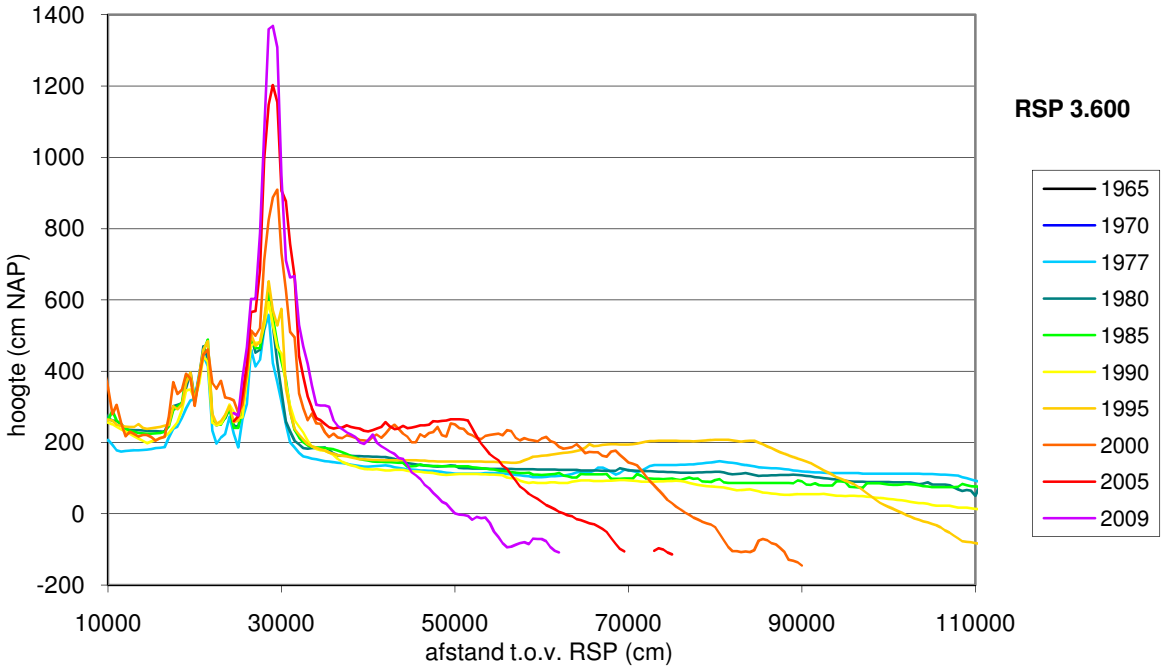


					suppletiehistorie			
raai	Vol1 1975-1989	Vol2 1991-2009	Begrenzing m tov RSP	dv-verplaatsing 1997-2009	1990	1992	1998	2006
17.000	-0.2	0.7	-340	-	202	178	312	375
17.200	-3.9	5.8	-305	-		178	312	
17.400	-1.2	4.6	-345	0		178	312	
17.600	-0.5	7.9	-325	0		178	312	
17.800	-0.8	6.6	-325	0		178	312	
18.000	1.3	8.9	-370	0		178	312	
18.200	4.6	7.3	-340	0		178	312	
18.400	7.5	9.9	-360	0		178	312	
18.600	9.5	9.9	-350	0		178	312	
18.800	11.7	12.5	-365	0		178	312	
19.000	14.5	15.3	-370	0		178	312	
19.200	14.1	13.1	-330	+		178	312	
19.400	14.2	12.3	-305	+		178	312	
19.600	16.8	14.1	-305	+		178	312	
19.800	15.5	14.4	-300	+			312	
20.000	15.0	12.3	-300	+			312	

NB suppletiehoeveelheden in m^3/m

Concluderend lijkt er in het gebied tot km 18.00 een effect van suppleren, waarbij de aanzanding van de zeereep is toegenomen. Ten oosten van 18.00 lijkt het suppleren geen effect te hebben op de al langer optredende aanzanding.

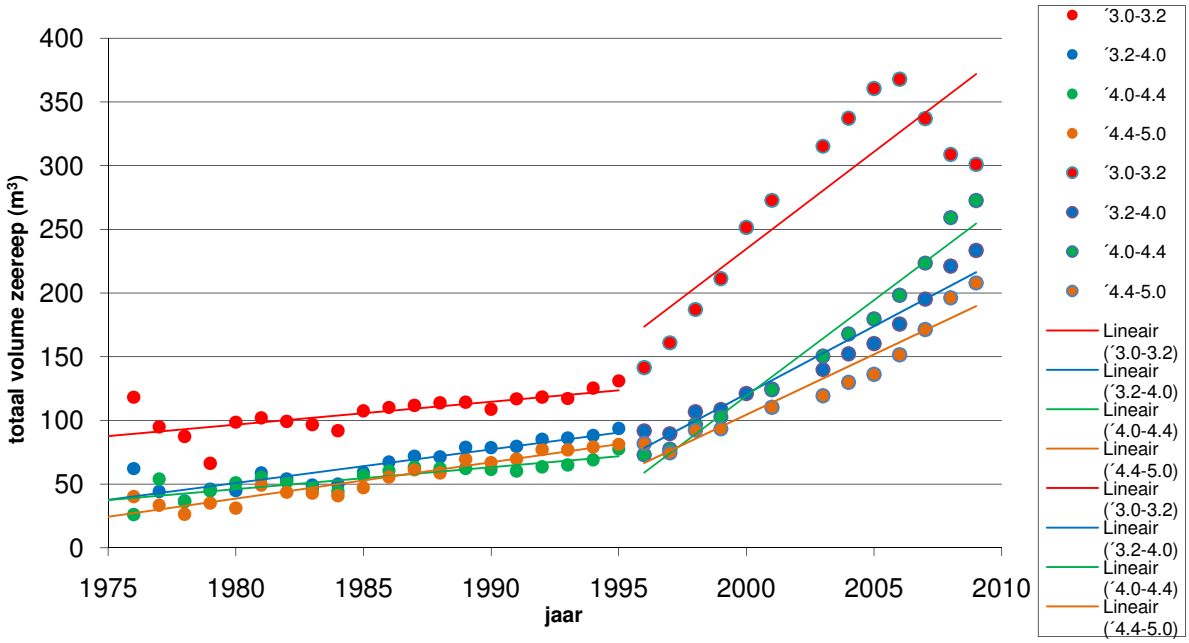
6.2 Ameland west (RSP 3.00-5.00)



Figuur 6.2 Typerend dwarsprofiel voor Ameland west.

De veranderingen in dit gebied worden sterk beïnvloed door de veranderingen op het strand die samenhangen met de strandhaakontwikkeling en verplaatsing van het zeegat tussen Ameland en Terschelling. Suppleties zijn alleen ten westen van raai 3.2 uitgevoerd. Er is een duidelijke ruimtelijke trend zichtbaar. De strandhaakontwikkeling zou bij raai 3 eigenlijk vanaf circa 2000 geen invloed meer moeten hebben. De enorm positieve trend (een toename van 300m^3 in ca 10 jaar) valt samen met suppleties, vanaf 1997 ten westen van raai 3, vanaf 2004 ook tussen raai 3 en 3.2 Bij raai3 buigt de trend in 2006 om van sterk positief naar sterk negatief (ondanks de strandsuppletie in 2007). De uitbouw van het strand vindt tussen 1985 en 1990 plaats, dan wordt het ca 200m breder. Het strand wordt tussen 2005 en 2007 tussen 3 en 4 35-40m smaller, sinds 1990 meer dan 800m smaller. Desondanks vertoont de zeereep aangroei, met vooral een uitbreiding in zeewaartse richting. Tussen 1990 en 1995 neemt de breedte van het strand dramatisch af, maar ondertussen wordt het veel hoger. Ligt het rond 1990 gemiddeld op 0-1m NAP, rond 1995 is dat rond 2m NAP. Bij raai 5.00 is het strand door de strandhaakontwikkeling enorm breed, en neemt vanaf 1996 sterk af. Tussen 2005 en 2007 is de afname nog maar beperkt. Tot 4.2 zet de trendbreuk in rond 1996 (dus vóór de eerste suppletie). Vanaf 4.2 zet de trendbreuk later in, pas rond 2002 en in raai 5 is er zelfs geen sprake meer van een trendbreuk, maar van een continue, positieve trend. De ontwikkelingen tussen 4 en 5 worden waarschijnlijk gedomineerd door de strandhaak en niet door suppleties.

De ontwikkeling van raai 3.6 in *Figuur 6.2* toont dat een volumetoename van de zeereep veroorzaakt kan worden door het oprollen van het strand, waarbij de strandbreedte enorm afneemt, de hoogte van het droge strand echter tegelijkertijd toeneemt. De trendbreuk naar een enorm positief budget aan de westkant van het gebied valt samen met suppleties maar het lijkt onwaarschijnlijk dat de trendbreuk hierdoor veroorzaakt wordt. Vanaf 2006 is er sprake van een negatieve trend, en ook hier lijkt de suppletie (van 2007) geen invloed op te hebben.

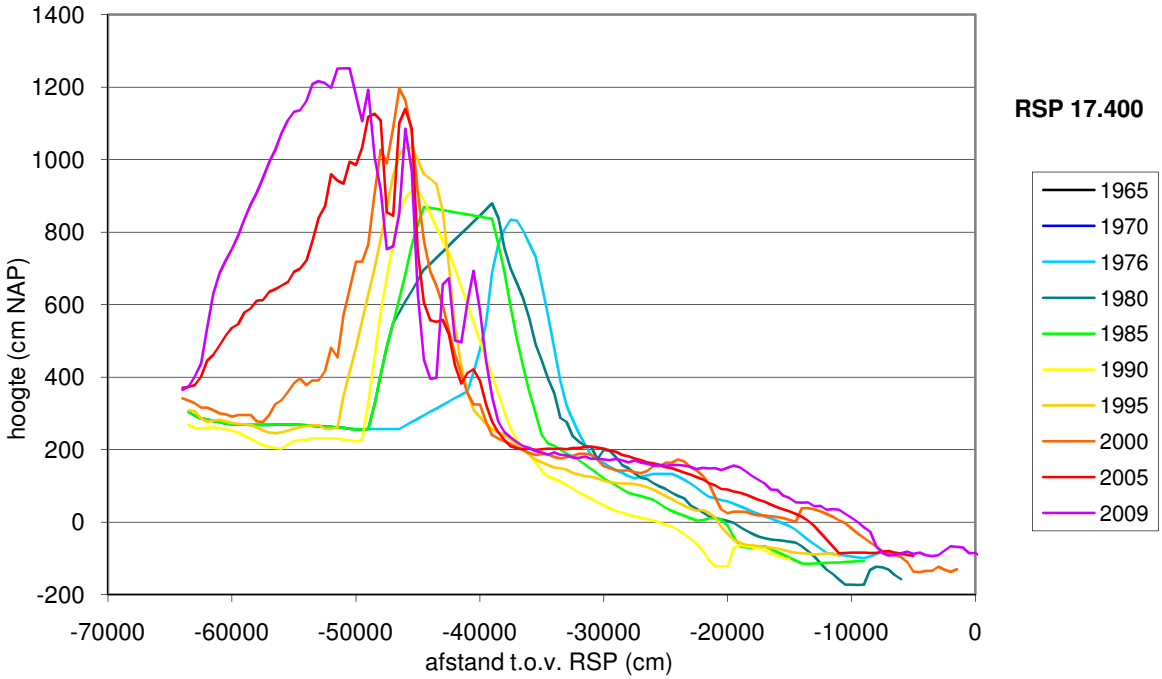


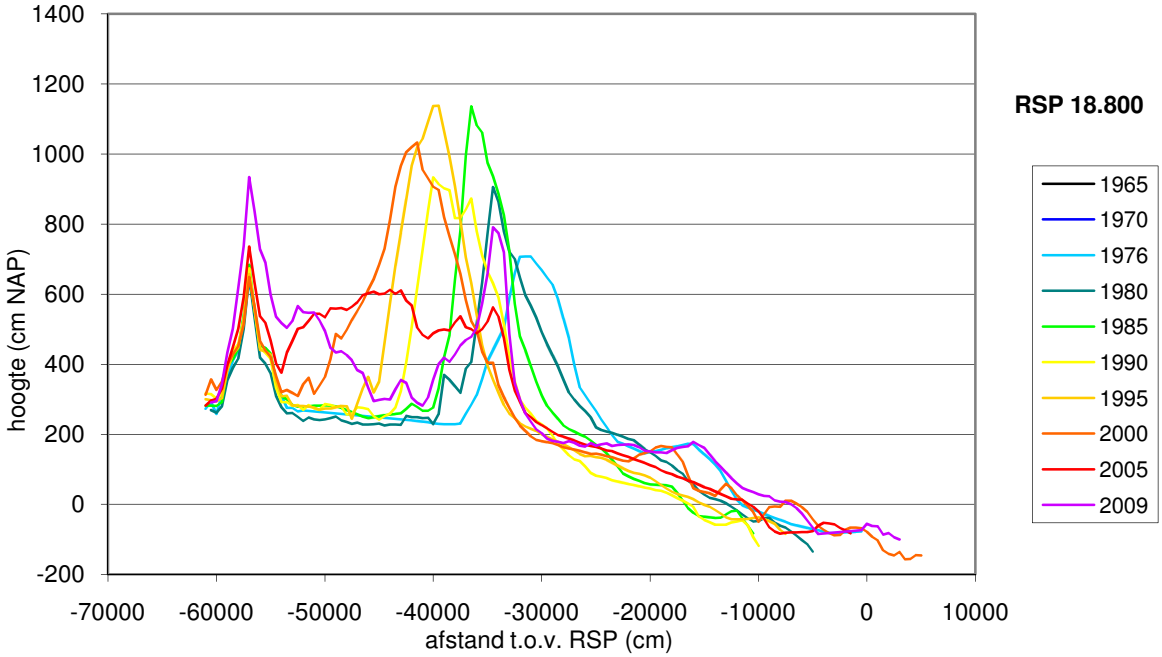
					suppletiehistorie			
raai	**Vol1 1975-1995**	**Vol2 1996-2009**	**Begrenzing m tov RSP**	**dv-verplaatsing 1997-2009**	**1997**	**2004**	**2007**	**2007**
3.000	2.2	10.1	60	0	284	325	1290	288
3.010	7.5	9.4	60	0		325	1290	288
3.020	8.7	8.1	60	0		325	1290	288
3.030	10.2	7.6	60	-		325		288
3.040	11.0	9.4	60	-		325		288
3.200	4.9	7.4	160	-		325		288
3.400	2.7	12.3	215	+				
3.600	5.1	19.3	245	+				
3.800	4.2	17.0	255	+				
4.000	4.0	13.7	275	+				
4.010	3.7	12.8	280	+				
4.020	3.6	12.5	285	+				
4.200	2.2	12.8	325	+				
4.400	1.9	6.9	355	+				
4.600	5.7	10.6	395	+				
4.800	6.4	7.3	390	+				
5.000	9.9	4.8	410	+				

6.3 Terschelling midden (RSP 15.00-20.00)

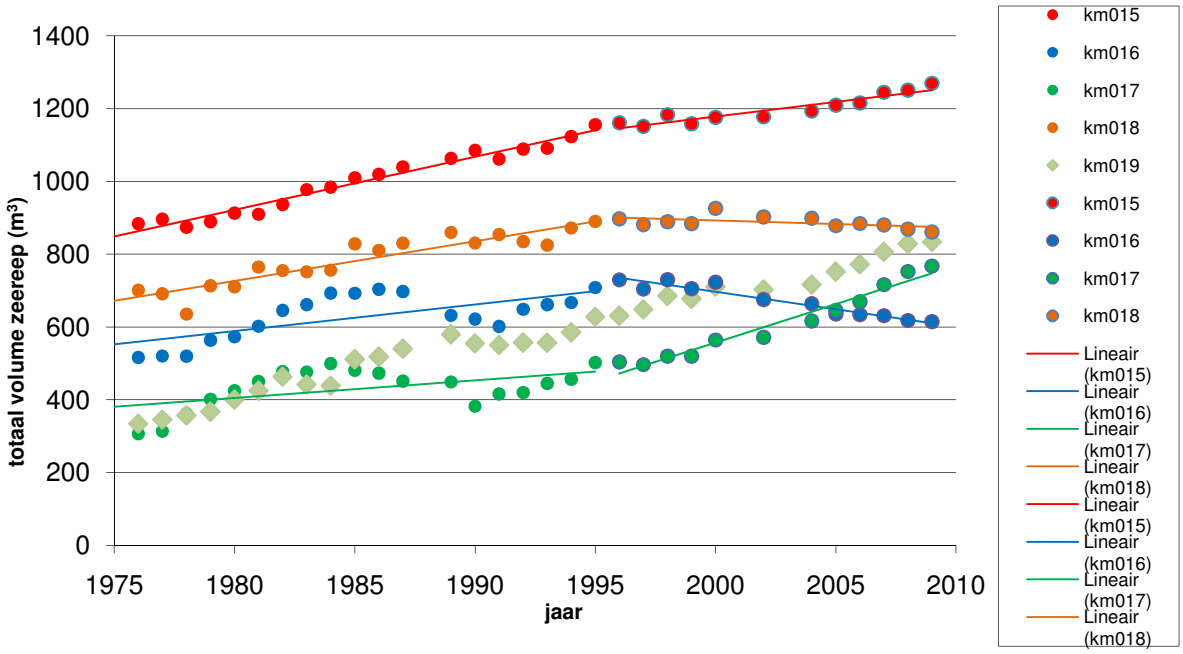
Raai 17.4 toont een fenomenale aanstuiving, die beïnvloed wordt doordat in deze raai intensief stuifschermen worden gezet, waardoor in dit deel zand vanuit een groter brongebied (de westelijkere raaien) wordt ingevangen. De aanstuiving is gemiddeld 65 m^3/m.jaar tussen 1996 en 2009, waarbij vooral de veranderingen tussen 2000 en 2008 exorbitant zijn, en nooit eerder waargenomen. Kanttekening is dat in het achterste deel van het profiel alleen van 2004 en 2008 data zijn, de rest is geïnterpoleerd. Het is nog mogelijk dat een meetfout hier een rol speelt, maar de vorm van de profielen oogt logisch.

Het beeld is divers en wordt flink bepaald door periodiciteit, waardoor het lastig is de juiste trends of trendbreuken te bepalen. Desondanks lijkt er voor 15, 17 en 19 sprake van een gemiddeld positieve trend, terwijl voor 16 en 18 de trend rond 1996 verandert van positief of neutraal naar licht negatief. Mogelijk is er bij km 17 en 19 enige positieve invloed op de trend van de vooroeversuppletie van 1993. De negatieve trend bij 16 en 18 hangt waarschijnlijk samen met het verstuivingsexperiment, waarbij een groot deel van de zeereep door de wind landwaarts is verplaatst. Hierbij speelt overigens ook een rol dat in 2009 de metingen te krap zijn, en een deel van de ophoging van 2009 daardoor niet in de volumeberekening is meegenomen. Dit zou vooral voor raai 18 het verschil tussen een negatieve en positieve trend kunnen betekenen. Verder is hier van belang dat de ontwikkelingsrichting niet gelijk aan de richting van de raaien; er wordt zand uit de raaien naar de meer oostelijk gelegen raaien geblazen.





Figuur 6.3 Typerende profielen voor Terschelling midden



Tot 1989 zijn de raaien aan de achterkant te krap begrensd, waardoor een onderschatting van de volumetoename tussen 1976 en 1989 optreedt. De hoogtes aan de achterkant zijn voor de jaren 1976 tot 1988 gelijk gesteld aan 1989, de hoogtetoename die hier zeker is geweest, wordt hierdoor onderschat, en dus ook de volumetoename.

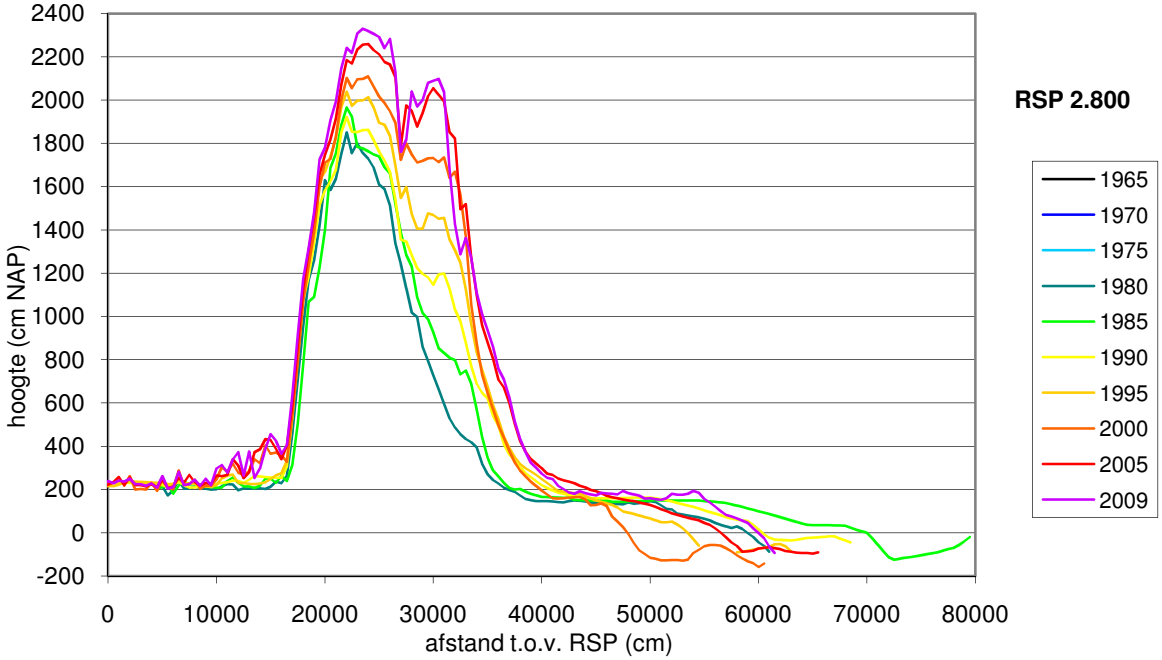
Overigens is aan de hand van deze gegevens een ander belangwekkend gegeven te bepalen, namelijk de hoeveelheid zand die door de wind uit een duin kan worden geblazen, dus de hoeveelheid winderosie. Voor de hierboven afgebeelde raai is dat tussen 2000 en 2005 -247 m^3 en tussen 2005 en 2009 -363 m^3, ofwel respectievelijk -52 en -60m^3/m.jaar. Dit zijn respectabele hoeveelheden en aanzienlijk groter dan de maximale aanstuivingshoeveelheden (met uitzondering dan van raai 17.4, zie hierboven). Dit zijn nog niet eens maxima, want voor raai 16.00 is de winderosie tussen 1995 en 2000 maar liefst -69 m^3/m.jaar, en voor raai 16.80 over dezelfde periode -75 m^3/m.jaar. Het zou interessant zijn om deze berekeningen voor alle raaien met winderosie uit te voeren, om een indicatie van de maximale hoeveelheid winderosie te krijgen. Waarschijnlijk correleren deze erosiecijfers beter met meteorologische gegevens dan sedimentatiecijfers, omdat in het laatste geval de beschikbaarheid van zand vaak bepalender is voor de totale hoeveelheid.

					suppletiehistorie
raai	**Vol1 1977-1995**	**Vol2 1996-2009**	**Begrenzing m tov RSP**	**dv-verplaatsing 1997-2009**	**1993**
15.000	18.7	13.8	-500	+	454
15.200	17.2	13.3	-505	+	454
15.400	17.7	13.1	-500	+	454
15.600	-1.4	17.7	-635	+	454
15.800	19.4	10.5	-535	+	454
16.000	14.0	-15.7	-635	+	454
16.200	11.5	0.7	-635	+	454
16.400	11.7	4.7	-690	-	454
16.600	6.3	-21.6	-680	-	454
16.800	12.9	-25.3	-670	+	454
17.000	4.3	25.0	-655	+	454
17.200	5.9	16.6	-635	+	454
17.400	10.9	65.1	-635	+	454
17.600	11.2	19.0	-665	0	454
17.800	19.8	11.4	-650	-	454
18.000	9.5	-17.6	-6.35	+	454
18.100				-	454
18.200	-4.4	12.1	-6.25	0	
18.400	11.2	-14.0	-585	+	
18.600	11.5	-14.1	-605	+	
18.800	18.9	-4.7	-605	+	
19.000	13.0	30.6	-595	+	
19.200	8.6	19.1	-515	+	
19.400	22.7	6.2	-495	+	
19.600	14.0	26.4	-470	+	
19.800	16.8	-7.3	-445	+	
20.000	17.6	26.6	-450	+	

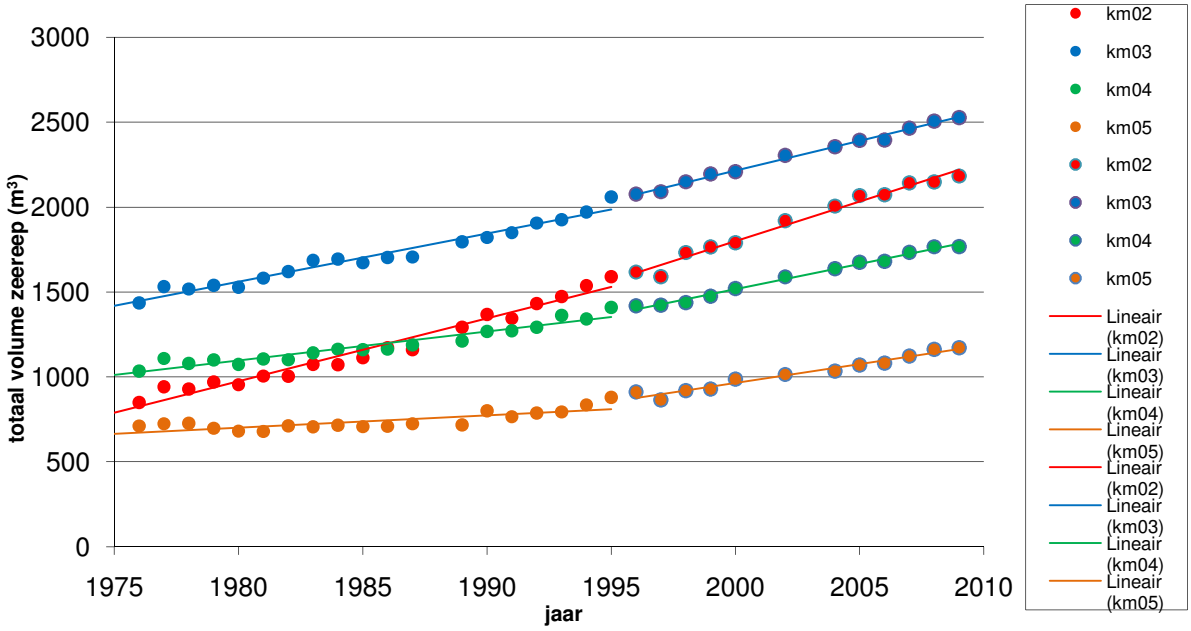
Concluderend lijkt het effect van de suppletie van 1993 op de ontwikkeling beperkt. De veranderingen in sedimentbudget zijn over het algemeen niet wezenlijk, en als ze dat wel zijn dan is dat het gevolg van het verstuivingsepxeriment, waardoor zand uit bepaalde raaien wordt geblazen en in andere wordt afgezet.

6.4 Terschelling west (RSP 2.00 – 6.00)

Het geweldig positieve budget van de zeereep hangt voor een deel samen met het oprollen van het strand tot circa 2000-2003. Vooral ten oosten van 3 wordt het strand smaller, en deels hoger. Er wordt dus zand van de vooroever op het strand afgezet, wat vervolgens in de duinen terecht komt. Tussen raai 3 en 4 blijft nauwelijks strand over. Na 2000-2003 neemt het strand weer toe in breedte. Ondanks (of dankzij: het is goed mogelijk dat de hoeveelheid zand die binnenkomt zo groot is dat plaatselijk de vegetatie volledig begraven wordt en afsterft) het positieve budget treedt wel verkerving en parabolisering op, wat is begonnen door terug schrijdende erosie van stuifkuilen in de top. Tussen raai 2 en 4 is de trend over de gehele periode redelijk constant, met een lichte periodiciteit. Ten oosten van 4 neemt de positieve trend vanaf ca 1990-1993 toe, waarschijnlijk ook door het oprollen van het strand en de ontwikkeling van strandduintjes.



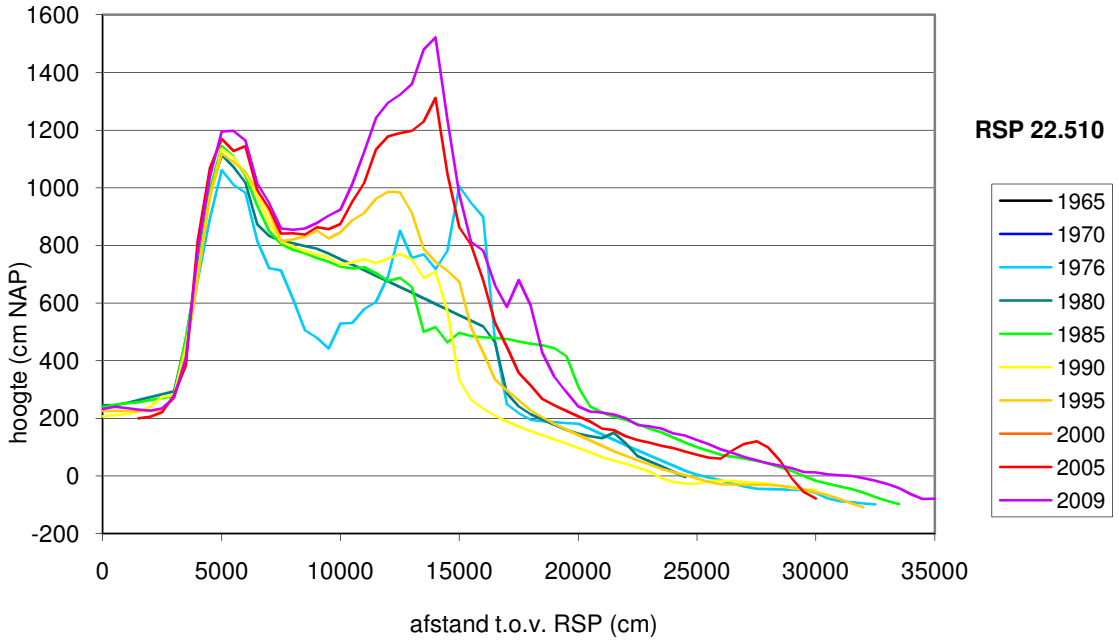
Figuur 6.4 Typerende profielen voor Terschelling west



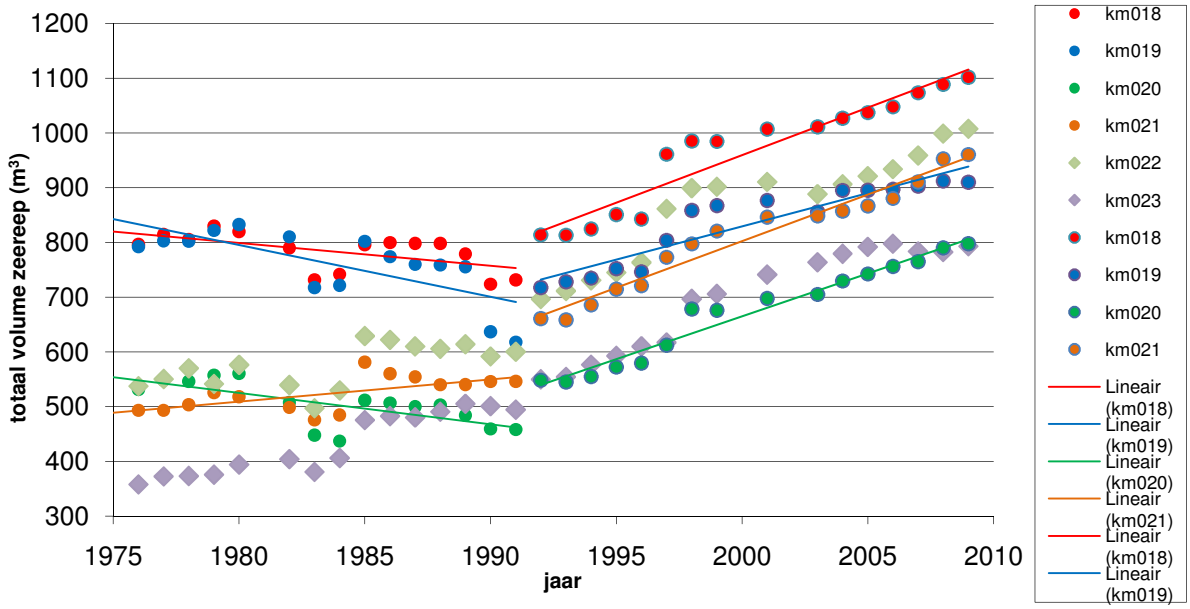
Voor zover er al sprake is van een trendbreuk, dan is dat een versterking van de aanstuiving vanaf de jaren 1990. De ontwikkeling is over de tijd vrij homogeen. Er is in dit gebied nooit gesuppleerd.

raai	Vol1 1977-1995	Vol2 1996-2009	Begrenzing m tov RSP	dv-verplaatsing 1997-2009
2.000	29.4	30.1	0	+
2.200	37.0	41.5	5	+
2.400	39.3	38.6	0	+
2.600	39.2	47.7	80	+
2.800	45.1	45.2	45	+
3.000	34.7	39.2	150	+
3.200	39.0	41.9	225	0
3.400	33.1	32.2	205	-
3.600	28.0	36.6	200	-
3.800	30.1	27.1	200	0
4.000	28.5	19.7	200	+
4.200	22.6	35.4	190	+
4.400	20.5	24.0	185	+
4.600	19.0	18.1	130	+
4.800	14.2	23.2	90	+
5.000	17.2	29.0	-100	+
5.010	16.6	18.4	-95	+
5.020	6.8	26.1	-90	+
5.030	11.4	27.4	-85	+
5.040	12.7	25.7	-90	+
5.200	0.4	23.7	0	+
5.400	2.4	15.6	-20	+
5.600	10.5	22.5	25	+
5.800	9.5	13.3	85	+
6.000	10.4	21.8	210	+

6.5 Texel noord (RSP 18.00-24.00)



Figuur 6.5 Typerende profielen voor Texel noord



De suppletie-invloed lijkt hier overduidelijk. Tot 1992 is er van km18 t/m 20 sprake van een vlakke of negatieve trend die bij iedere strandsuppletie "opgetild" wordt. Ten oosten van 20 is de trend al positief, waarschijnlijk dankzij de strandsuppleties. Na 1992 wordt de trend overwegend positief, en is ook het effect van de strandsuppletie zichtbaar in een bump. De vooroeversuppleties lijken de trend gelijkmatiger te maken, het springerige verloop is er dan uit. De positieve trend is overigens fors, met een netto toename van 20-25 m^3/m.jaar.

Het effect van de eerste suppletie in 1984 is minder duidelijk. De aanleg zorgt voor een forse uitbreiding in 1985, maar is in 1991 geheel opgeruimd, zonder dat dit tot veel overstuiving van de zeereep heeft geleid. Die begint pas vanaf begin jaren 1990 op gang te komen, en tot een substantieel verhoging van de zeereep te leiden. Opvallend is dat afslag slechts tot beperkte secundaire verstuiving leidt. Het negatieve budget is puur het gevolg van het langzaam maar zeker wegeroderen van de zeereep.

Op de grens van 23 en 23.2 lijkt de invloed van de vooroeversuppleties zichtbaar. Bij 23.000 blijft de trend positief, en is het effect van de vooroeversuppleties in 2002 en 2006 merkbaar in een positieve trend. Bij 23.2 is dat ook nog enigszins zichtbaar, bij 23.4-24.00 buigt de trend na 2006 om. Het lijkt alsof hier de vooroeversuppletie van 2002 nog wel invloed heeft (was ook veel groter), die van 2006 niet.

Opvallend is dat zowel bij km 18 als bij km 22-23 de duinvoet terug wijkt en tegelijkertijd het zeereepbudget fors positief is. Dit hangt samen met de begrenzing suppletie: in 1997 ligt de 3m NAP door de aanleg van de suppletie (tot een hoogte van 5m NAP) verder zeewaarts, in 2009 is deze opgeruimd en ligt de duinvoet daardoor ten opzichte van 1997 veel verder landwaarts. Er is in deze periode echter geen sprake meer van afslag. Afslag speelt wel tot de jaren 1980 een rol. In 1980 is op verschillende plaatsen de (steile en smalle) zeereep afgevlakt en naar achteren geschoven.

Bij 18.33 wordt er in 1979 waarschijnlijk zand van buiten in het profiel geschoven, waardoor er een flinke, positieve sprong in het budget is. De achterkant van de zeereep is opeens veel breder. De suppletie van 1984 is goed zichtbaar in het profiel , en is in 1990 helemaal opgeruimd.
Het profiel is op een aantal plaatsen rond 1980 vlak geschoven of naar achter geschoven, en op een aantal plaatsen later, tussen 1980 en 1985. Sindsdien ligt de duinvoet zeewaarts van toen, de zeereep is dus een stuk breder geworden.

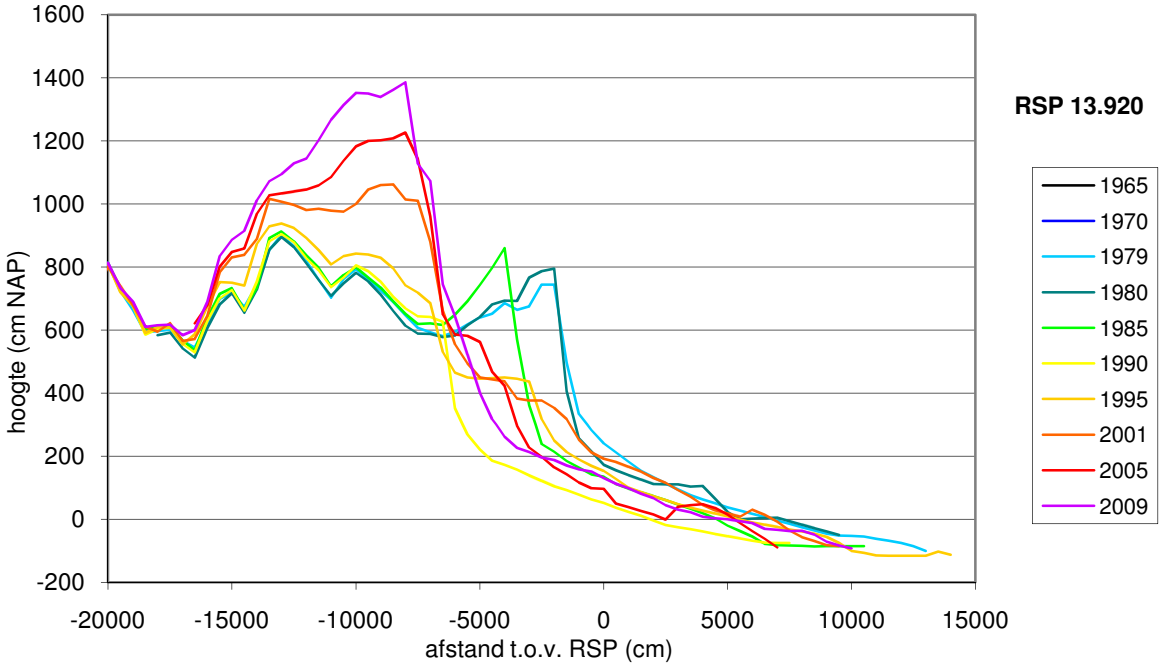
Een belangrijke vraag die bij dit proefgebied opkomt is waarom de (forse) suppletie van 1984 slechts een beperkte invloed lijkt te hebben, terwijl de suppleties in de jaren 1990 tot een duidelijke toename in overstuiving aanleiding lijken te geven, terwijl ondertussen de achteruitgang van de zeereep min of meer tot stilstand is gekomen. Heeft dit te maken met een forsere suppletie-inspanning, met een ander soort zand, een afname van het zeereeponderhoud, een geringe stormschade door het uitblijven van grote stormen, een sterk verhoogde doorstuiving door de enorme stormschade van 1990, het voortdurend door nieuwe afslag wegeroderen van de overstuiving, het instellen van een dynamisch evenwicht of een combinatie van dit alles?

					suppletiehistorie						
raai	**Vol1 1975-1991**	**Vol2 1992-2009**	**Begrenzing m tov RSP**	**dv-verplaatsing 1997-2009**	1984	1991	1996	1997	2000	2002	2006
18.130	0.1	23.5	-5	-	515	381	429		188	899	250
18.330	9.7	25.2	20	-	515	381	429		188	899	250
18.530	-3.0	22.5	25	-	515	381	429			899	250
18.730	-14.6	21.0	55	-	515	381	429			899	250
18.780				+	515	381		309		899	250
18.930	-10.1	19.5	20	+	515	381		309		899	250
19.120	-13.0	22.8	5	+	515	381		309		899	250
19.320	-15.0	18.2	20	+	515	381		309		899	250
19.520	-15.3	20.6	50	+	515	381		309		899	250
19.720	-8.9	18.8	70	+	515	381		309		899	250
19.920	-6.3	12.7	50	-	515	381		309		899	250
20.110	-3.0	16.2	80	+	515	381		309		899	250
20.310	-3.0	20.6	85	+	515	381		309		899	250
20.510	-5.4	20.9	105	+	515	381		309		899	250
20.710	-4.9	22.8	110	+	515	381		309		899	250
20.910	-0.5	21.1	120	+	515	381		309		899	250
21.110	2.0	24.1	60	+	515	381				899	250
21.310	5.6	24.7	70	+	515	381				899	250
21.510	6.3	26.0	45	+	515	381				899	250
21.710	2.6	25.8	40	+	515	381				899	250
21.910	6.1	24.5	60	+	515	381				899	250
22.110	3.9	24.5	65	-	515	381	382			899	250
22.310	5.8	25.7	55	-	515	381	382			899	250
22.510	4.2	28.1	35	-	515	381	382			899	250
22.710	9.6	27.7	15	-	515	381	382			899	250
22.910	8.4	27.3	0	-	515	381	382			899	250
23.000	3.0	22.2	-5	-	515	381	382			899	250
23.200	9.8	22.4	0	-	515	381	382				
23.400	10.5	16.2	30	-	515	381	382				
23.600	-0.4	11.8	10	0	515						
23.900	14.5	12.2	0	+	515						
24.000	19.0	16.2	-20	+	515						

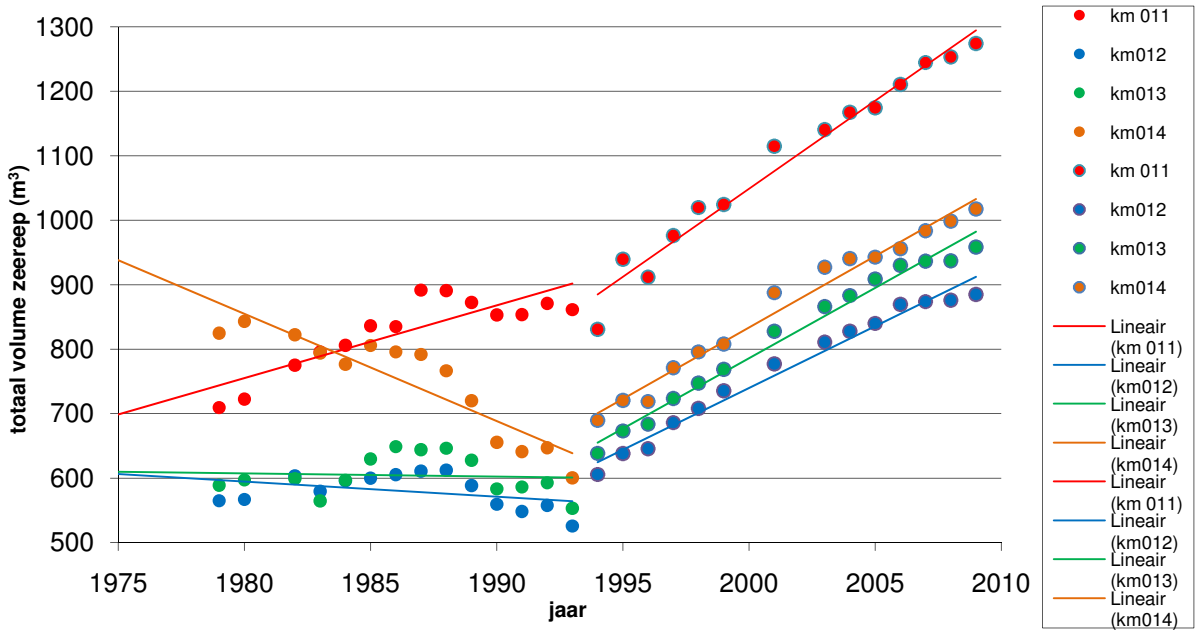
6.6 Texel midden (RSP 11.00-15.00)

De invloed van suppleties is overduidelijk en vergelijkbaar met die in het noordelijk proefgebied. Tot 1994 (zuiden) / 1993 (noorden) is er sprake van een negatieve of zwak positieve trend, die daarna overgaat in een gelijkmatige, sterk positieve trend, hier zelfs

met een netto toename van 25-30 m^3/m.jaar. Tot 1993 slaat de zeereep af, met een zeer forse achteruitgang in 1993. Vanaf dan verplaatst de duinvoet zich weer zeewaarts. In het noordelijk deel is rond 1980 de zeereep naar achteren geschoven en afgevlakt. Ook hier gaat de afslag in de jaren 1980 gepaard met een beperkte overstuiving, en neemt die pas substantiële vormen aan vanaf begin jaren 1990. Net als in het noordelijk proefgebied valt op dat de afslag in de jaren 1980 slechts tot een beperkte secundaire verstuiving leidt.



Figuur 6.6 Typerende profielen voor Texel midden



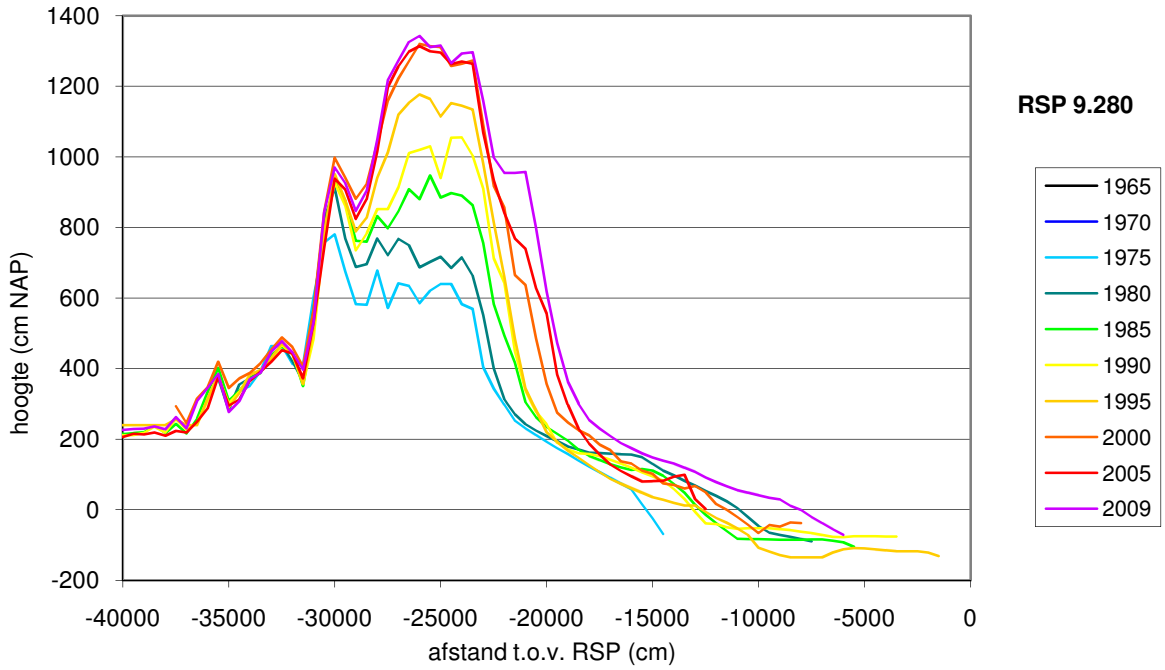
					suppletiehistorie							
raai	Vol1 1979-1993	Vol2 1994-2009	Begrenzing m tov RSP	dv-verplaatsing 1997-2009	1993	1994	1997	2000	2003	2005	2006	2007
11.080	17.7	24.5	-140	+		272	342	189	489			511
11.280	10.0	25.3	-150	+		272	342	189	489			511
11.430				-		272	342	189	489			511
11.480	7.5	23.1	-160	0		272		189	489			511
11.680	9.6	27.0	-170	0		272		189				511
11.900	3.4	26.6	-175	0		272		189				511
12.100	-4.6	28.0	-180	-	372	272						511
12.300	-7.1	23.7	-170	+	372							511
12.490	-10.3	14.1	-170	+	372							511
12.690	-5.4	25.1	-165	-	372							511
12.890	5.6	21.4	-180	-	372							511
12.980	-4.9	25.5	-185	-	372			203				511
13.120	-0.8	27.2	-180	0	372			203				511
13.320	1.4	22.4	-175	-	372			203				511
13.500				-	372			203				511
13.520	3.2	23.9	-175	-	372			203		769		
13.720	-2.5	25.7	-175	-	372			203		769		
13.920	-15.4	28.2	-165	-	372			203		769		
14.000				-	372			203		769	333	
14.100	-27.3	20.7	-150	-	372			203		769	333	
14.300	-14.3	25.1	-155	-	372			203		769	333	
14.500	-8.6	27.6	-155	0	372			203		769	333	
14.700	-16.4	31.6	-155	+	372			203		769	333	
14.900	-15.7	22.8	-150	+	372			203		769	333	

6.7 Groote Keeten (RSP 8.00-11.00)

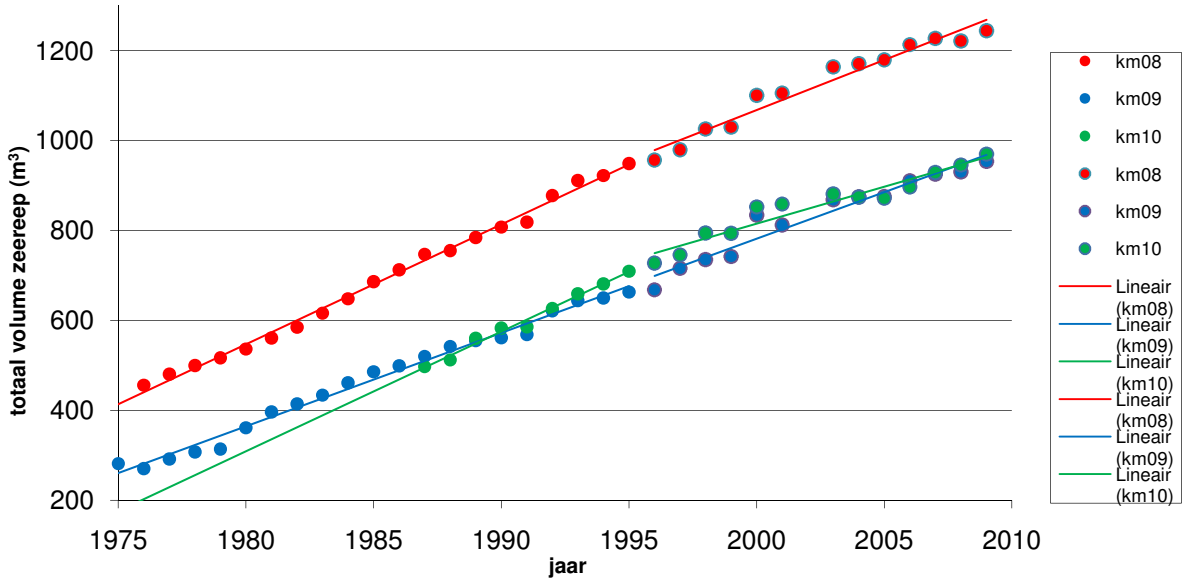
De zeereep bij Groote Keeten zandt aan, waarbij zowel de hoogte als de breedte toeneemt. De duinvoet verplaatst in zeewaartse richting. In het middengebied is nauwelijks gesuppleerd.

Voor Groote Keeten zijn 3 kilometervakken geaggregeerd. Voor alle raaien is er sprake van een positieve trend in aanzanding. De aanzanding is fors en ligt al 30 jaar rond de 20 m^3/m.jaar. De trendberekening is in eerste instantie uitgevoerd voor het totale volume van de zeereep. Hiervoor is per km een gemiddelde bepaald.

Figuur 6.8 geeft de resultaten voor de trendberekeningen, voor de periode 1975-1995 (en voor km 10 1986-1995) en 1996-2008. Voor 1996 zijn in dit gebied geen suppleties uitgevoerd. Bij km08 is geheel niet gesuppleerd, bij km09 is alleen in een klein deel in 2003 een beperkte vooroeversuppletie uitgevoerd. Als er al sprake is van een trendbreuk, dan is het de vraag of die statistisch significant is. Bovendien is die tegengesteld aan wat verwacht zou worden, d.w.z. de aanzanding gaat in de tweede periode minder snel dan in de eerste. In de tabel staat per kilometervak de gemiddelde volumeverandering voor de twee perioden. Per raai is de landwaartse begrenzing voor de volumeberekeningen aangegeven. Deze begrenzing wordt meestal bepaald door de beschikbaarheid van data, en is vaak te krap, dat wil zeggen dat ook verder landwaarts nog hoogteverschillen zijn waar te nemen. Voor Groote Keeten is de begrenzing voldoende ruim.



Figuur 6.7 Typerend dwarsprofiel voor Groote Keeten.



Figuur 6.8 Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

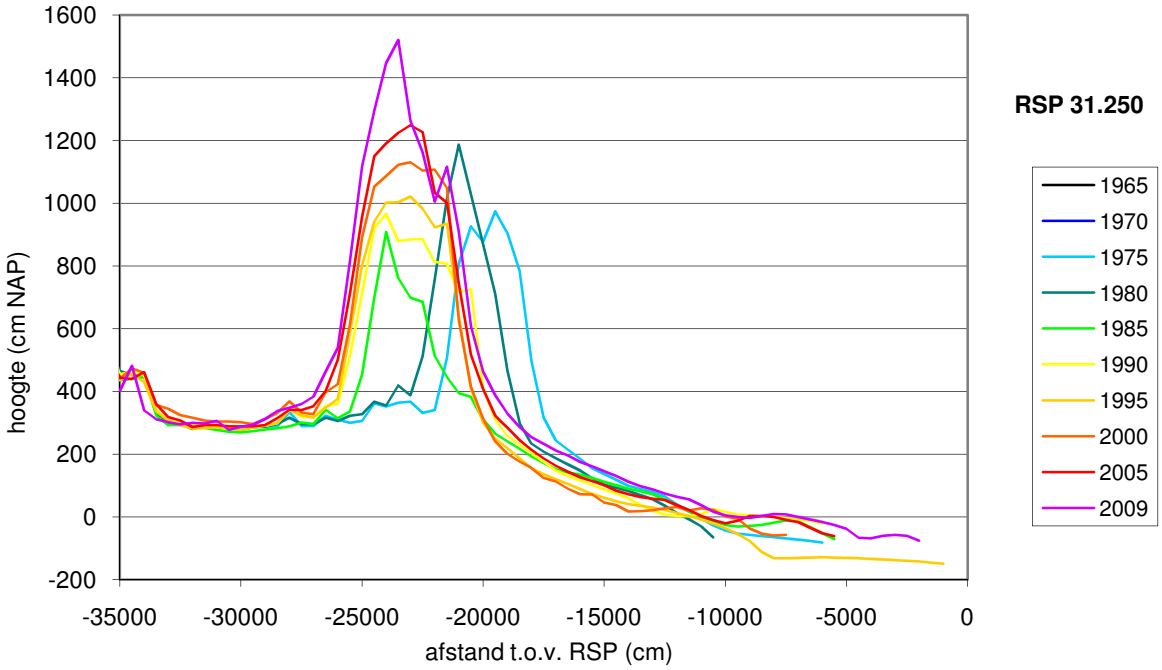
raai	Vol1 1975-1995	Vol2 1996-2008	Begrenzing m tov RSP	dv-verplaatsing 1997-2008	suppletiehistorie				
					1986	1996	1999	2003	2006
8.080	31.0	30.6	-395	+					
8.270	22.0	16.0	-375	+					
8.480	23.9	18.0	-370	+					
8.690	19.4	16.8	-350	+					
8.890	28.8	20.1	-355	+					
9.080	17.8	19.1	-340	+					
9.130								41	
9.280	18.2	15.3	-315	+				41	
9.430								41	
9.480	16.5	19.1	-320	+					
9.680	23.8	26.3	-350	+					
9.840	9.7[1]	16.2	-330	+					
10.000	27.9[1]	20.1	-290	+		217	36	429	229
10.160	26.9[1]	17.7	-325	+		217	36	429	229
10.310	25.9[1]	17.9	-300	+	428	217	36	429	229
10.470	32.0[1]	22.6	-300	+	428	217	36	429	229
10.620	23.0[1]	15.6	-290	+	428	217	36	429	229
10.780	28.5[1]	16.3	-265	+	428	217	36	429	229
10.930	21.5[1]	21.1	-260	+	428	217	36	429	229

[1] RSP 9.840 t/m 10.930 berekening Vol1 over 1986-1995

Er is op grond van deze gegevens geen verschil in ontwikkeling te zien tussen gesuppleerd en niet gesuppleerd. Alle raaien tonen een gestage, positieve trend. De data tussen RSP9.840 en 10.930 beginnen echter pas na 1986, en dit is ook het begin van suppleren (met een forse strandsuppletie). Een mogelijke trendbreuk in de ontwikkeling zou voor deze raaien rond 1986 kunnen liggen. Voor de ontwikkeling tot 1986 zouden daarom andere raaien beschouwd moeten worden.

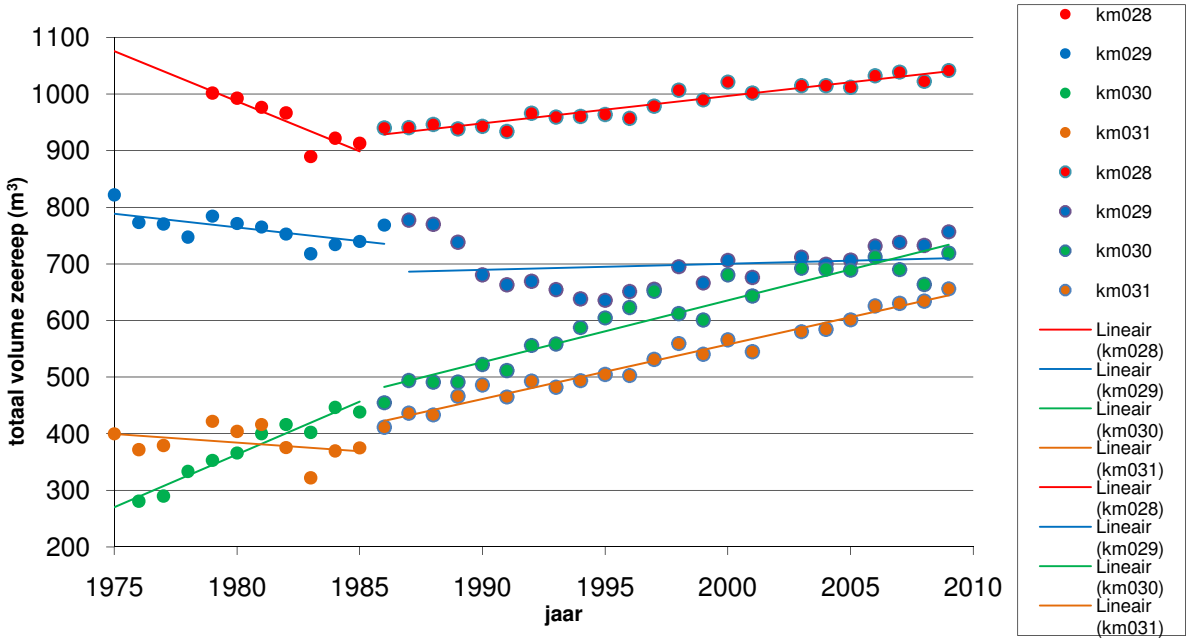
6.8 Schoorl (RSP 28.00-31.50)

Dit gebied is divers qua ontwikkeling. De km-vakken geven eigenlijk geen goed beeld van de ontwikkeling omdat de variatie binnen de km-vakken al groot is.



Figuur 6.9 Typerend dwarsprofiel voor Schoorl.

In sommige raaien blijkt sprake van meerdere trendbreuken. Opvallend is dat ook voor 1992, het jaar waarin de eerste suppletie werd toegepast, al sprake is van een duidelijke omslag van een negatieve naar een positieve trend, bijvoorbeeld voor raai 28.470 en 31.000 en minder duidelijk voor 28.640 en 28.820. De negatieve trend in raai 28.000 hangt samen met de ontwikkeling van een stuifkuil, en het niet gesloten zijn van het systeem. De stuifkuil groeit in de zeewaartse helling, en een deel van het zand wordt afgezet aan de achterkant, buiten het opgenomen profiel. Ook in raai 29.870 speelt dit, maar in mindere mate. Eigenlijk zouden dit soort profielen bij de trendanalyse buiten beschouwing moeten worden gelaten.



Figuur 6.10 Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

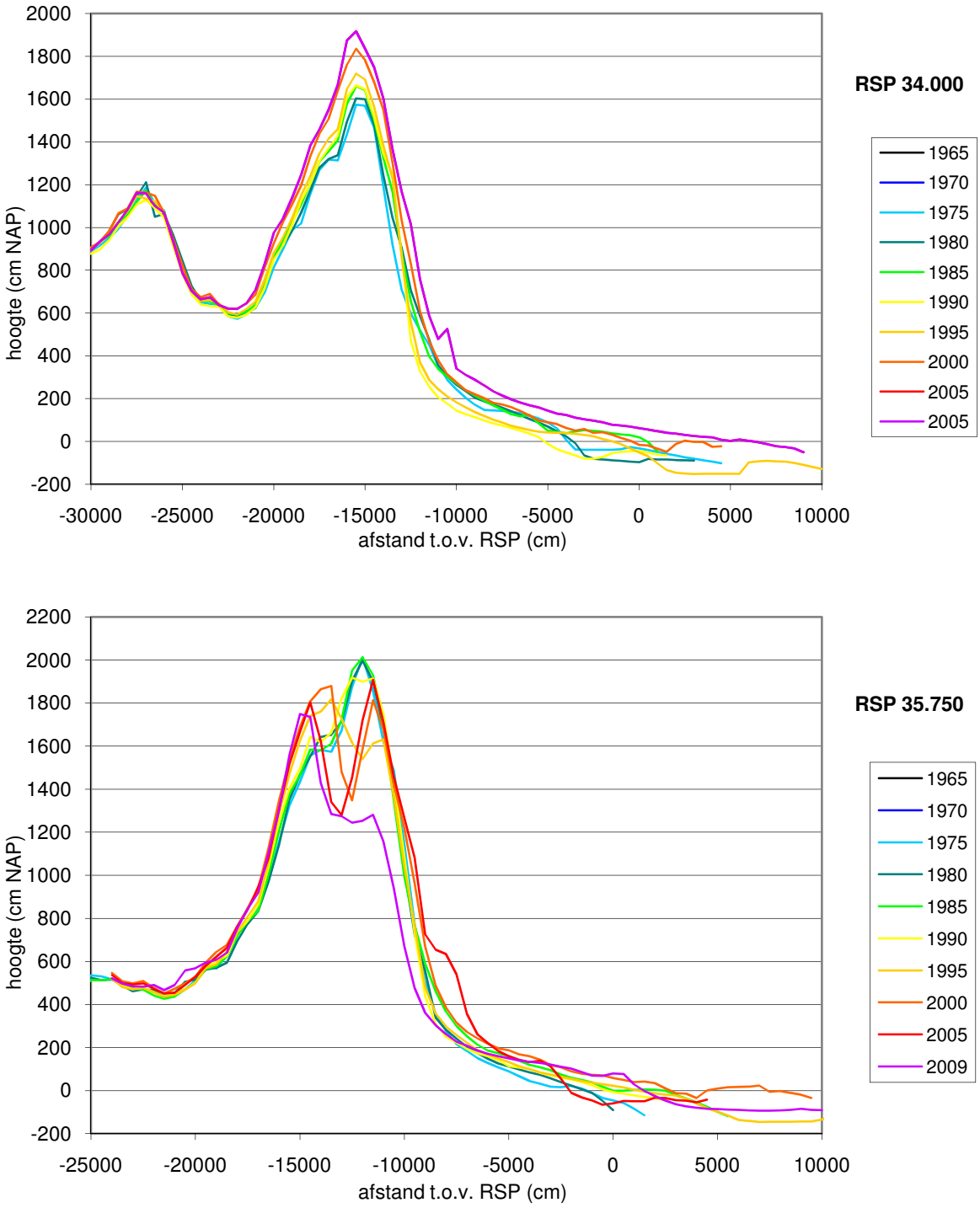
Figuur 6.11 Volumeontwikkeling per raai.

raai	Vol1 1975-1985	Vol2 1986-1995	Vol3 1996-2008	Begrenzing m tov RSP	dv-verplaatsing 1997-2008	suppletiehistorie					
						1992	1997	1998	2001	2002	2005
28.000	-17.3	8.4	-14.9	-370	0	120	135			564	
28.160	-10.1	-5.1	6.8	-310	0	120	135			564	
28.230	-13.4	0.2	7.5	-300	+	120	135		304	564	
28.470	-15.2	13.2	9.7	-295	+	120	135		304	564	
28.640	-5.7	5.1	7.5	-290	+	120	135		304	564	
28.820	-17.2	8.7	9.3	-300	+	120	135		304	564	
29.000	-8.2	2.4	6.6	-305	+	120	135		304	564	
29.230[1]	n.d,	-5.6	3.4	-305	+	120	135		304	564	
29.450[1]	n.d.	-22.4	10.4	-300	+	120	135		304	564	
29.650	-7.4	-21.5	12.0	-300	+	120	135		304	564	
29.870	-9.1	-12.1	1.3	-310	-	120	135		304	564	
30.000	11.1	13.4	9.9	-320	0	120	135		304	564	
30.250	14.6	14.7	6.5	-330	-	120	133				
30.500	29.2	22.4	-7.1[2]	-400	-	120					
30.750	9.2	16.1	2.1	-360	-	120	133				
31.000	-8.4	20.5	5.1	-350	-	120	133	144			
31.250	-6.5	16.0	11.7	-310	+	120		144			
31.500	7.4	2.4	11.2	-285	+	120		144			319

[1] 29.230 en 29.450 niet mee beschouwd in gemiddelden km029 omdat voor deze raaien geen gegevens voor 1986 beschikbaar zijn.
[2] negatief gemiddelde door uitgraven Kerf (1997)

6.9 Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00)

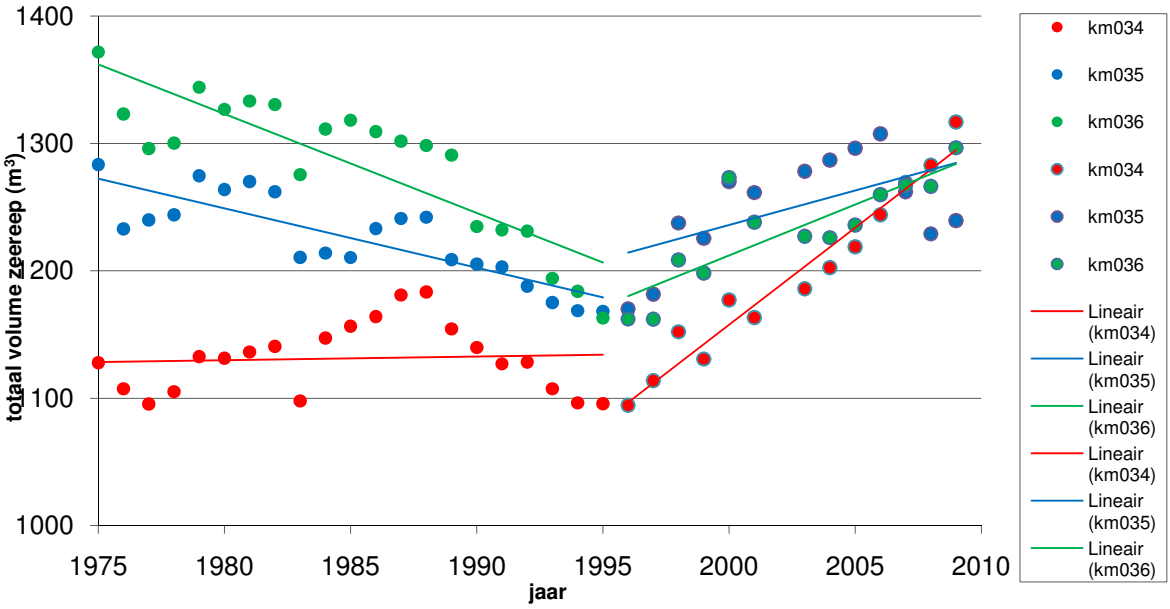
Het profiel toont de ontwikkeling van een stuifkuil, waardoor de top vanaf ca 1990 erodeert. Op het strand lijkt een banket gevormd in 2003 (voor raaien 35.250 t/m 35.750), maar dit zou volgens de suppletiegegevens niet kloppen.



Figuur 6.12 Erosief dwarsprofiel voor Bergen-Egmond.

De volumeontwikkeling laat een duidelijke trendbreuk zien rond 1997, met een toename van de aanzanding voor alle kilometervakken, en een omslag van gemiddelde afname

naar gemiddelde toename voor km035 en km036. Het beeld is voor de meeste raaien vergelijkbaar. Er is sprake van een forse temporele variatie, desondanks is de trendbreuk overduidelijk. Voor km035 gaat de volumetoename gepaard met een geringe achteruitgang van de duinvoet. Binnen dit km-vak ligt raai 35.750 met een negatief budget. Hierin ontwikkelt zich een stuifkuil waarvan het zand niet binnen het profiel zelf wordt afgezet. Maar bovendien vindt hier over een kort traject afslag plaats. Binnen het km-vak ontstaan na 2000 een aangroeizone (niet gerelateerd aan de strandsuppletie van 1997), die tussen 2006 en 2008 al weer opgeruimd is. Rondom raai 35.750 geeft dit de sterkste erosie.

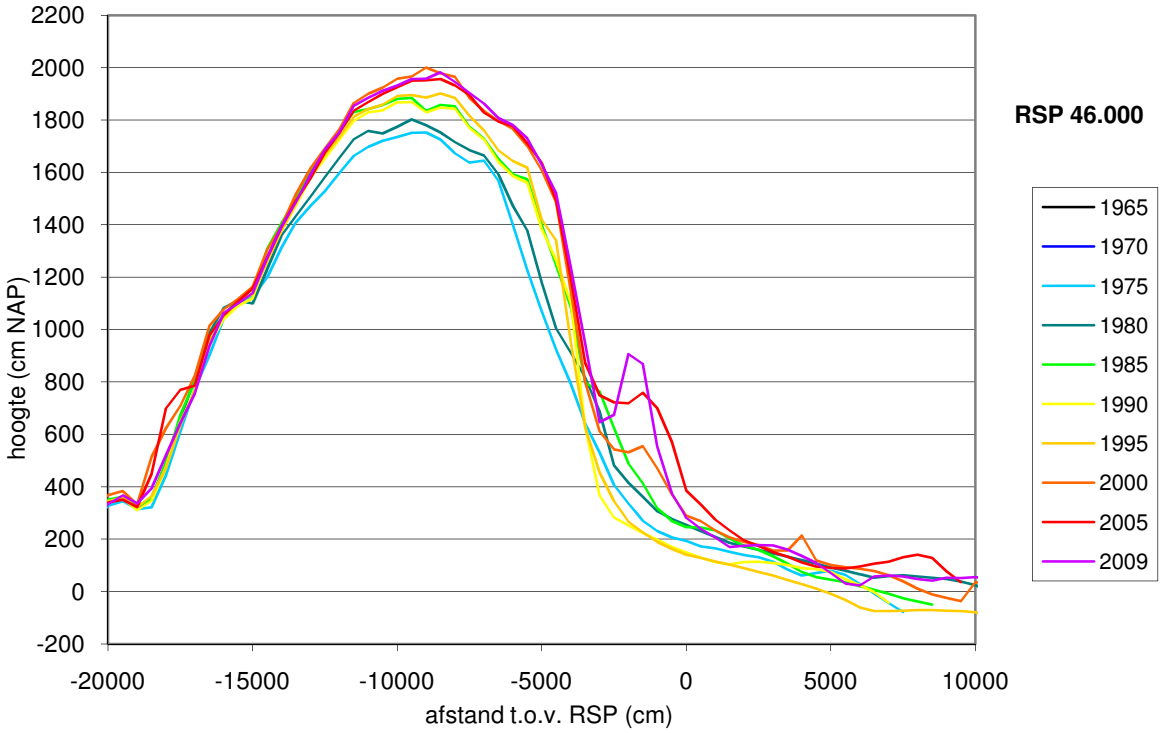


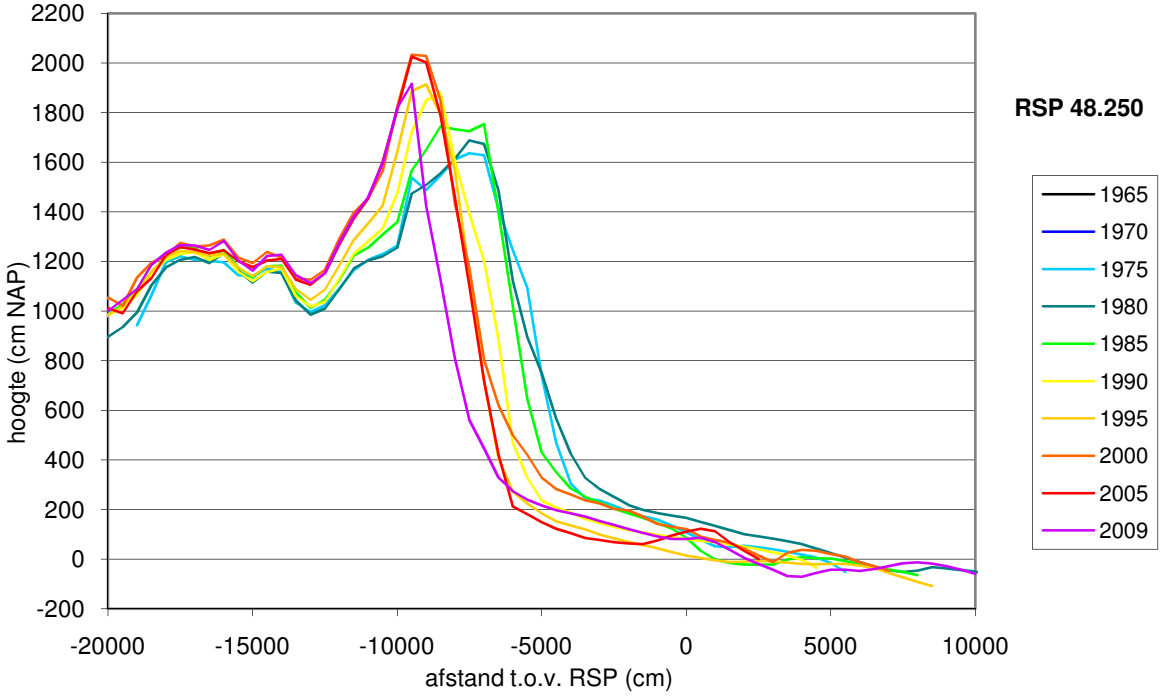
Figuur 6.13 Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

raai	Vol1 1975-1995	Vol2 1996-2008	Begrenzing m tov RSP	dv-verplaatsing 1997-2008	suppletiehistorie				
					1997	1999	2000	2004	2005
34.000	4.7	19.0	-195	+			497		319
34.250	2.4	18.8	-235	+			497		319
34.500	1.3	14.5	-260	+	126				319
34.750	-8.5	14.6	-270	+	126				319
35.000	-6.9	6.3	-240	0	126				319
35.250	-13.5	8.4	-230	+	126				319
35.500	-5.6	10.7	-240	-	126				319
35.750	0.1	-11.6	-225	-	126				319
36.000	-2.9	8.1	-210	-					319
36.250	-5.8	11.0	-205	+	123			402	
36.500	-13.6	7.1	-200	+	123			402	
36.750	-15.2	4.3	-200	+	123			402	
36.900					123	400		402	
37.000	-14.7	14.9	-195	+	123	400		402	

6.10 Ten zuiden van Castricum (RSP 45.00-48.50)

Dit is een divers gebied met aanzanding aan de noordkant, en erosie aan de zuidkant. Voor zowel het aanzandende deel als het eroderende deel is een grafiek opgenomen. In beide gevallen neemt de hoogte van de zeereep toe, maar de ontwikkeling aan de duinvoet is tegenovergesteld.

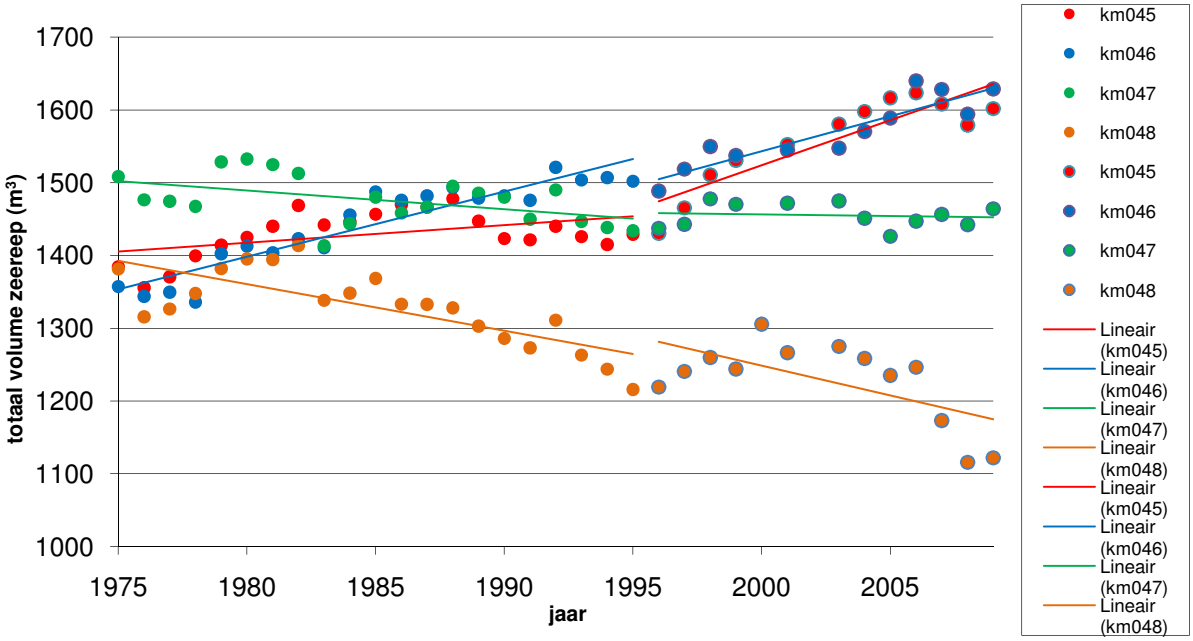




Figuur 6.14 Typerend dwarsprofiel voor het gebied ten zuiden van Castricum.

Alleen voor km045 is er sprake van een duidelijke trendbreuk rond 1995 met een omslag van min of meer neutraal naar positief zandbudget. Dit kan niet samenhangen met een lokale suppletie, want hier is nooit gesuppleerd. Tussen 46.50-48.50 is alleen in 2005 een strandsuppletie uitgevoerd. Het is nog te vroeg om te concluderen wat daar het effect van is. De variatie binnen de km-vakken is redelijk groot, zie Bijlage 1 voor een overzicht van de volumeontwikkeling per raai. Tussen 48.000 en 48.250 is een grote kerf in ontwikkeling, maar deze heeft geen invloed op de berekeningen voor beide profielen.

In sommige profielen slaat de zeereep af maar heeft dit geen effect voor secundaire verstuiving. Bijvoorbeeld in profiel 48.000 wordt de zeereep "geconsumeerd", vergelijkbaar met de proefgebieden op Texel, vóór 1990. Het is niet duidelijk wat hiervan de oorzaak is. Het zeereepfront ligt er al jaren kaal bij, zonder dat dit enige effect op de overstuiving heeft.

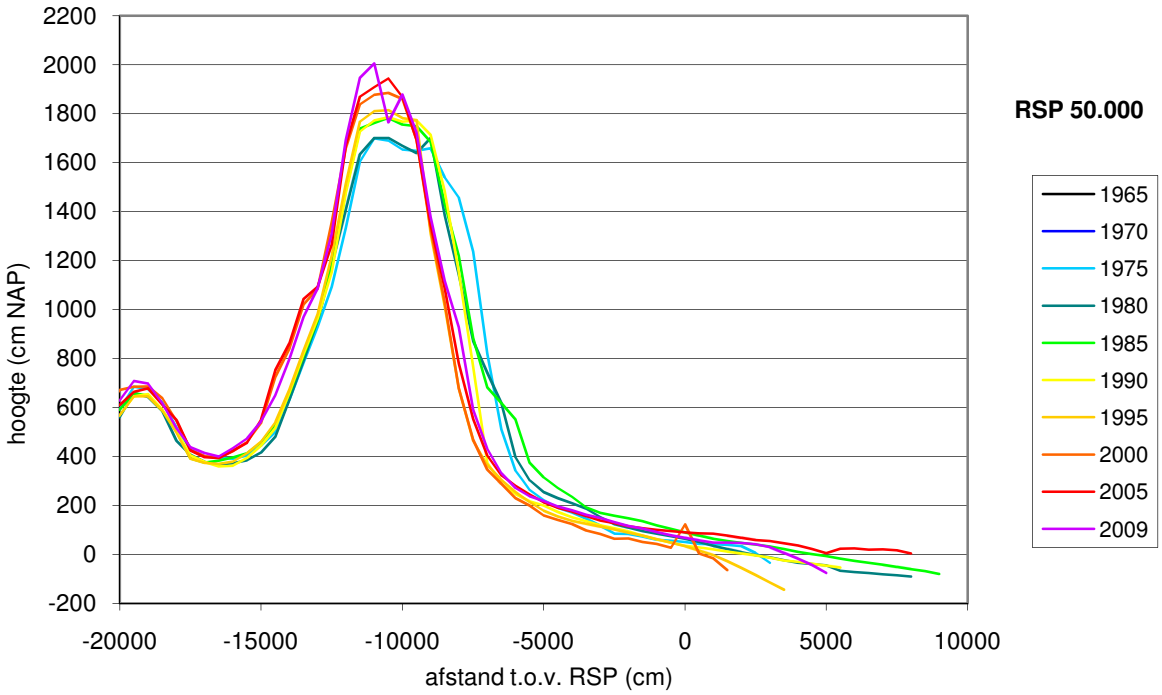


Figuur 6.15 Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

raai	Vol1 1975-1995	Vol2 1996-2008	Begrenzing m tov RSP	dv-verplaatsing 1997-2008	suppletiehistorie 2005
45.000	9.3	8.5	-115	-	
45.250	-0.6	15.2	-130	-	
45.500	1.1	11.0	-135	0	
45.750	-4.9	9.2	-145	+	
46.000	9.1	13.2	-150	+	
46.250	7.7	10.7	-160	+	
46.500	7.2	7.4	-160	-	250
46.750	5.8	3.7	-165	0	250
47.000	6.3	6.6	-165	0	250
47.250	1.5	6.7	-175	+	250
47.500	-6.6	6.0	-190	-	250
47.750	-9.8	0.5	-200	-	250
48.000	-10.1	-17.0	-215	-	250
48.250	-6.0	-14.0	-185	-	250
48.500	-8.7	-7.0	-195	-	250
48.750	-7.8	0.6	-200	-	

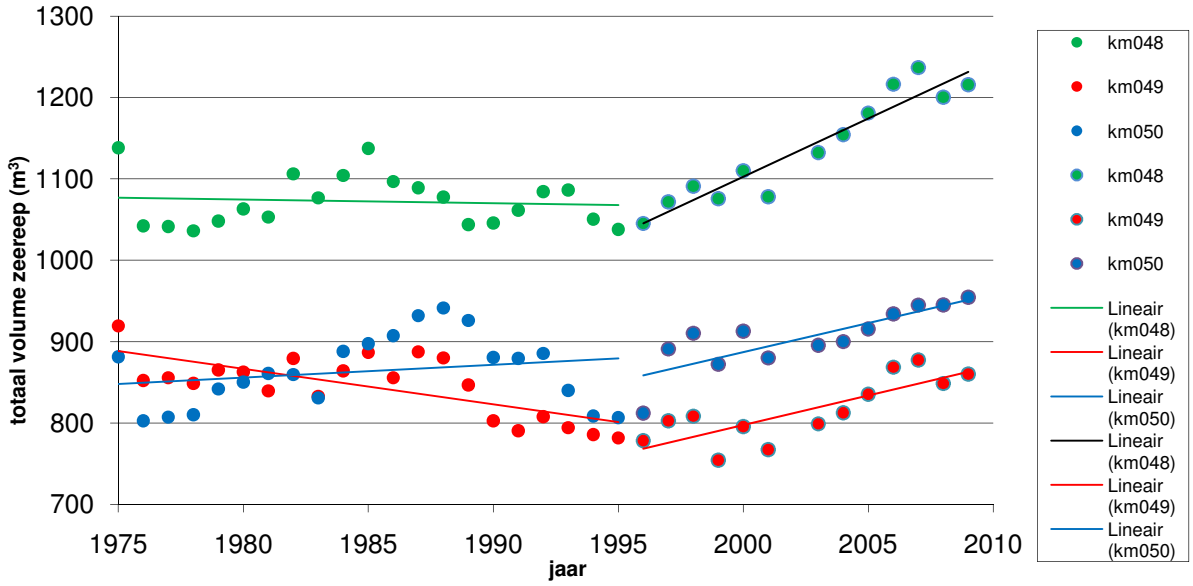
6.11 Heemskerk (RSP 48.50-51.00)

In dit gebied gaat achteruitgang van de duinvoet gepaard met een volumetoename van de zeereep, door ophoging, maar ook door verbreding aan de achterkant. In de grafiek komt de strandsuppletie van 1997 niet terug. In 1997 is deze duidelijk te zien, maar in het volgende jaar al niet meer.



Figuur 6.16 Typerend dwarsprofiel voor het gebied rond Heemskerk.

Voor km049 is er sprake van een duidelijke en forse trendbreuk, van een flink negatief budget naar een positief budget, met een omslag rond 1997, dus ten tijde van de strandsuppletie (tussen 49.75 en 51.00). Als naar de raaien binnen dit km-vak wordt gekeken, dan blijkt voor 49.250, 49.50 en 49.75 de negatieve trend tot stilstand te zijn gekomen, en voor 49.00 de omslag van negatief naar positief samen te hangen met kerfontwikkeling. Net ten zuiden van raai 49.00 is een kerf in ontwikkeling. De depositiezone achter deze kerf ligt in raai 49.00. Het positieve budget hangt dus samen met erosie elders, en waarschijnlijk minder met suppleties. Voor km050 geeft de trendberekening ook een trendbreuk weer, maar de temporele variatie binnen dit km-vak is ook bijzonder groot. Net als bij Castricum zijn hier verschillende raaien waar afslag niet tot een duidelijke secundaire verstuiving leidt.



Figuur 6.17. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

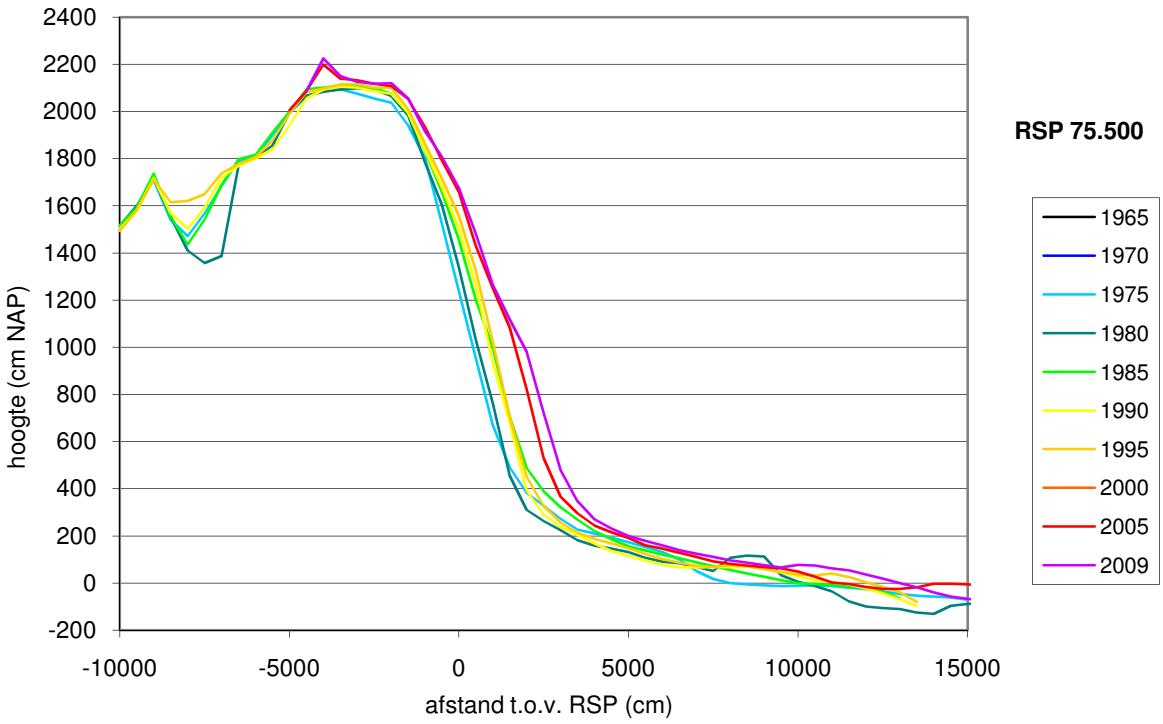
raai	Vol1 1975-1986	Vol1 1987-1996	Vol1 1997-2008	Begrenzing m tov RSP	dv-verplaatsing 1997-2008	suppletiehistorie	
						1996	1997
48.500							
48.750	2.6	-9.6	1.0		-		
49.000[1]	5.9	-0.1	22.3	-200	-		
49.250	1.4	-11.9	1.2	-175	-		
49.500	-9.0	-11.7	-5.3	-175	-		
49.650						393	
49.750	5.1	-21.3	-1.8	-180	-	393	
50.000	12.6	-15.6	8.3	-180	-	393	
50.250	10.2	-21.3	7.2	-175	-	393	
50.425						393	313
50.500	14.5	-13.4	12.4	-175	-		313
50.750	11.0	-9.9	10.8	-170	-		313
51.000	10.4	-6.2	18.3	-165	-		313

[1] grote positieve waarde gevolg van binnenkomen staart achter de kerf direct ten zuiden van deze raai

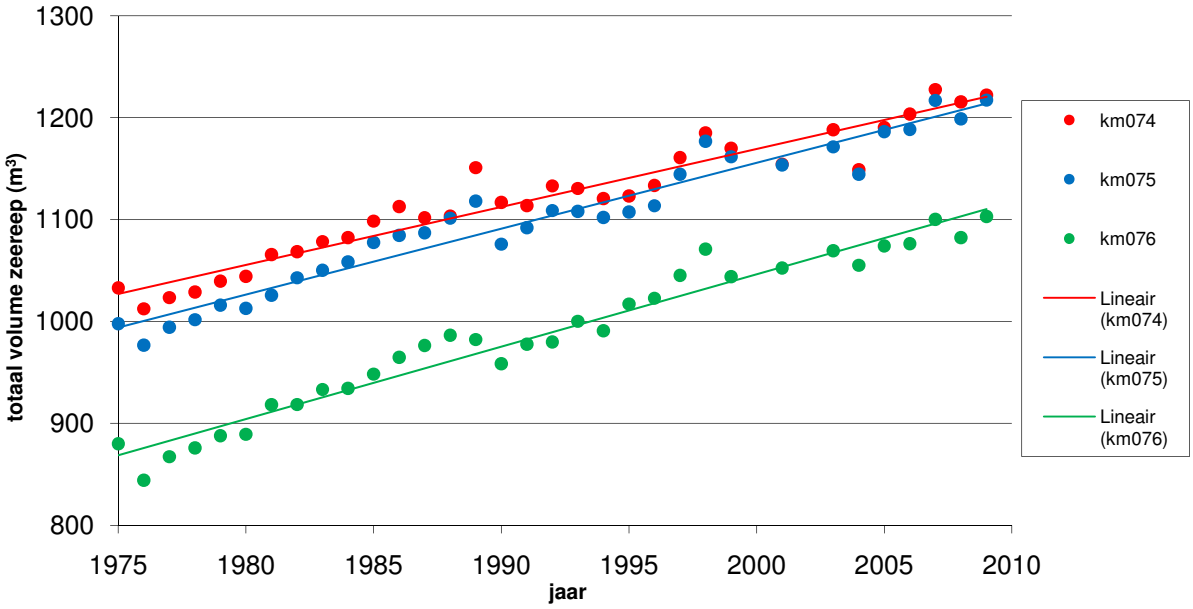
6.12 Langeveld (RSP 74.50-76.50)

Dit gebied kent op de lange termijn een gestage aangroei, waarbij de zeereep breder wordt en de duinvoet zeewaarts verplaatst. De laatste 10 jaar is de duinvoet iets landwaarts verplaatst.

De trend in de lange termijnontwikkeling is duidelijk positief, waarbij er niet of nauwelijks sprake is van een trendbreuk. De enige toegepaste suppletie hier is in 2002 op de vooroever uitgevoerd. Een mogelijk effect hiervan komt nog niet in de trendberekeningen tot uiting. De volumeontwikkeling is duidelijk cyclisch en hangt waarschijnlijk samen met het gedrag van de brekerbanken.



Figuur 6.18 Typerend dwarsprofiel voor Langeveld.

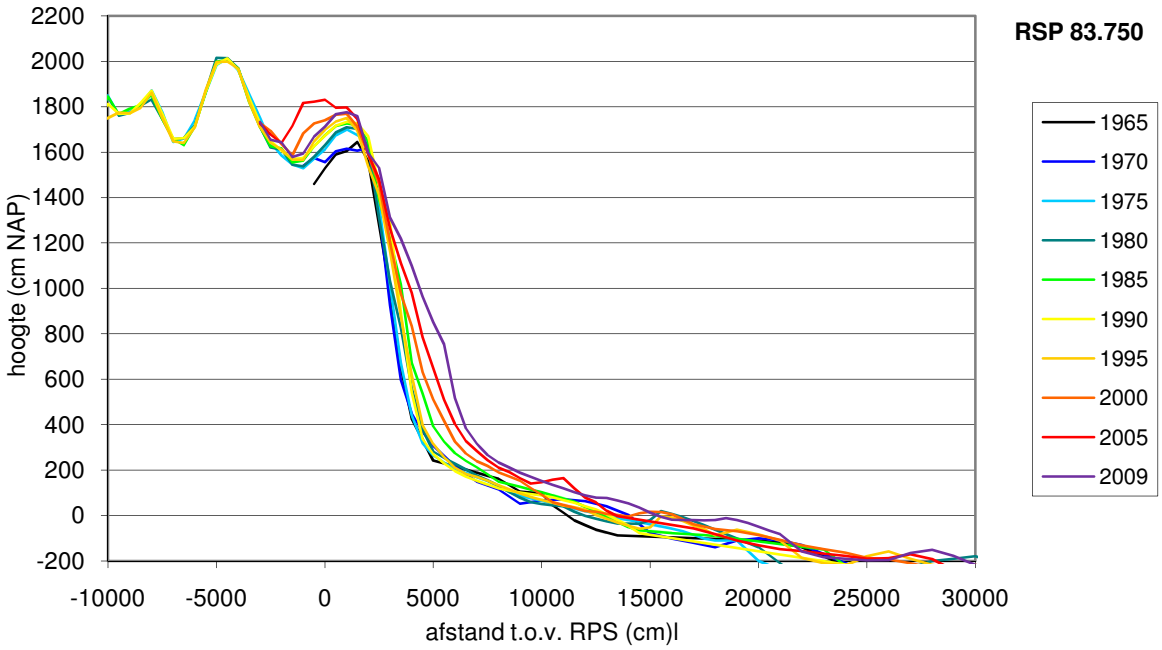


Figuur 6.19 Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

raai	Vol1 1975-1995	Vol2 1996-2008	Begrenzing m tov RSP	dv-verplaatsing 1997-2008	suppletiehistorie 2002
74.500	3.4	11.5	-50	-	429
74.750	4.5	6.7	-55	-	429
75.000	5.6	9.2	-55	0	429
75.250	4.4	11.3	-55	0	429
75.500	4.6	12.9	-50	-	429
75.750	6.1	7.0	-60	-	429
76.000	6.7	5.0	-50	-	429
76.250	7.1	5.1	-45	-	429
76.500	6.8	4.3	-55	-	429

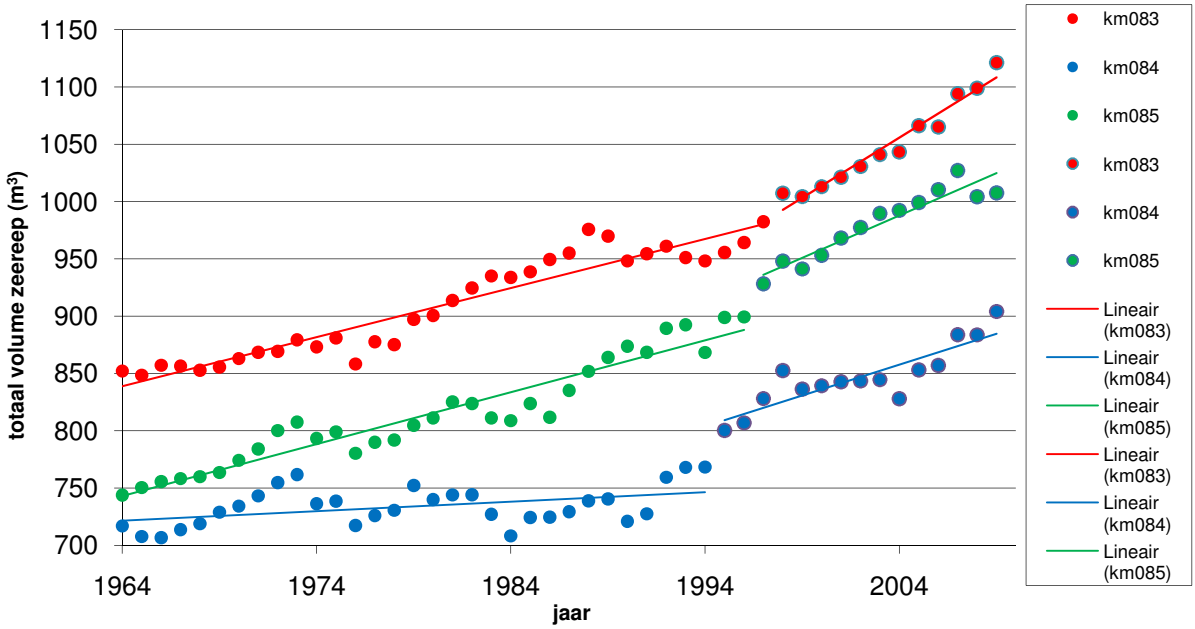
6.13 Coepelduynen (RSP 83-86)

In dit gebied is in 2006 een vooroeversuppletie uitgevoerd die het gehele gebied bestrijkt. In 1998 is in een klein deel van het gebied, RSP83-83.5, gesuppleerd, en in 2008 aan de noordkant tot 83. Eerdere suppleties lagen verder naar het zuiden (1994 en 1997, 94.25-96.25, 1996 91-93.5) of naar het noorden (diverse suppleties vanaf 1960 en daarna 1990 tussen 60 en 67).



Figuur 6.20 Typerende profiel voor Coepelduynen

Het beeld van de ontwikkeling is redelijk vergelijkbaar met dat van Langeveld, 7km naar het noorden en Wassenaar, 10km naar het zuiden, zij het dat de dynamiek zich hier iets minder tot duinvoet en voorzijde beperkt, maar ook bovenaan het profiel enige invloed heeft (zie figuur hierboven). De duinvoet breidt zich over het algemeen uit, het volume neemt in alle profielen gestaag toe. In tegenstelling tot bij Langeveld, en vergelijkbaar met Wassenaar is hier sprake van een trendbreuk in de volumeontwikkeling, maar deze lijkt niet direct te koppelen aan suppleties.



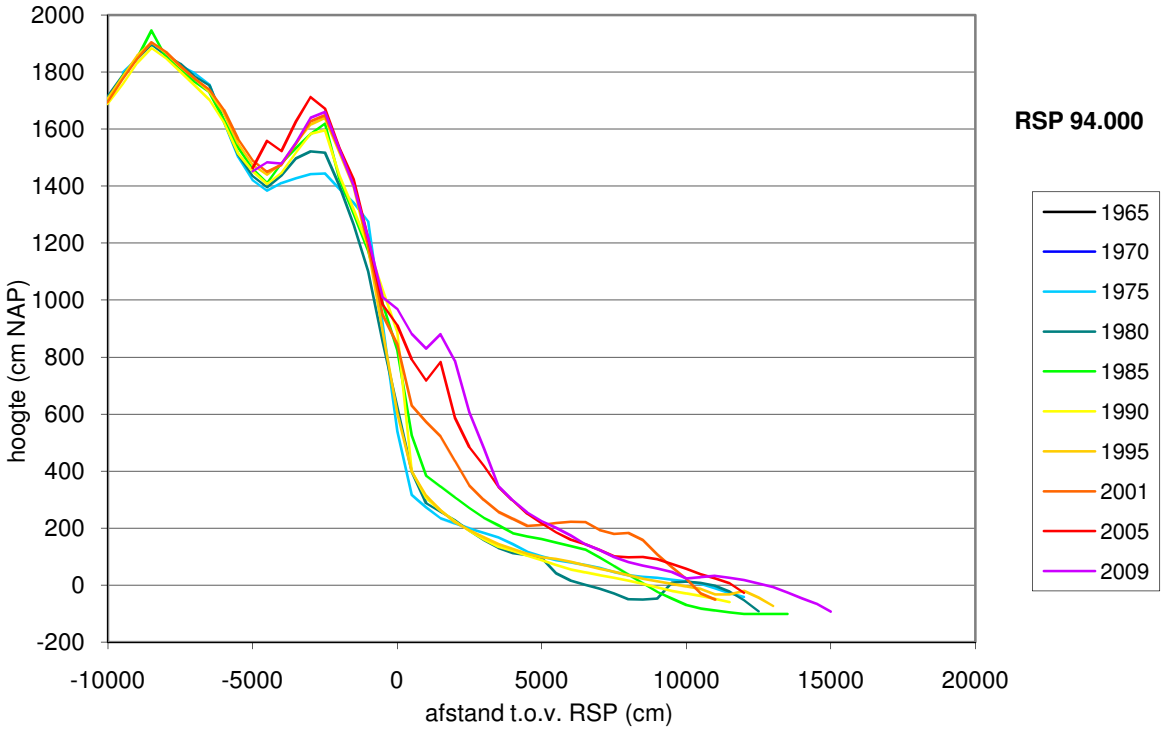
De volume ontwikkeling kent een periodieke variatie, die vanaf circa 1997 af lijkt te nemen. Voor km 83 lijkt er sprake van een trendbreuk rond 1998, voor km 84 rond 1995

en voor km 85 rond 1997. Door de temporele variatie is het moment van de trendbreuk lastig te bepalen, maar duidelijk is wel dat de volumetoename het laatste decennium sterker is dan daarvoor, hetgeen ook uit onderstaande tabel blijkt.

raai	Vol1 1975-1995	Vol2 1996-2009	Begrenzing m tov RSP	dv-verplaatsing 1998-2009	suppletiehistorie			
					1998	2006	2007	2008
83.000	6.0	12.7	-25	+	422	100	83	477
83.250	7.5	13.1	-60	+	422	100		
83.500	4.2	12.6	-25	+	422	100		
83.750	2.3	11.3	-30	+		100		
84.000	1.4	5.4	-35	-		100		
84.250	1.3	4.7	-20	0		100		
84.500	2.1	7.1	-20	0		100		
84.750	5.0	6.9	-10	+		100		
85.000	5.7	7.8	-10	+		100		
85.250	4.6	8.5	-10	+		100		
85.500	9.2	10.6	-10	+		100		
85.750	0.5	5.4	-60	+		100		

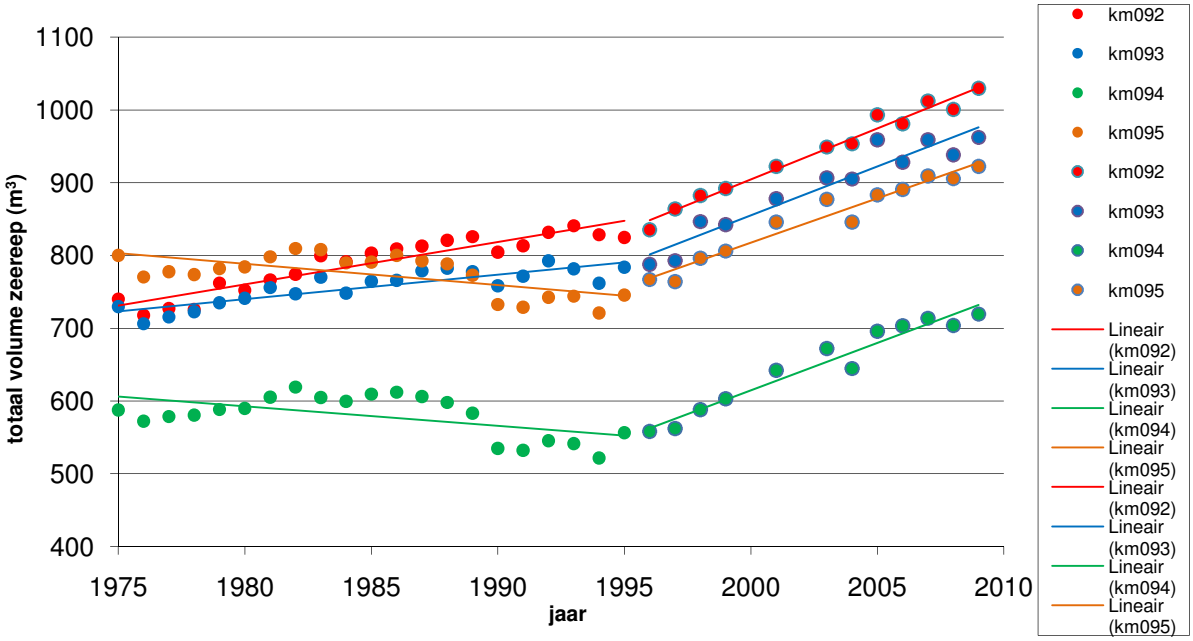
6.14 Wassenaar (RSP 92.00-96.00)

Dit is één van de kustvakken met de duidelijkste aanwijzing dat suppleren tot aangroei leidt. In het hieronder getoonde dwarsprofiel is nog sprake van enige ophoging van de oude zeereep; een deel daarvan hangt waarschijnlijk samen met vegetatieontwikkeling en niet met overstuiving. De raaien worden de laatste jaren niet ver genoeg naar achteren gemeten, waardoor de informatie van overstuiving over de zeereep niet volledig is.



Figuur 6.21 Typerend dwarsprofiel voor Wassenaar.

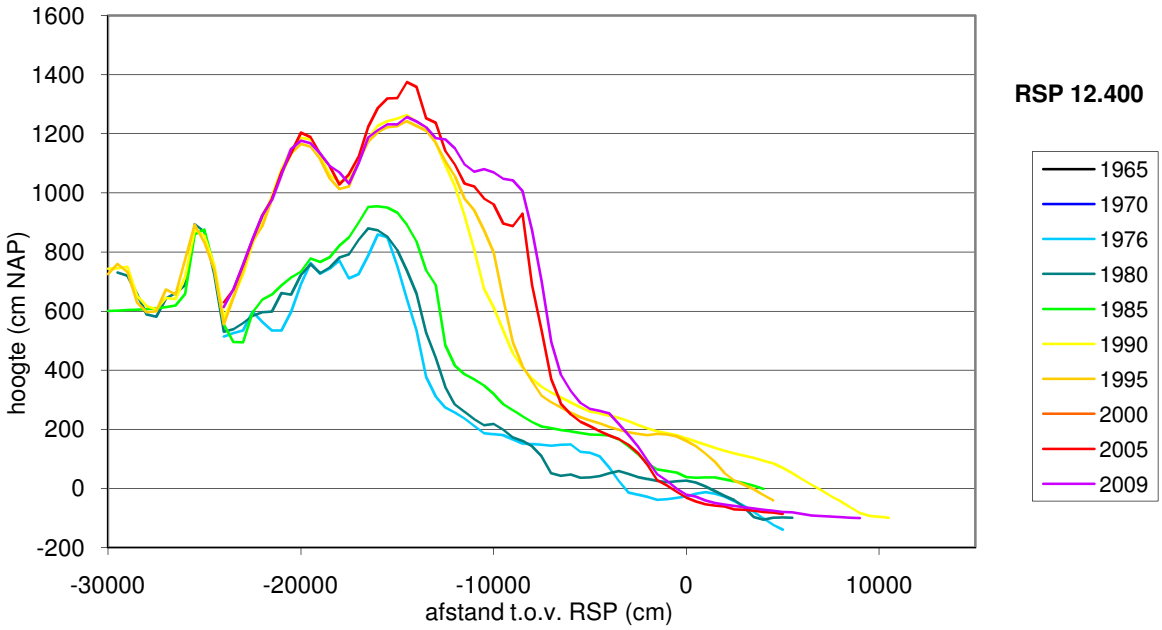
Er zijn strandsuppleties uitgevoerd in 1994 en 1996/1997, vooroeversuppleties in 2002 en 2006. Voor km094 en km095 is er een omslag van licht negatief naar positief, voor km092 en 093 was er altijd al sprake van een positieve trend, maar deze is versterkt. De trendbreuk ligt omstreeks 1994 en lijkt gekoppeld aan suppleties.



raai	Vol1 1976-1996	Vol2 1997-2009	Begrenzing m tov RSP	dv-verplaatsing 1997-2008	suppletiehistorie				
					1994	1996	1997	2002	2006
92.000	10.5	17.5	-25	+		200		500	125
92.250	6.2	5.1	-25	+		200		500	125
92.500	5.8	15.1	-30	+		200		500	125
92.750	4.7	15.6	-40	+		200		500	125
93.000	7.6	15.3	-55	+		200		500	125
93.250	5.5	15.8	-55	+		200		500	125
93.500	1.9	13.5	-55	+		200		500	125
93.750	2.5	12.0	-55	+				500	125
94.000	3.1	12.0	-50	-			221	500	125
94.250	-0.7	8.9	-50	-	350		221	500	125
94.500	-3.3	15.2	-50	-	350		221	500	125
94.750	-1.4	15.1	-55	-	350		221	500	125
95.000	-1.1	10.3	-60	-	350		221	500	125
95.250	-0.7	15.4	-85	-	350		221	500	125
95.500	-1.6	14.2	-100	-	350		221	500	125
95.750	-0.1	12.7	-115	-	350		221	500	125
96.000	1.9	8.8	-125	-	350		221	500	125

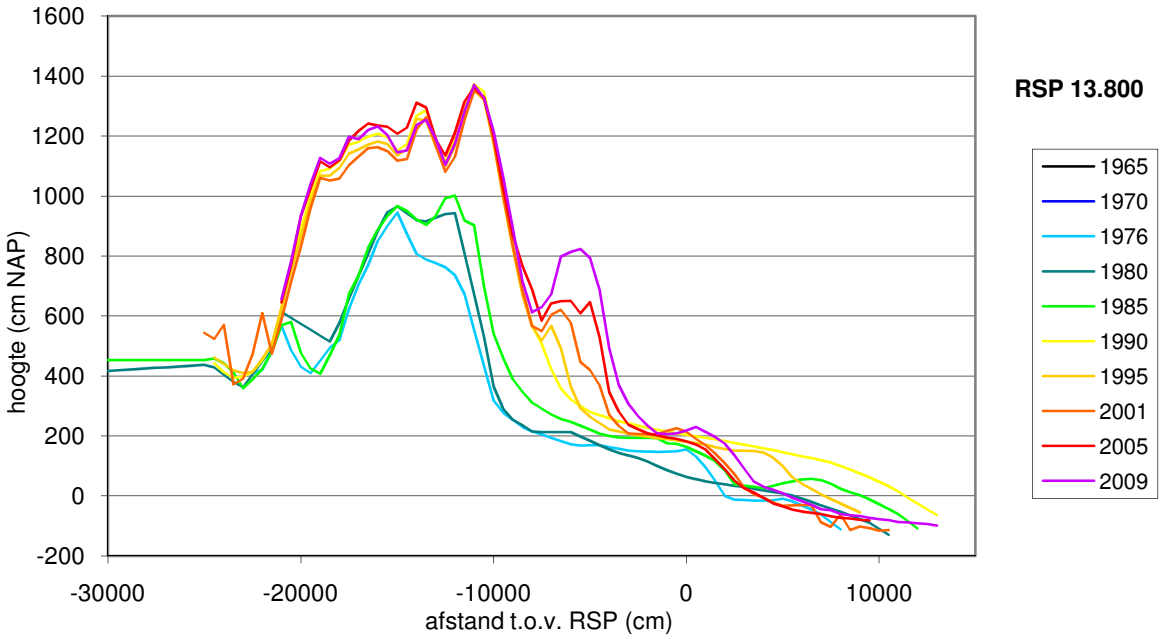
6.15 Voorne (RSP 11.00-15.00)

Dit gebied heeft een rijke suppletiehistorie, met verschillende strandsuppleties en een enorme duinverzwaring in 1984/1987, waarbij het volume van de zeereep bijna verdubbeld is. Overigens blijkt uit de Jarkusdata alleen een duinverzwaring in 1986/87 (tussen 11-13.4 is deze in 1987 in het profiel zichtbaar, tussen 13.4-15.0 in 1986). Sinds de jaren 1990 ontstaat er voor de oude zeereep een nieuwe duinenrij, waarschijnlijk samenhangend met de strandsuppleties.

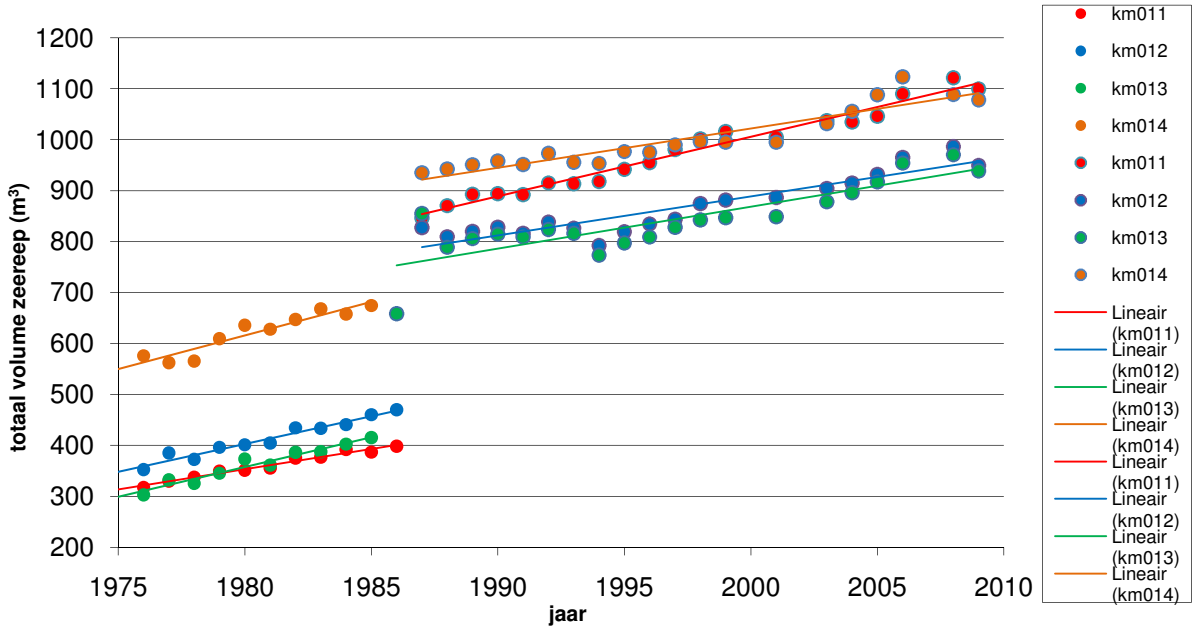


Figuur 6.22 Typerend profiel voor Voorne.

De hoogteveranderingen boven op de zeereep zijn het gevolg van vegetatieontwikkeling, niet van aanzanding.



Het sedimentbudget van de zeereep is al vanaf 1975 positief, maar ook toen werd er al gesuppleerd. De eerste suppletie dateert van 1973. Daarvoor was het budget overwegend negatief. Het positieve budget lijkt in stand gehouden te worden door de suppleties. Opvallend is overigens dat de suppletiefrequentie sinds de duinverzwaring veel geringer is dan daarvoor.



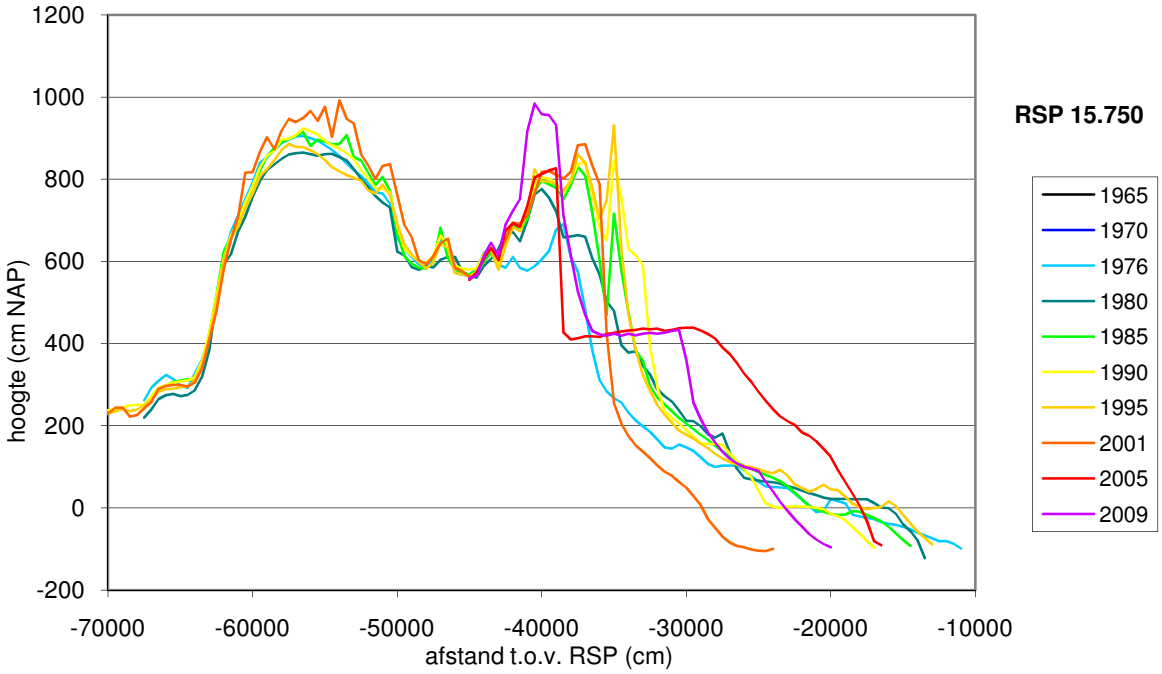
					suppletiehistorie								
raai	**Vol1 1976-1986**	**Vol2 1987-2009**	**Begrenzing m tov RSP**	**dv-verplaatsing 1997-2008**	1973	1974	1977	1983	1984	1986	1987	1993	2005
11.000	6.4	12.2	-260	-	125		282		567		750	89	124
11.200	5.4	11.9	-270	+	125		282		567		750	89	124
11.400	4.1	9.2	-255	+	125		282		567		750	89	124
11.600	10.3	19.0	-285	+	125		282	157	567		750	89	124
11.800	9.8	6.0	-205	+	125		282	157	567		750	89	124
12.000	12.7	13.2	-220	+	125		282	157	567		750	89	124
12.200	12.0	8.9	-230	-	125		282	157	567		750	89	124
12.400	17.9	14.3	-240	+	125		282	157	567		750	89	124
12.500				+	125		282	157	567		750	89	124
12.600	6.5	1.3	-180	+		**110+58**		157	567		750	89	124
12.800	7.7	-1.6	-180	+		**110+58**		157	567		750	89	124
13.000	13.6	-4.6	-170	-		**110+58**		157	567		750	89	124
13.200	10.2	-0.6	-170	+		**110+58**		157	567		750	89	124
13.400	9.2	-2.5	-170	+		**110+58**		157	567		750	89	124
13.600	9.8	12.0	-195	+		**110+58**		157	567			89	124
13.800	14.9	12.1	-210	+		58		157	567				124
14.000	18.9	4.6	-200	+		58		157	567				124
14.200	15.2	6.9	-205	+		58		157					124
14.400	12.7	8.3	-210	+		58		157		999			124
14.600	2.9	10.7	-195	+		58				999			124
14.800	7.8	5.7	-140	+		58				999			124
15.000	8.2	0.5	-195	+		58				999			124

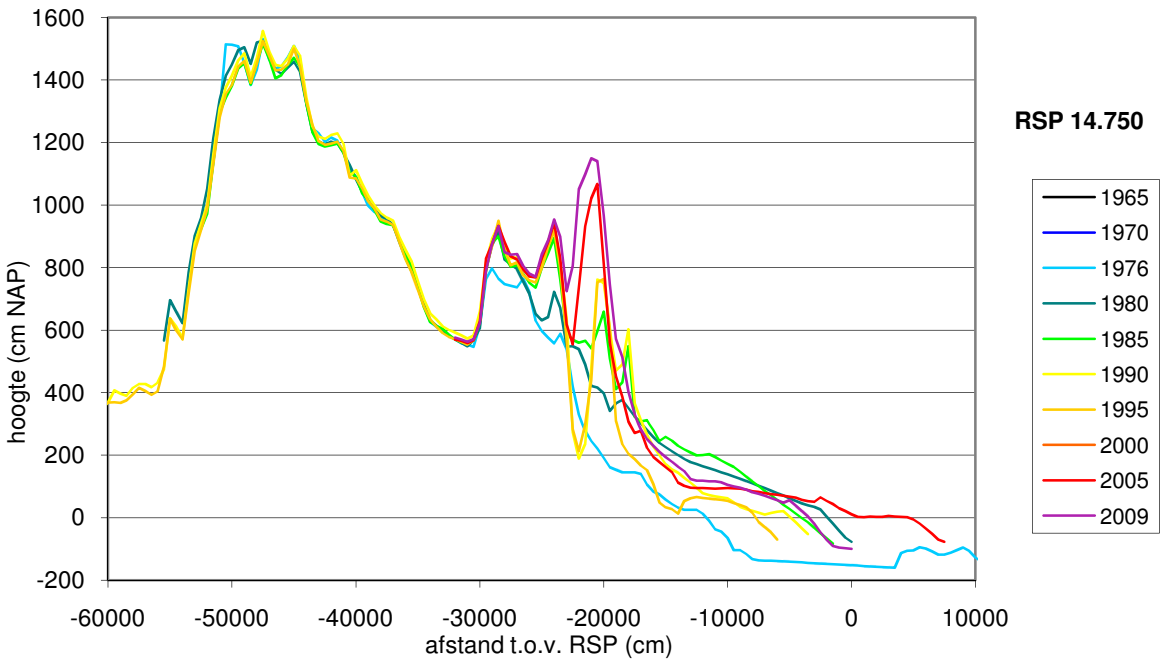
Het sedimentbudget varieert tussen een toename van grofweg 5 en 15 m^3/m.jaar, maar is variabel. Wanneer de periode voor en na de duinverzwaring wordt bekeken, dan neemt in sommige gevallen het budget toe, in andere af, en in weer andere blijft het gelijk.

Op grond van de profielgegevens in bovenstaande figuur lijkt het dat vanaf de jaren 1990 pas echt aanstuiving op gang komt, omdat dan een nieuwe duinenrij voor de zeereep begint te ontstaan. Het sedimentbudget verandert echter niet wezenlijk, dus de hoeveelheid zand die in de zeereep binnenkomt is in de periode voor de duinverzwaring vergelijkbaar met de periode erna. De vorm van de aan/overstuiving is waarschijnlijk wel verschillend. Voor de duinverzwaring overstuift de zeereep zelf nog, na de duinverzwaring vormt de nieuwe zeereep mogelijk een zo groot obstakel (en bovendien vastgelegd) dat aanstuiving alleen nog voor de zeereep plaatsvindt.

6.16 Goeree (RSP 14.00-17.50)

Dit gebied heeft een wonderlijke suppletiegeschiedenis, met intensieve suppleties tussen 1966 en 1985, en niets tussen 1985 en 2005. Dit komt duidelijk terug in de ontwikkeling, m.n. tussen km14 en 17. Eigenlijk zouden voor de trendberekeningen 3 perioden moeten worden onderscheiden, tot ca 1989, 1989-2001 en na 2001. Het is interessant om de omslag van positieve trend naar negatieve trend vanaf 1988 te volgen, wanneer gedurende 20 jaar niet meer gesuppleerd wordt. De omslag zet 3 jaar in na de laatste suppletie. Voor km 14 is er in 2001 opnieuw een omslag naar een positieve trend, terwijl hier niet gesuppleerd is. Voor km 15 en 16 is 2005, het jaar van suppleren, de start van een nieuwe trendbreuk. Voor km 17 is de positieve trend eigenlijk continu, met een korte achteruitgang van 1988 t/m 1990.

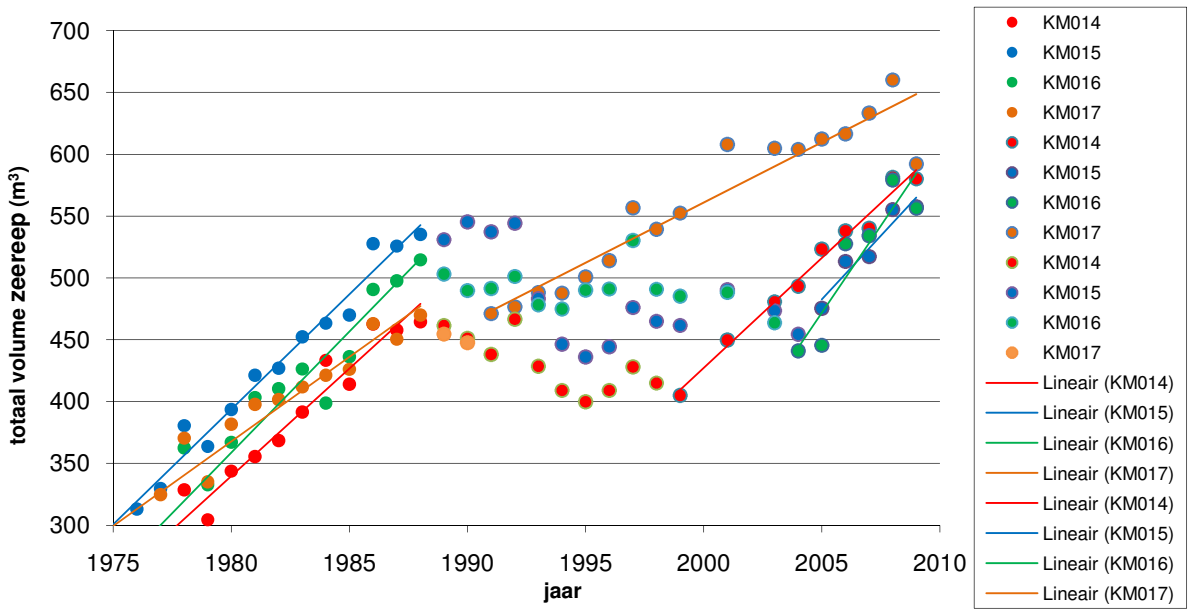




Figuur 6.23 Typerende profielen voor Goeree.

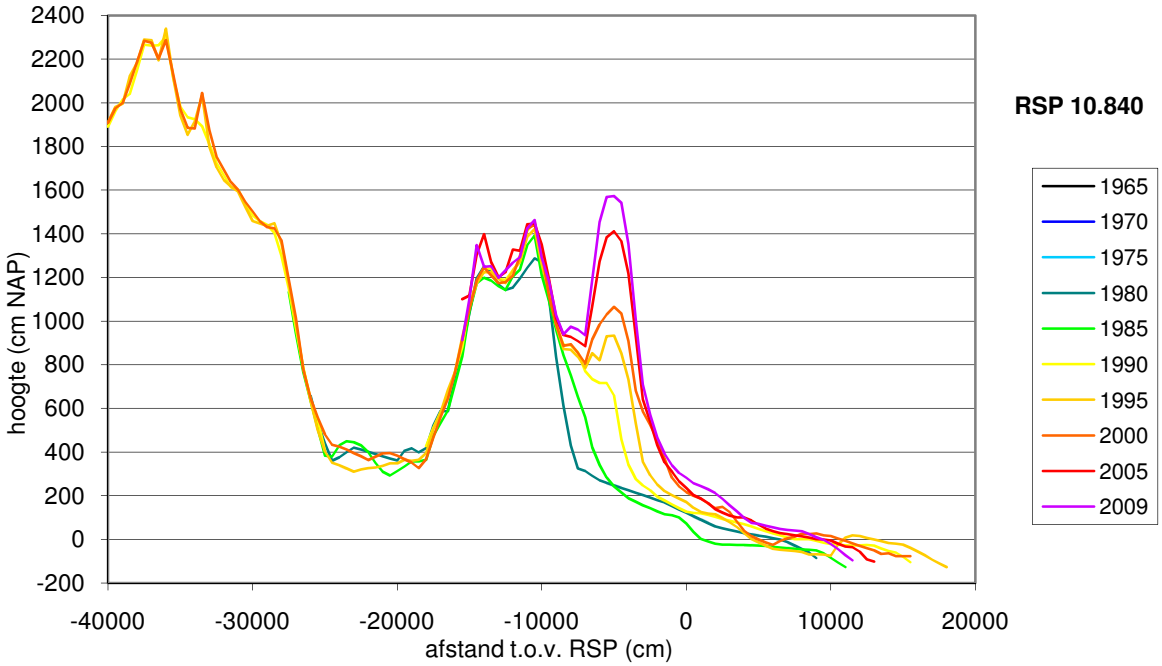
De zandbudgetten zijn erg variabel, voor de periode 1976-1988 constanter dan daarna. De relatie met suppleren is niet zondermeer duidelijk.

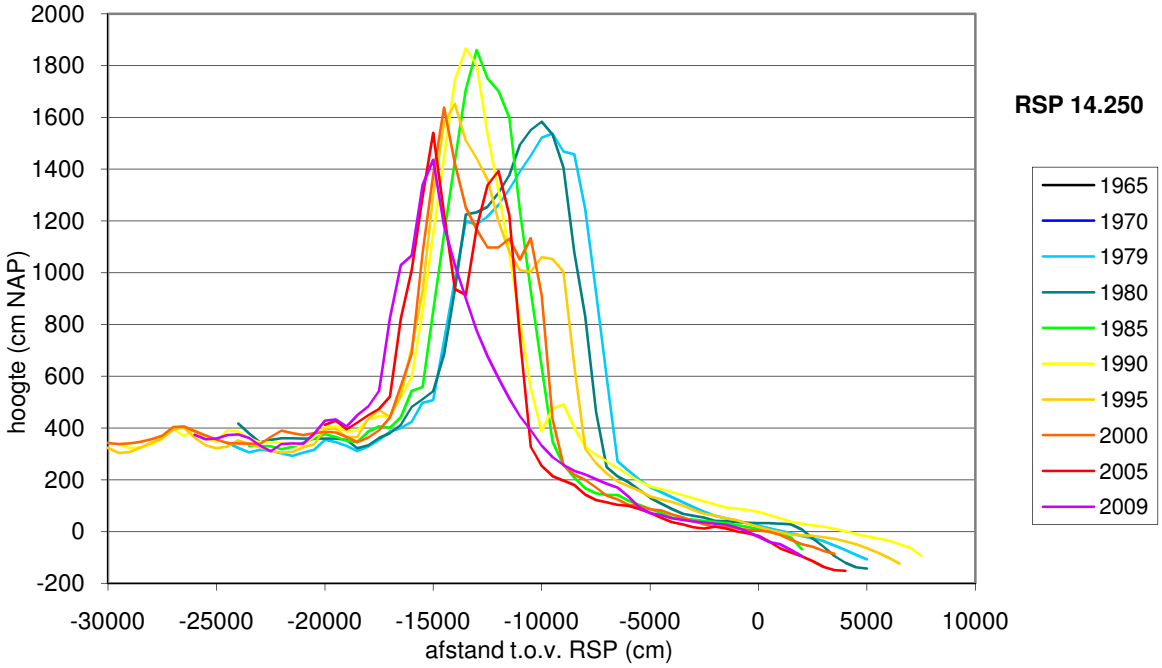
						suppletiehistorie									
raai	**Vol1 1976-1988**	**Vol2 1989-2001**	**Vol2 2002-2009**	**Begrenzing m tov RSP**	**dv-verplaatsing 1997-2008**	1966	1969	1971	1972	1973	1973	1977	1984	1985	2005
14.500	12.0	1.4	9.7	-180	0					767	333	422	110	177	
14.750	22.1	-7.8	23.1	-320	+					767	333	422	110	177	
15.000	16.9	-2.9	16.4	-405	+	75				767	333	422	110	177	
15.010	17.2	-3.8	16.8	-405	+	75	401	609		767	333	422	110	177	
15.020	15.9	-3.4	17.5	-395	+	75	401	609		767	333	422	110	177	
15.250	18.7	-6.5	7.1	-365	+	75	401	609		767	333	422	110	177	
15.500	19.2	-1.7	-8.4	-405	-	75	401	609		767	333	422	110	177	354
15.750	20.5	-6.6	8.2	-450	+	75	401	609		767	333	422	110	177	354
16.000	21.2	-9.6	18.0	-475	+	75	401	609		767	333	422	110	177	354
16.010	10.7	-8.4	17.5	-490	+	75	401	609		767	333	422	110	177	354
16.020	20.1	-8.8	18.7	-480	+	75				767	333	422	110	177	354
16.250	20.9	-5.8	17.7	-490	+	75				767	333	422	110	177	354
16.500	23.1	1.0	10.1	-480	+	75			123	767	333	422	110	177	354
16.750	26.7	7.2	1.9	-490	+	75			123	767	333	422	110	177	354
17.000	19.3	8.1	-3.4	-505	+	75			123	767	333	422	110	177	354
17.010	18.6	9.0	0.2	-515	0				123	767	333	422	110	177	354
17.020	19.6	7.9	1.2	-520	0				123	767	333	422	110	177	354
17.250	12.9	8.1	-2.6	-485	-				123	767	333	422	110	177	354
17.500	7.4	12.8	-5.6	-555	-					767	333	422	110	177	354



6.17 Schouwen (10.00-16.00)

Dit gebied wordt gekenmerkt door aangroei aan de noord- en zuidkant en afslag op de kop (RSP 12.88-15.48), ondanks dat ook hier intensief gesuppleerd wordt.



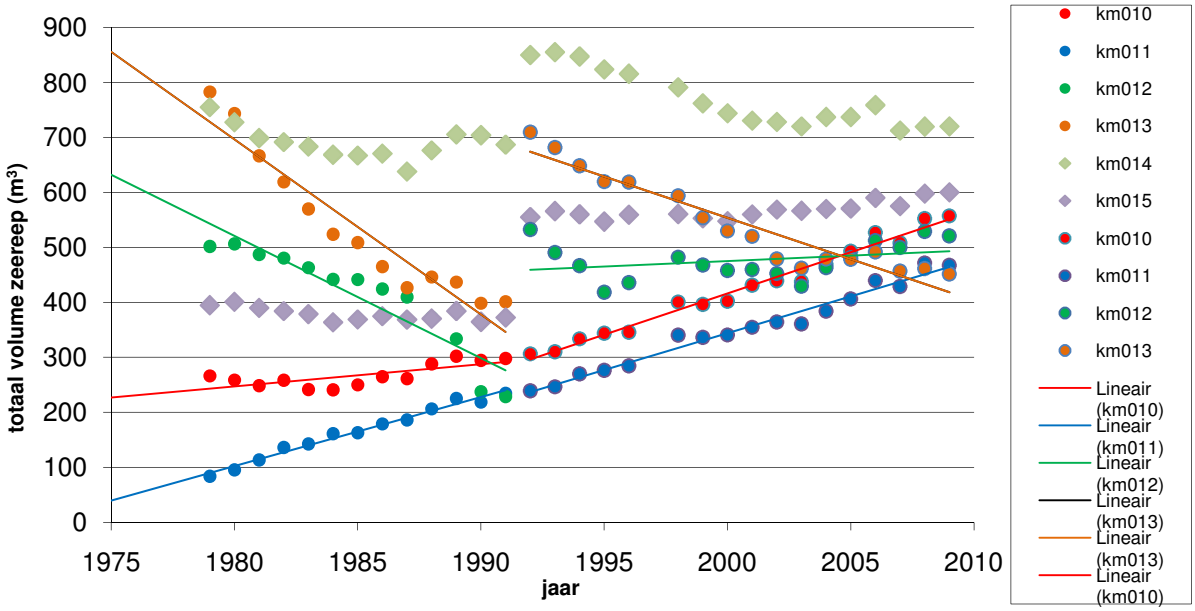


Figuur 6.24 Typerende profielen voor Schouwen met aangroei (boven) en afslag (onder).

Bovenstaande profielen geven voorbeelden van beide. De afslag is fors, met een achteruitgang van de duinvoet, maar ook een flink negatief budget, tot ruim -20 m^3/m-jaar, ongeveer de helft van de afname in de periode tot 1990. De flauwe helling van het profiel in 2009, waarbij het volume van de zeereep aanmerkelijk is afgenomen, toont aan dat een groot deel van de achteruitgang door winderosie wordt veroorzaakt. Een deel van het zand wordt landwaarts verspreid en uit het profiel geblazen. Er is echter ook zeker sprake van zandverlies naar de vooroever, waardoor het duinvolume afneemt. Km 10 toont, ondanks slechts één suppletie in 2003 en in een gedeelte van het gebied ook in 2007, een mogelijke trendbreuk tussen 1995 en 2000, maar de trend is zowel daarvoor als daarna positief. Het zou kunnen dat de trendbreuk samenhangt met suppleties stroomopwaarts. Km 11 toont een continue positieve trend, zonder trendbreuken, ondanks suppleties in 2003 en 2007. Km 12 en 13 tonen duidelijke veranderingen in trends door suppleren. Bij km 14 en 15 is alleen zichtbaar dat de trendlijn "opgetild" wordt, de trend lijkt verder gelijk te blijven.

De suppletie van 1991 staat genoteerd als strandsuppletie, maar is in feite een duinverzwaring, omdat deze tot een hoogte van 10m NAP is aangelegd. De suppletie van 1987 is volgens de tabel veel groter, maar dat blijkt niet uit de Jarkusdata.

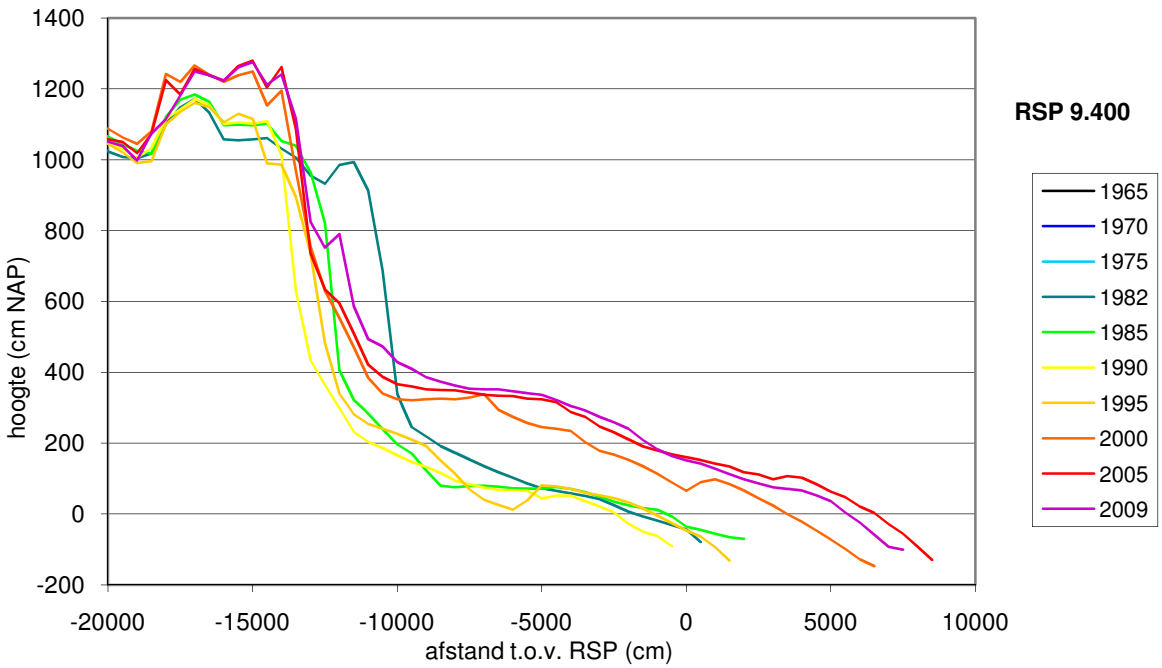
De effecten van de suppleties op het zandbudget lijken in dit gebied complex: km13 vertraging van de afbraak, km 12 omslag van afbraak naar betrekkelijke stabiliteit, km14 en km15 geen verandering, alleen een lift, km 10 een toename van de positieve trend, en km11 geen verandering in de positieve trend.

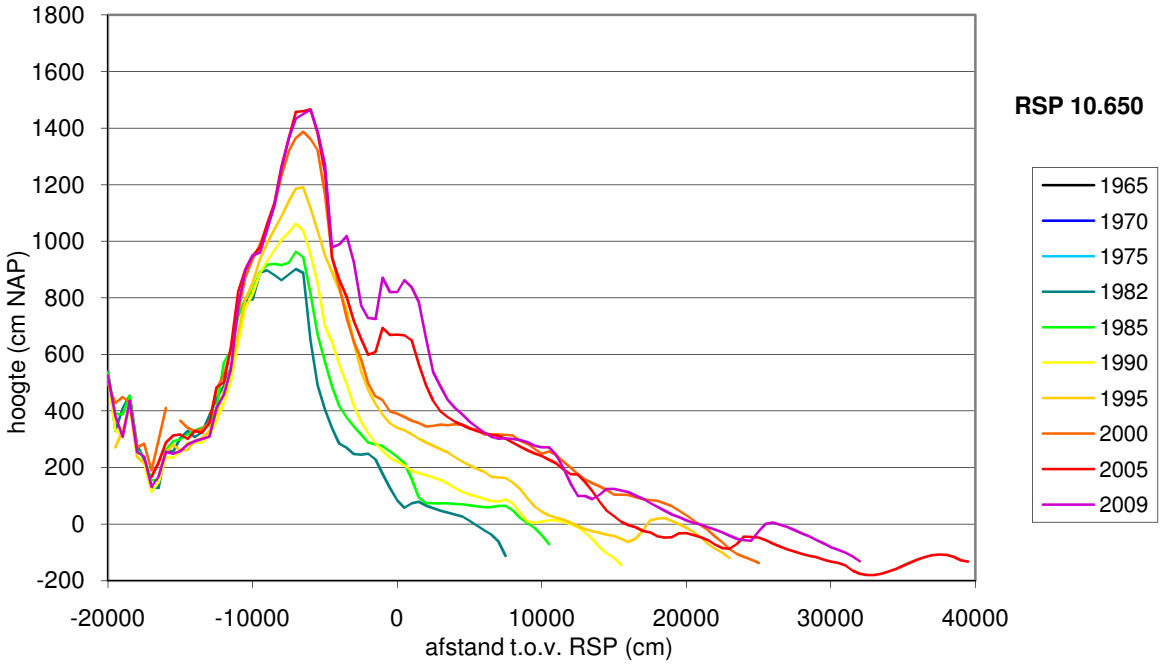


					suppletiehistorie				
raai	**Vol1 1979-1990**	**Vol2 1992-2009**	**Begrenzing m tov RSP**	**dv-verplaatsing 1997-2008**	**1987**	**1991**	**1996**	**2003**	**2007**
10.040	-18.3	10.6	-280	+				23	
10.240	-6.2	11.8	-175	+				23	
10.440	10.7	12.3	-110	+				23	158
10.640	11.2	17.3	-95	+				23	158
10.840	15.9	18.4	-100	+				23	158
11.040	12.9	14.0	-90	+				23	158
11.240	18.6	12.8	-90	+				23	158
11.440	11.9	13.6	-80	+				23	158
11.640	10.1	10.6	-75	+			586	23	158
11.840	9.3	13.2	-90	-		492	586	23	158
12.080	5.7	3.9	-95	-		492	586	23	158
12.280	-10.0	3.6	-110	-		492	586	23	158
12.480	-27.2	-6.1	-75	-		492	586	23	158
12.680	-42.2	-3.4	-145	-		492	586	23	158
12.880	-40.2	-3.8	-150	-		492	586	23	158
13.080	-29.1	-6.8	-205	-		492		23	158
13.350	-22.4	-11.9	-205	-	822	492		23	158
13.550	-40.4	-17.1	-170	-	822	492		23	158
13.750	-44.2	-17.2	-210	-	822	492		23	158
13.950	-23.0	-18.3	-215	-	822	492		23	158
14.250	-14.5	-18.7	-200	-	822	492		23	158
14.450	-5.8	-7.0	-165	-	822	492		23	158
14.650	-6.0	-3.2	-165	-	822	492		23	158
14.850	3.5	1.3	-185	-	822	492		23	158
15.050	-2.5	-0.3	-175	-	822	492		23	158
15.250	3.4	-3.0	-175	-	822	492		23	158
15.480	-11.0	0.3	-110	-	822	492			158
15.680	2.0	13.1	-145	+	822	492			158
15.880	-1.1	3.3	-120	+		492			158

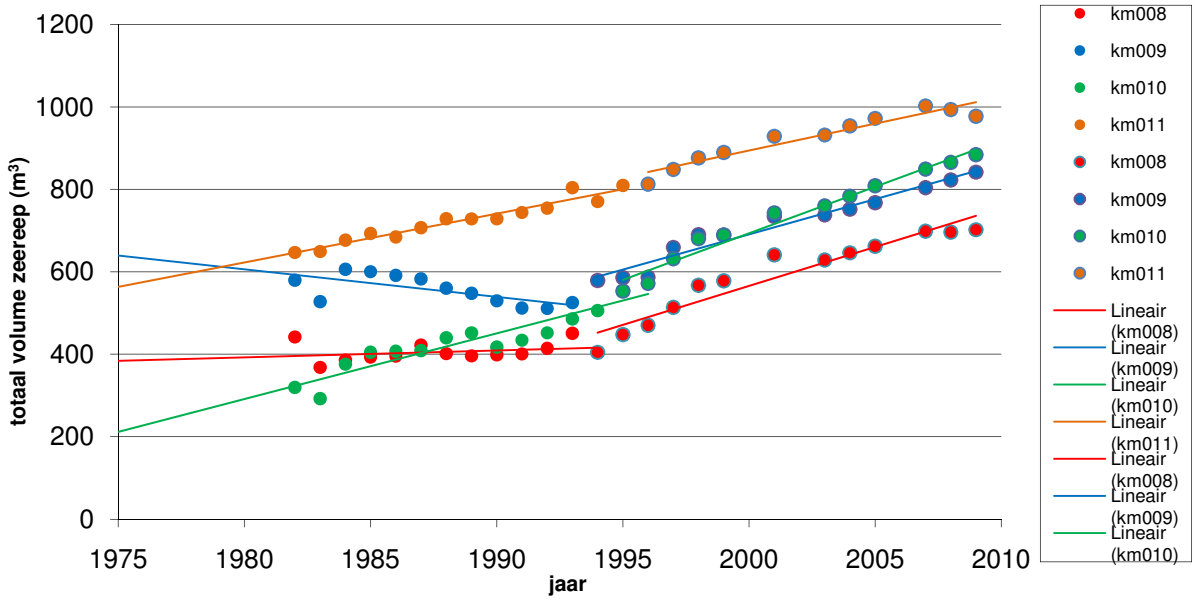
6.18 Walcheren (8.00-12.00)

De sterkste aangroei zit in het middendeel waar wel (vaak) gesuppleerd is. Het deel tussen 8.00 en 8.80 had voor 1993 al een fors positief budget, daarna is dat nog positiever geworden. Het deel tussen11.05 en 11.85 is juist wat minder positief geworden. In het middendeel, dat gesuppleerd wordt, zijn de budgetten fors positief, met waarden tussen 25 en 30 m^3/m.jaar. Voor km10 en 11 is er nauwelijks of geen sprake van een trendbreuk. De trend is en blijft positief, terwijl voor km10 de suppletie-inspanning aanmerkelijk is toegenomen. De data van voor suppleren is te kort om een trendbreuk van voor de eerste suppleties te zien. Km 11 is nooit gesuppleerd. Voor km09 is er wel sprake van een trendbreuk die rond 1994 ligt en zorgt voor een omslag van negatief naar positief. Dit kan samenhangen met een latere start van de suppleties in dit deel, namelijk vanaf 1993/1996.





Figuur 6.25 Typerende profielen voor Walcheren.



De raaien aan de oostkant van km08 (8.0 t/m 8.6) zijn nooit gesuppleerd en tonen een continue positieve trend. Er is wel sprake van een trendbreuk rond 1995, waarna deze sterker positief wordt. Dit zou kunnen samenhangen met de suppleties ten westen, een lijeffect dus.
De trends in het centrale, gesuppleerde deel zijn overigens sterk positief, met netto toenames van 25-30 m^3/m.jaar.

					suppletiehistorie						
raai	**Vol1 1982-1993**	**Vol2 1994-2009**	**Begrenzing m tov RSP**	**dv-verplaatsing 1997-2008**	**1984**	**1990**	**1993**	**1996**	**2000**	**2004**	**2008**
8.000	10.4	16.4	-80	-							
8.200	11.9	15.1	-45	-							
8.400	11.2	9.5	-80	-							
8.600	7.1	17.1	-80	+							
8.800	-8.7	19.7	-130	+					156	210	195
8.900				+				290	156	210	195
9.000	-12.4	13.9	-145	+				290	156	210	195
9.200	-22.0	11.1	-200	+				290	156	210	195
9.350				+			273	290	156	210	195
9.400	-20.9	16.5	-200	+			273	290	156	210	195
9.500				+	158		273	290	156	210	195
9.650	16.4	28.0	-230	+	158		273	290	156	210	195
9.850	15.4	30.2	-200	+	158		273	290	156	210	195
10.000				+	158	66	273	290	156	210	195
10.050	15.6	29.6	-230	+	158	66	273	290	156	210	195
10.250	2.7	25.3	-190	+	158	66	273	290	156	210	195
10.300				+	158	66	273	290	156	210	195
10.400				+	158		273	290	156	210	195
10.450	16.0	24.9	-185	+	158			290	156	210	195
10.500				+				290	156	210	195
10.650	19.7	28.7	-160	+					156	210	195
10.700				+					156	210	195
10.850	21.5	17.7	-120	+					156		
11.050	21.3	19.4	-135	+							
11.250	11.4	11.0	-120	+							
11.450	12.3	7.0	-200	+							
11.650	18.5	9.2	-150	+							
11.850	7.9	6.2	-200	+							

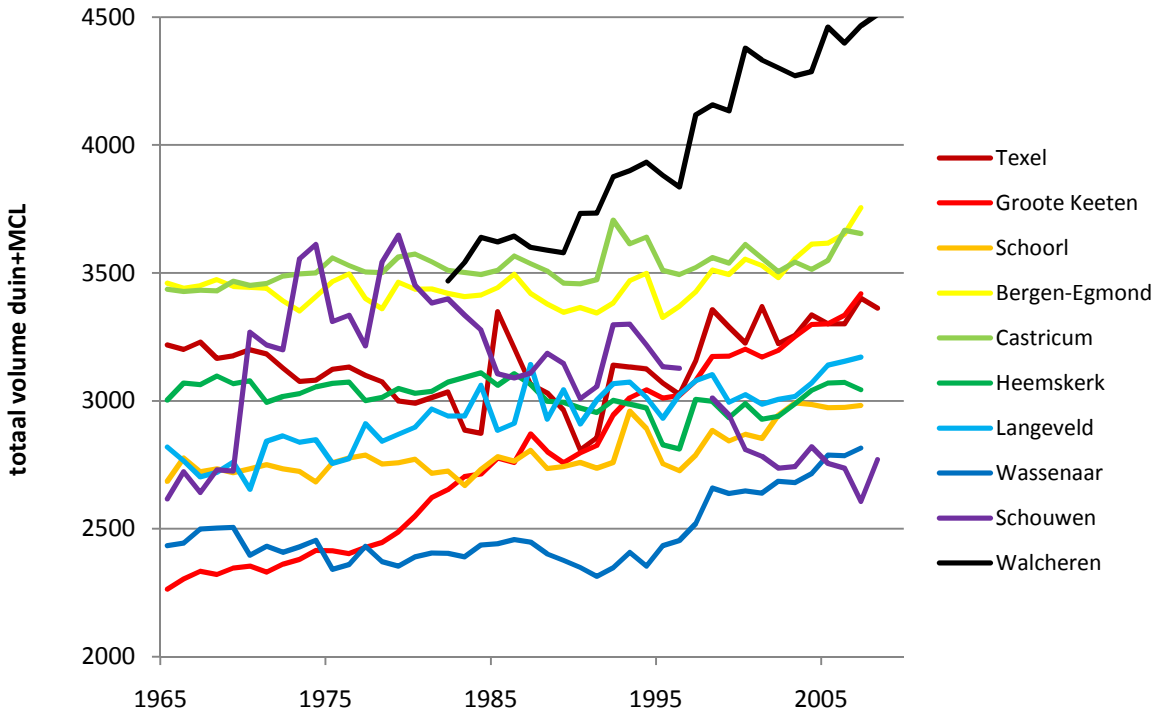
6.19 Relatie zeereep en vooroever

Voor een aantal locaties is onderzocht wat de ontwikkeling is van de vooroever (Brière, 2010). Er is ook geprobeerd inzicht te krijgen in de relatie tussen de volumeontwikkeling op de vooroever en die op het strand. Hierbij is met een iets gewijzigde procedure voor de volumeberekening gewerkt. Deze is uitgelegd in Hoofdstuk 3.1.2.Met de gehanteerde methode is het slechts beperkt mogelijk een relatie te leggen tussen de ontwikkeling onder- en bovenwater. Desondanks komen er wel interessante inzichten uit naar voren.

Voor in totaal zeven van de studielocaties is de ontwikkeling van de vooroever onderzocht. Hierbij is binnen de locaties gekeken naar een aantal homogene deelgebieden:

- Texel, RSP 18.78-20.91
- Groote Keeten, RSP 8.08-10.93
- Schoorl, RSP 28.00-31.50
- Bergen-Egmond, RSP 34.00-37.00
- Castricum, RSP 45.00-48.75
- Heemskerk, RSP 48.75-51.00
- Langeveld, RSP 74.50-76.50

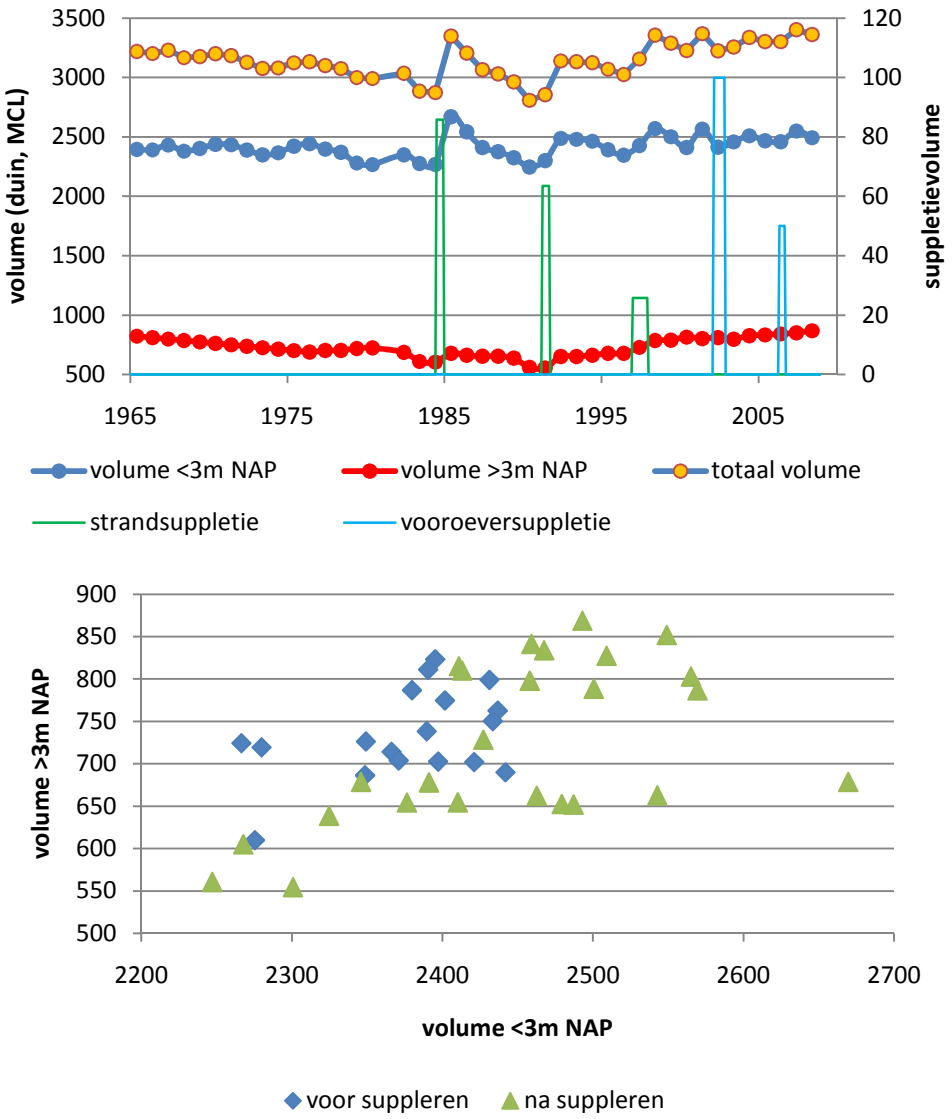
- Wassenaar, RSP 92.00-96.00
- Schouwen, RSP 13.35-15.48
- Walcheren, RSP 8.80.10.70



Figuur 6.26 Ontwikkeling van totaal volume van het kustprofiel per gebied (inclusief suppleties)

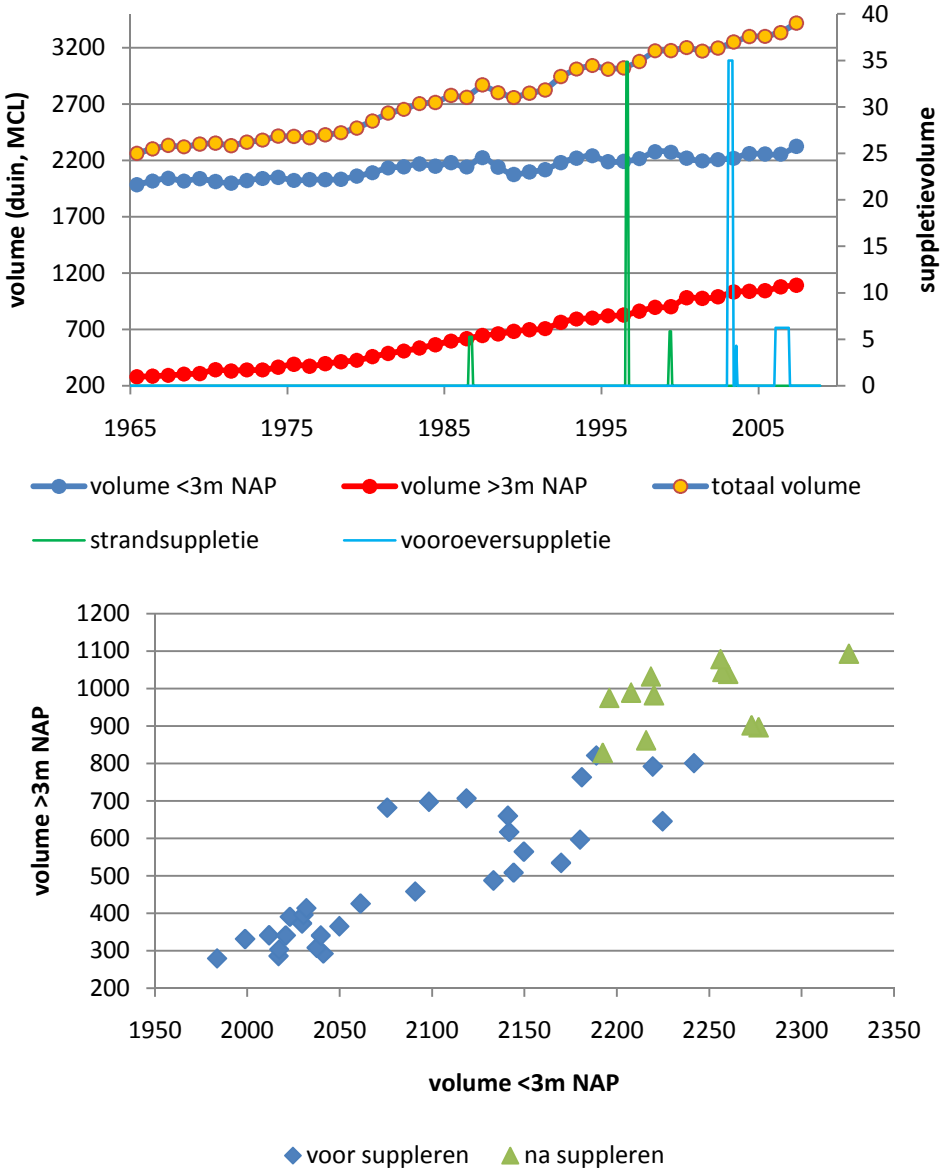
In *Figuur 6.26* is de ontwikkeling van het totale volume van duinen en MCL-zone weergegeven. De onderkant van de MCL-zone ligt grofweg op -5m NAP, en ligt in het actieve deel van het vooroeverprofiel. Veranderingen in het volume van de MCL zone kunnen veroorzaakt worden doordat aan de onderkant zand verschijnt of verdwijnt, dus van beneden -5m NAP naar of van de diepere zeebodem, en aan de bovenkant van het profiel doordat zand de 3m NAP passeert, hetzij door afslag (toename MCL-volume ten koste van het duinvolume), hetzij door verstuiving (afname van het MCL-volume. In een stabiel profiel blijft het totale volume van MCL en duinen gelijk. Ook in een dynamisch profiel kan het totale volume gelijk blijven, maar kan door verschuiving van de 3m NAP lijn zand worden uitgewisseld tussen MCL-zone en duinen. Veranderingen in het totale volume binnen beide systemen samen zegt iets over de netto erosie of aanzanding in het kustprofiel. Theoretisch zou verwacht worden dat in gesuppleerde kustvakken de zandvoorraad op peil blijft: de structurele erosie wordt regelmatig gecompenseerd door suppleren. Uit *Figuur 6.26* blijkt overduidelijk dat voor de meeste proefgebieden de volumes toenemen. Alleen voor Heemskerk is het totale volume min of meer gelijk, en voor Schouwen neemt het af. Voor alle andere proefgebieden is er sprake van een gestage toename van de zandvoorraad, voor Groote Keeten, Walcheren en Wassenaar is die toename zelfs fors.

Texel noord, RSP 18.78-20.91
Voor Texel noord is de lange termijn trend negatief, maar deze verandert door suppleren. Duidelijk is de directe input van de strandsuppleties te zien, zowel onder als boven 3m NAP. Strandsuppleties zorgen voor een tijdelijke toename van het duinvolume, de negatieve trend zet na suppleren weer in, en lijkt zelfs sterker negatief dan daarvoor. Na de vooroeversuppleties is vooral bij het volume >3m NAP sprake van een ombuiging van de negatieve trend naar een positieve trend. De volumes onder en boven 3m NAP zijn enigszins positief gecorreleerd, en de correlatie wordt sterker na suppleren. Vóór suppleren nemen beide volumes af, na suppleren toe.



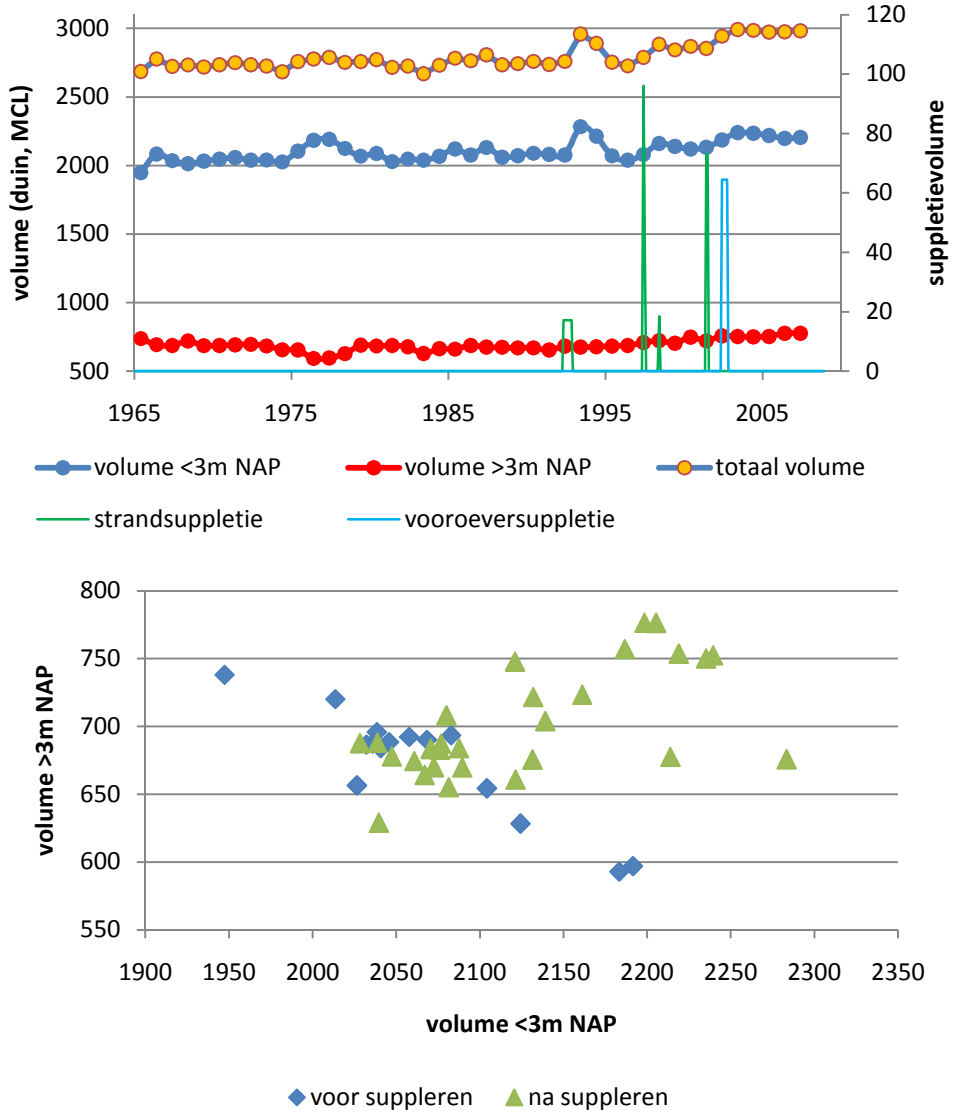
Figuur 6.27 Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Texel noord.

Groote Keeten
Voor dit gebied zijn de trends in volumeontwikkeling zowel boven als onder 3m NAP positief. Het volume boven 3m NAP neemt echter veel sterker toe dan dat onder 3m NAP. Beide volumes zijn sterk positief gecorreleerd, maar de mate van correlatie neemt af na de start van suppleties. Het volume onder 3m NAP toont een periodieke fluctuatie. De harmonische component voor de ontwikkeling van vooroever/strand is 13.8 jaar (Brière, 2010). Het volume boven 3m vertoont geen periodieke fluctuatie. Het gehele profiel zandt netto aan, en blijkbaar is er een snelle doorvoer van vooroever naar strand naar duinen. De periodieke fluctuatie op vooroever/strand, en het ontbreken daarvan op de duinontwikkeling wijst er op dat de aangroei van de duinen niet gerelateerd is aan het bankengedrag op de vooroever (Brière, 2010).



Figuur 6.28 Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Groote Keeten.

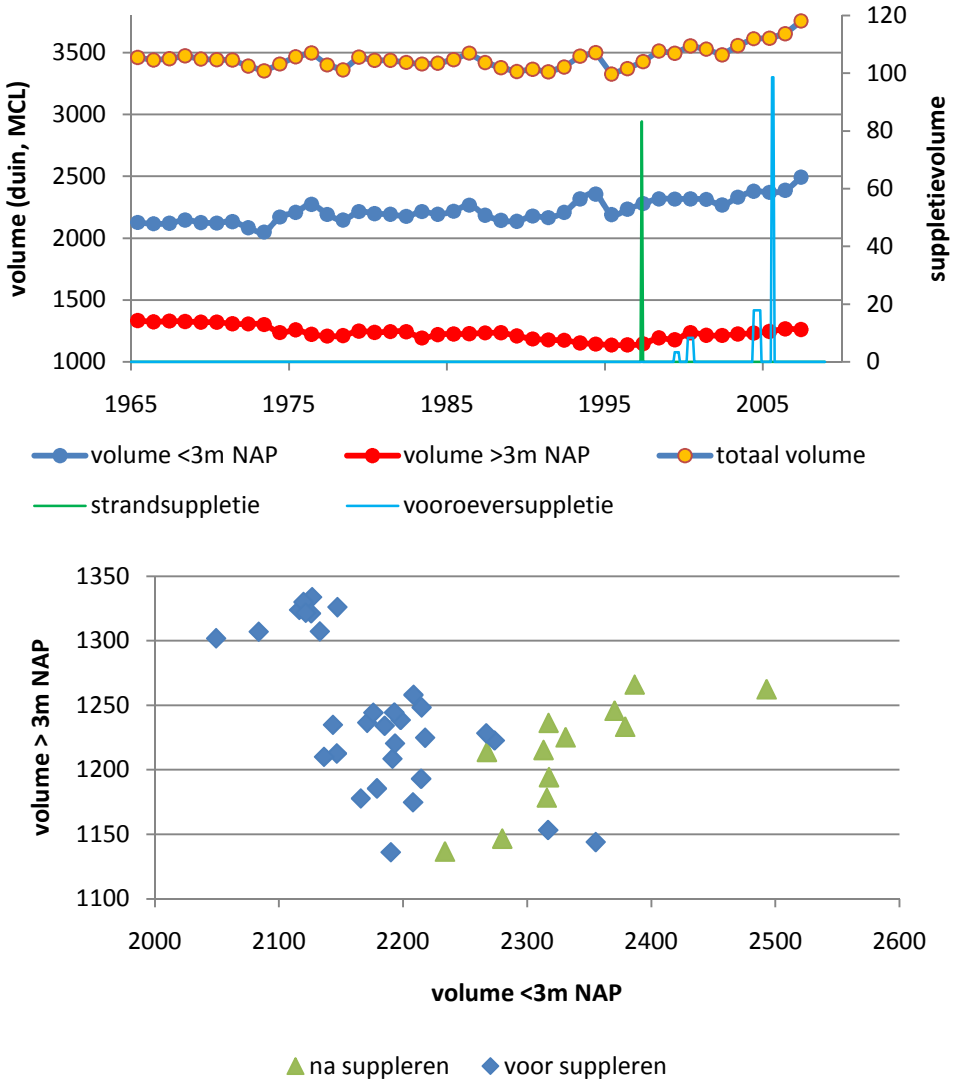
Schoorl
Hoewel het totaal volume in de beginperiode iets toeneemt, neemt het volume boven 3m NAP af. Voordat met suppleren wordt begonnen slaat dit om naar een stabiele tot licht positieve trend. Opvallend is dat de volumes onder en boven 3m NAP voor de start van suppleren negatief gecorreleerd zijn, daarna positief (hoewel matig) gecorreleerd. Blijkbaar komt de afname van het volume boven 3m NAP (door afslag) ten goede aan de zone onder 3m NAP. Vanaf de start van suppleren zijn beide positief gecorreleerd, en nemen beide in de loop van de tijd toe. Het verloop van het volume op vooroever/strand vertoont een periodieke fluctuatie met een harmonische component van 16.3 jaar (Brière, 2010). Ook het verloop van het duinvolume toont een periodieke fluctuatie, maar met een minder duidelijke harmonische component. Er lijkt sprake van een faseverschuiving, maar beide ontwikkelingen kunnen niet goed aan elkaar worden geknoopt.



Figuur 6.29 Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Schoorl.

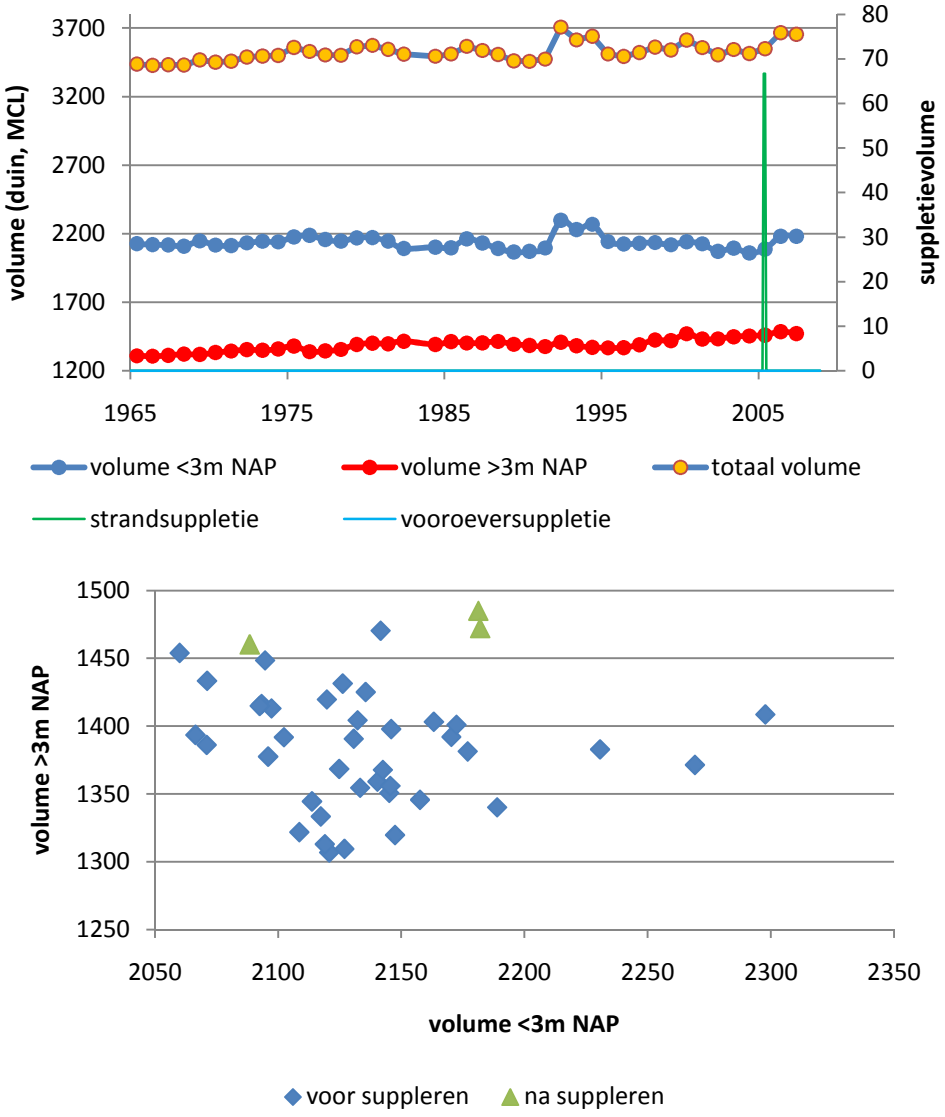
Bergen-Egmond
Opvallend in dit gebied is in de periode voor suppleren een positieve trend voor het volume onder 3m NAP en een negatieve trend voor het volume boven 3m NAP, zelfs zodanig dat ook het totaal volume afneemt. Een deel van het zand dat afslaat komt ten goede aan strand en vooroever, een deel verdwijnt uit het systeem. Dit verandert vanaf de start van suppleren. Is er voor suppleren net als bij Schoorl sprake van een duidelijk negatieve correlatie: een afname van het volume boven 3m NAP gaat gepaard aan een toename van het volume onder 3m NAP, vanaf suppleren zijn beide positief gecorreleerd en nemen toe. Zowel volume onder als boven 3m NAP vertonen een periodieke fluctuatie met een harmonische component van 15 tot 18.2 jaar. Er is sprake van een faseverschil van circa 7-8 jaar; de volumeverandering van het duin loopt 7-8 jaar achter op de verandering voor vooroever/strand (Brière, 2010). De ontwikkeling van het duin is in dit geval een respons op het gedrag van de vooroever (vergelijkbaar met wat eerder bij Egmond werd gevonden, Brière et al., 2007).

In 2000 werd 50.000 m^3 zand uit het duin bij km36 op het strand gebracht (project Nieuwe Land).



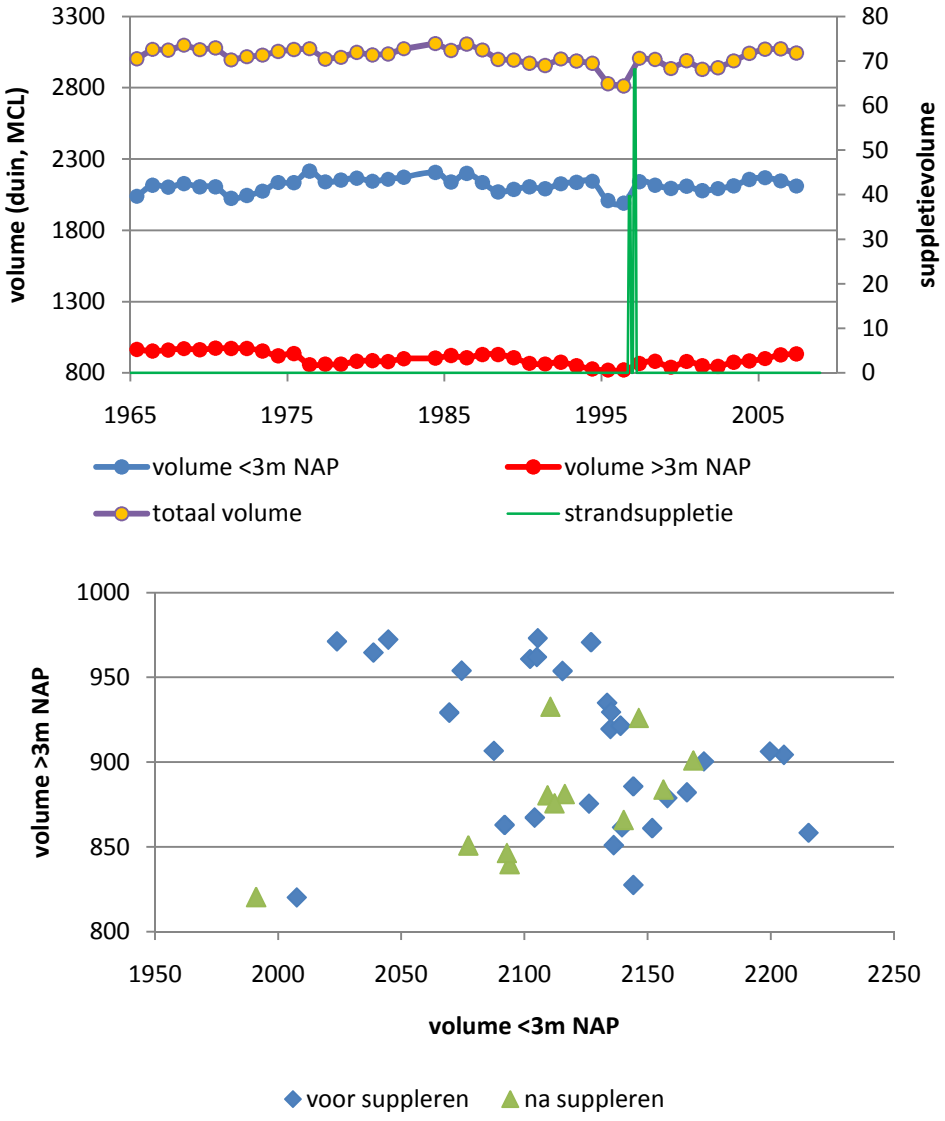
Figuur 6.30 Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Bergen-Egmond.

Castricum
In dit gebied lijken periodieke fluctuaties een rol te spelen. Voor vooroever/strand en voor duin zijn harmonische componenten bepaald van respectievelijk 17.5 en 24 jaar (Brière, 2010). Vooral de laatste is onwaarschijnlijk hoog. Aanvankelijk neemt het volume onder 3m NAP toe, een aantal jaren later gevolgd door het volume boven 3m NAP. De afname daarna wordt ook weer een aantal jaren later gevolgd door een afname van het volume boven 3m NAP. Het totale volume neemt in de loop van de tijd toe, maar ook hier lijkt sprake van een periodieke schommeling. De toename in duinvolume vanaf 1997 zou samen kunnen hangen met suppleties aan de zuidkant van het gebied (Heemskerk), maar is niet terug te vinden in een toename van strand/vooroever. De correlatie tussen beide volumes is zwak, maar dat kan samenhangen met een faseverschuiving. Desondanks zien we ook hier een (zwak) negatieve correlatie vóór suppleren, en een positieve er na. De periode na suppleren is nog beperkt, omdat de eerste suppletie in 2006 heeft plaatsgevonden. Hoewel het plaatje vergelijkbaar is met een aantal andere gebieden, is de richting van de relatie tussen volume boven en onder 3m NAP anders, omdat het duin in dit geval aanzandt ten kosten van het volume van strand/vooroever.



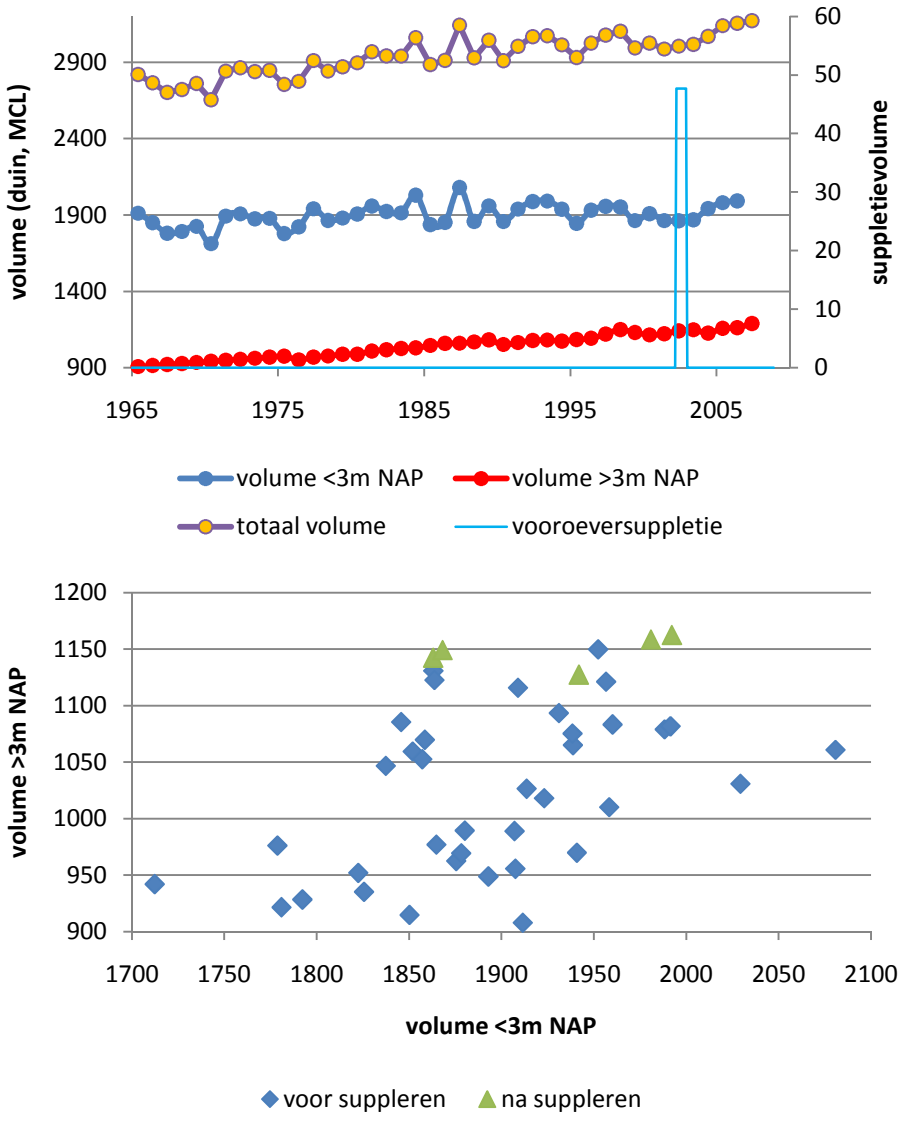
Figuur 6.31 Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Castricum.

Heemskerk
Ook in dit gebied is sprake van een periodieke ontwikkeling, maar de fluctuaties zijn minder duidelijk dan bij Castricum, en ook de respons van het duin op strand/vooroever is minder duidelijk. Voor de ontwikkeling onder 3m NAP is een harmonische component bepaald van 14 jaar, voor die boven 3m NAP van 18 jaar (Brière, 2010). Vergelijkbaar met Schoorl en Bergen-Egmond is de negatieve correlatie tussen volumes boven en onder 3m NAP voor suppleren met een afnemend duinvolume (in tegenstelling tot bij Castricum), en de positieve na de start van suppleren.



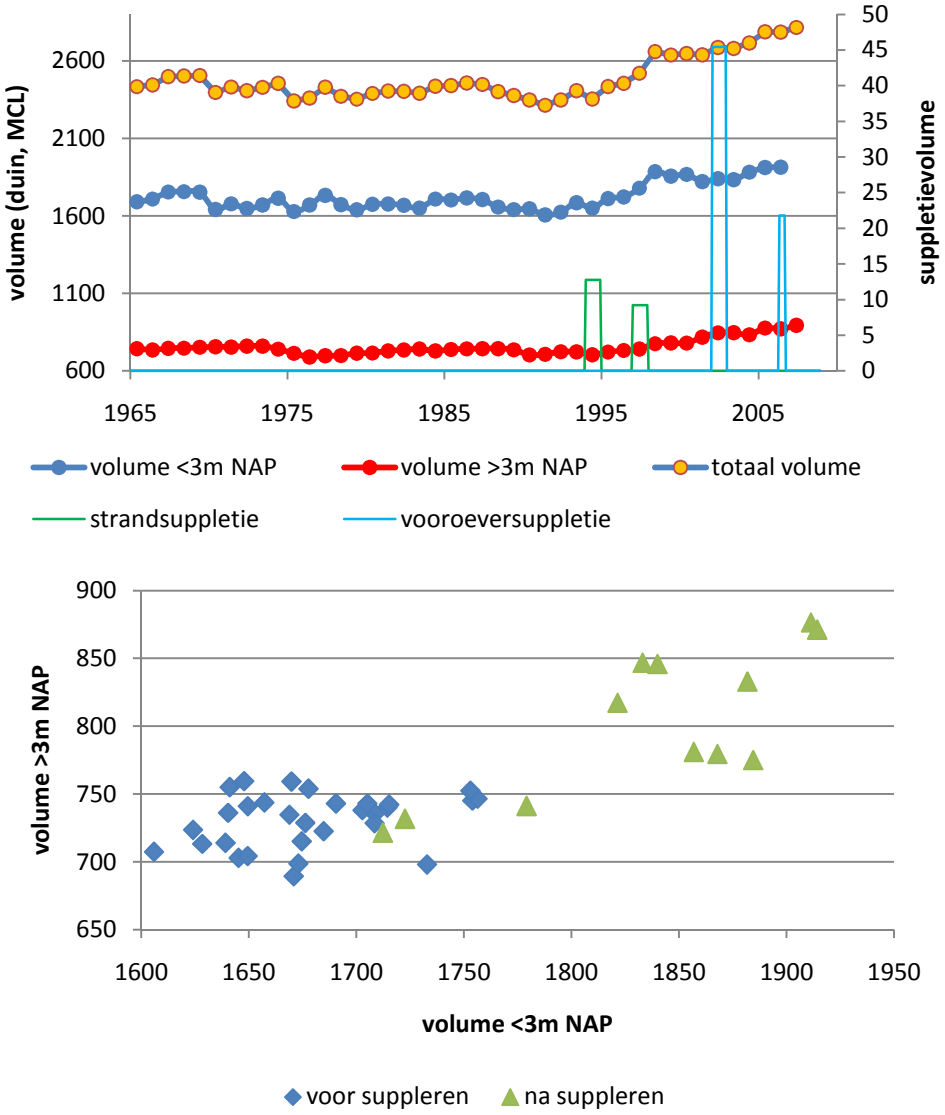
Figuur 6.32 Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Heemskerk.

Langeveld
In dit gebied laten beide volumes een toenemende trend zien, waarbij de fluctuatie onder 3m NAP aanzienlijk is, en er boven 3m NAP nauwelijks sprake is van variatie. Desondanks is voor beide een harmonische component bepaald van 4 jaar (Brière, 2010), wat in overeenstemming is met de literatuur. Zowel voor als na suppleren is er sprake van een positieve correlatie tussen beide volumina, waarbij ook de mate van correlatie vergelijkbaar is. In dit gebied is één vooroeversuppletie uitgevoerd, en op grond van deze gegevens is het niet duidelijk dat dit tot trendbreuken heeft geleid.



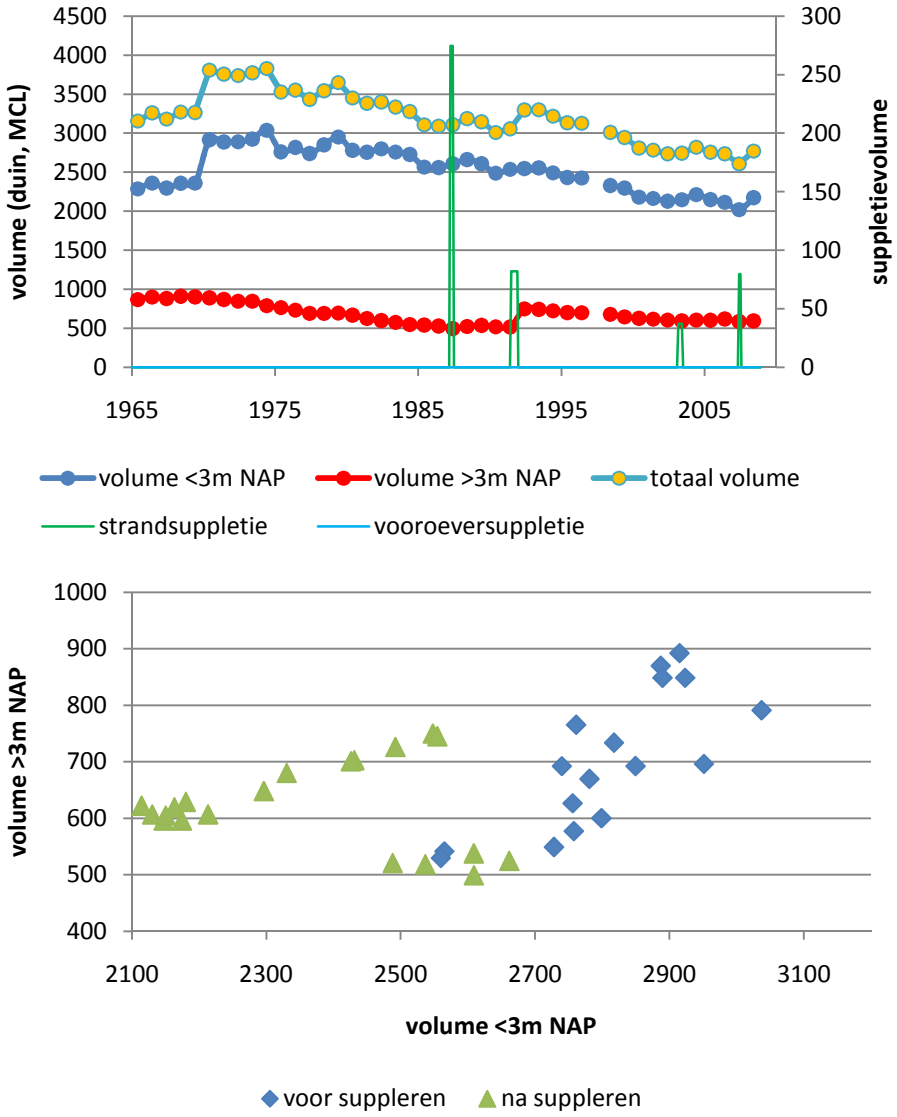
Figuur 6.33 Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Langeveld.

Wassenaar
Sinds er in dit gebied gesuppleerd wordt is er een duidelijke trendbreuk in zowel duinen als vooroever. Vóór suppleren is er sprake van een geringe afname van de volumes boven en onder 3m NAP, met een zekere periodieke fluctuatie, waarbij de ontwikkeling boven 3m NAP na ijlt op die onder 3m NAP. Ook voor dit systeem is de harmonische component kort, respectievelijk 3.2 en 4.8 jaar voor volumes onder en boven 3m NAP. De overgang van strand- naar vooroeversuppleties lijkt geen verschil in de ontwikkeling te maken. Voor suppleren is er nauwelijks sprake van correlatie. Vanaf suppleren worden beide trends in de ontwikkeling positief en wordt ook een duidelijke correlatie zichtbaar tussen beide volumina.



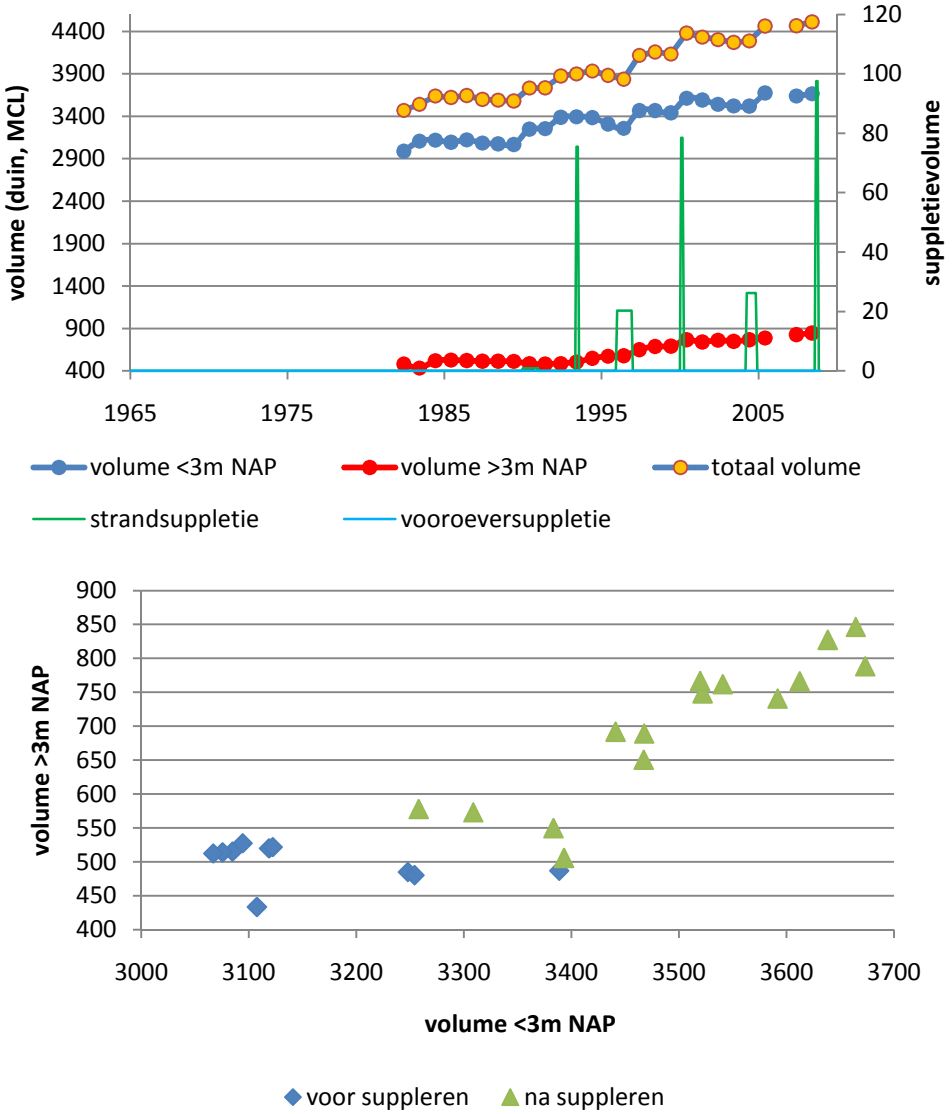
Figuur 6.34 Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Wassenaar.

Schouwen
Het verloop van het totaal en het volume onder 3m NAP voor dit deelgebied op Schouwen is nogal schokkerig. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door de data. De trends zijn waarschijnlijk over de gehele periode negatief. De correlatie tussen volumeontwikkeling boven en onder 3m NAP is hoog, wanneer de eerste data weggelaten worden (1965 t/m 1969). Na de eerste suppletie is de relatie tussen volumeontwikkeling onder en boven 3m NAP nog gelijk, er lijkt dus niets te veranderen. Dit blijkt uit het cluster van groene punten in de blauwe wolk, hieronder. Vanaf de tweede suppletie in 1992 verandert de correlatie wel. Ook dan is er nog sprake van een sterke positieve correlatie (met afname van zowel boven als onder 3m NAP), maar de afname van het duinvolume gaat vanaf die suppletie minder snel, terwijl de afname van het vooroever/strandvolume even snel blijft gaan.



Figuur 6.35 Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Schouwen.

Walcheren
Voor de start van suppleren is er bij de ontwikkeling van het volume onder 3m NAP al sprake van een positieve trend, die zich ook uit in een positieve trend van het totaal volume. Vanaf suppleren ontwikkelt ook het duinvolume zich met een positieve trend. Vanaf suppleren is er sprake van een duidelijke, positieve correlatie tussen de ontwikkeling van beide volumina Voor suppleren is er vrijwel geen correlatie. Op vooroever/strand lijkt voor de start van suppleren sprake van een periodieke fluctuatie, maar de reeks is te kort om hier een betrouwbare uitspraak over te doen.



Figuur 6.36 Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Walcheren

Samenvatting
Er blijken verschillende combinaties mogelijk. Theoretisch zijn alle combinaties mogelijk, zoals weergegeven in *Tabel 6.1*. In de tabel is aangegeven in welk kwadrant de verschillende gebieden vallen. Een negatief budget op vooroever/strand gecombineerd met een positief budget in de zeereep komt bij de bestudeerde proefgebieden niet voor, maar is bijvoorbeeld wel bekend van de Waddeneilanden en de Kaloot (Jeuken et al., 2005). Een negatief budget op vooroever/strand gecombineerd met een neutraal budget in de zeereep komt bij de bestudeerde proefgebieden ook niet voor en is ook niet bekend van andere gebieden, maar is niet onwaarschijnlijk.

Tabel 6.1 Mogelijke combinaties van zandbudgetten op vooroever/strand en zeereep

		vooroever/strand		
		+	**0**	**-**
zeereep	**+**	aanzanding, aangroei, kustwaartse uitbreiding, zand komt van elders binnen ***Groote Keeten, Langeveld***	vooroever fungeert als doorvoerzone, of zandverlies naar zeereep wordt gecompenseerd door aanvoer van elders ***Castricum***	erosie vooroever zorgt voor zand op het strand voor duinvorming
	0	aanzanding op vooroever heeft zeereep nog niet bereikt, aanpassing van te steil profiel? ***Walcheren***	stabiel ***Wassenaar***	erosie op vooroever heeft zeereep nog niet bereikt, aanpassing van te flauw profiel?
	-	afslag en erosie zeereep, ophoping zand op vooroever ***Schoorl, Bergen-Egmond***	vooroever fungeert als doorvoerzone, of zandaanbod van zeereep wordt afgevoerd naar elders, mogelijk zandverlies uit zeereep door secundaire verstuiving ***Heemskerk***	erosie, afslag, terug schrijdende kust, zand verdwijnt naar elders ***Texel noord, Schouwen***

De verschillende proefgebieden zijn enigszins te clusteren:

- Groote Keeten en Langeveld zijn twee gebieden waar zowel voor als na suppleren alle budgetten positief zijn en er een positieve correlatie is tussen de ontwikkeling van het volume boven en onder 3m NAP. De duinen worden gevoed door een positief budget op de vooroever.
- Bij Schoorl, Bergen-Egmond en Heemskerk zijn beide volumes eerst negatief gecorreleerd, waarbij het zeereepbudget afneemt en dit zand ten goede komt aan het volume op de vooroever. Vanaf suppleren verandert dit in een positieve correlatie, en zijn alle budgetten positief. Behalve door de suppleties wordt de duinontwikkeling dan ook gevoed door zand van de vooroever.
- Castricum, Wassenaar en Walcheren zijn gebieden waar vóór suppleren de correlatie tussen de ontwikkeling boven en onder 3m onduidelijk is, terwijl na suppleren de correlatie duidelijk wordt en de budgetten positief worden of blijven. Ook daar wordt na suppleren de duinontwikkeling gevoed door zand van de vooroever. Overigens lijkt bij Castricum voor suppleren de duinontwikkeling ten koste van het volume op de vooroever te gaan. Dit is het enige gebied waar deze relatie werd gevonden.
- Texel noord en Schouwen kennen beide voor suppleren een positieve correlatie tussen de volumeontwikkeling boven en onder 3m NAP, maar in beide gevallen nemen de volumes af. Na suppleren wordt op Texel het budget positief, op Schouwen blijft het negatief, maar neemt het volume boven 3m NAP minder snel af dan daarvoor.
- Afgezien van Schouwen geldt voor alle proefgebieden dat vanaf het moment van suppleren zowel het budget boven als onder 3m NAP positief is.

Tabel 6.2 Budgetten vóór en na suppleren. In rood de hoogste correlatie.

gebied	voor suppleren				na suppleren			
	correlatie	<3 m	>3 m	totaal	correlatie	<3 m	>3 m	totaal
Texel noord	positief	-	-	-	positief	+	+	+
Groote Keeten	positief	+	+	+	positief	+	+	+
Schoorl	negatief	+	-	(+)	positief	+	+	+
Bergen-Egmond	negatief	+	-	-	positief	+	+	+
Castricum	negatief	0	+	+	positief	+	+	+
Heemskerk	negatief	0	-	-	positief	+	+	+
Langeveld	positief	+	+	+	positief	+	+	+
Wassenaar	geen	(-)	(-)	(-)	positief	+	+	+
Schouwen*	positief	-	-	-	positief	-	+	-
Walcheren	geen	+	0	+	positief	+	+	+

* databewerking: voor suppleren 1965 t/m 1969 weggelaten, na suppleren 1987 t/m 1991 weggelaten.

6.20 Conclusies ontwikkeling zandbudget zeereep

Per locatie kan de ontwikkeling van de zandvolumina als volgt worden samengevat:

- Ameland-oost lijkt alleen aan de westkant een suppletie-effect te ondergaan, omdat daar de trend sinds gesuppleerd wordt positiever is geworden. Naar het oosten toe vervaagt dit onderscheid. De trend is hier al langer positief, suppleties lijken hier geen effect op te hebben. De aanzanding leidt tot een steeds bredere en vooral hogere zeereep.
- Ameland-west ondergaat veranderingen die vooral samen lijkten te hangen met de strandhaakontwikkeling en verplaatsing van het zeegat tussen Ameland en Terschelling. De zeereep ontwikkelt zich vergelijkbaar met de oostkant, met een uitbreiding en toename van de hoogte. Er zijn duidelijke trendbreuken. Tussen km3-4 is de trendbreuk in 1996 echter voor de eerste suppletie van 1997.
- Terschelling-midden is in de ban van grootschalige verstuivingen, die de ontwikkeling van de zeereep domineren. Lokaal leidt dit tot een afname van het zeereepvolume, gemiddeld echter neemt het volume toe, tot plaatselijk zeer extreem. Mogelijk is er in een aantal raaien een positief effect van de suppletie op de aanzanding. Overigens is het oostelijke deel van het gebied, vanaf km18, nooit gesuppleerd. Trendbreuken dateren van na de suppletie, en zijn ook zichtbaar in het niet gesuppleerde deel. Volumeveranderingen door winderosie lijken een orde groter te kunnen zijn dan volumeveranderingen door aanstuiving.
- Terschelling-west wordt gedomineerd door een "natuurlijke" suppletie in de vorm van de verheling van zandplaten, waardoor er sprake is van een enorme aanzanding en een positieve trend die alleen maar sterker lijkt te worden. Er zijn geen gebieden waar de aanzanding groter is dan hier. Aan de westkant zet de volumeontwikkeling gelijkmatig door, aan de oostkant is sprake van een trendbreuk met een grotere toename vanaf 1997.
- Texel-noord lijkt een extreem voorbeeld van het effect dat langdurig en vaak suppleren op het sedimentbudget heeft. Voor de start van de suppleties was de trend overwegend negatief tot licht positief, erna is de trend overal fors positief met aanzandingen van 20-28 m^3/m.jaar. Een duidelijke trendbreuk in de volumeontwikkeling is overigens pas zichtbaar na de tweede suppletie in 1992. De eerste suppletie in 1984 leidt alleen tot een tijdelijke toename, niet tot een verandering in de volumeontwikkeling.
  Voor suppleren was zowel op vooroever/strand als in de zeereep de trend in de volumeontwikkeling negatief, vanaf suppleren is dit voor beide gevallen positief

geworden, waarbij de trend in de zeereep sterker positief is dan op vooroever/strand.

- Texel-midden lijkt net als Texel-noord een goed voorbeeld van het effect van suppleties op de aanzanding, waarbij het effect later inzet omdat later gesuppleerd wordt, een jaar later na de eerste suppletie in 1993/1994.
- Groote Keeten kent een zeer regelmatige aanzandende trend, met een uitbouwende en ophogende zeereep, met overstuiving tot aan de achterzijde, en een ontwikkeling van kerven en stuifkuilen. Bij km 8-9 is niet gesuppleerd en is de aanzanding onafhankelijk van suppleties. Er is hier ook geen sprake van een trendbreuk, de volumeontwikkeling is gelijkmatig. Bij km 10 is er een mogelijke relatie tussen de aanzanding en suppleren, maar de Jarkus-data beginnen tegelijk met suppleties.
  Zowel vooroever/strand als zeereep hebben steeds een positieve trend in de volumeontwikkeling gehad.
- Bij Schoorl is de ontwikkeling variabel met gemiddeld een volumetoename en een toegenomen overstuiving van de zeereep. Er is in dit gebied veelvuldig gesuppleerd. Er zijn in de mate van aanzanding diverse trendbreuken waarneembaar die deels voor aanvang suppleren liggen (duidelijke trendbreuk met omslag van negatief naar positief in 1986, dit is de vroegste trendbreuk in de onderzochte proefgebieden). Er is daardoor een onduidelijke relatie tussen de mate van aanzanding en suppleties. Er is sprake van een grote ruimtelijke en temporele variatie.
  Op vooroever/strand was de trend aanvankelijk positief, waarschijnlijk gevoed door afslag van de zeereep, waar de trend negatief was. Vanaf 1985, vóór de start van suppleren is de trend in beide gevallen positief.
- Bergen-Egmond laat een duidelijke omslag naar aanzanding zien sinds er gesuppleerd wordt (1997). Er is sprake van een dynamische, ophogende, maar ook deels erosieve zeereep. Ook de erosieve zeereep, met klifvorming heeft een gemiddeld positief zandbudget.
  Vóór suppleren was de trend op vooroever/strand positief, ten koste van de zeereep, vanaf suppleren zijn beide trends positief.
- Ten zuiden van Castricum is de ontwikkeling variabel, met aangroei aan de noordkant en afslag aan de zuidkant. Overal vindt overstuiving plaats tot achter de zeereeptop. Vooral voor km45 is er sprake van een duidelijke trendbreuk rond 1995 terwijl pas in 2005 voor het eerst gesuppleerd is. Er is in het gebied een onduidelijke relatie tussen aanzanding en suppleties.
  Vóór suppleren was de trend in de zeereep positief, op vooroever/strand negatief. Vanaf suppleren (2006) zijn beide trends positief, maar de periode na suppleren is nog erg kort. Dit is het enige proefgebied waar een positieve trend in de zeereep samengaat met een negatieve trend op vooroever/zeereep.
- Bij Heemskerk valt vooral de enorme temporele variatie op, met een periodiciteit met grote amplitude. Er zou een relatie met suppleties kunnen zijn: de omslag naar aanzanding valt gelijk met suppleren, maar deze omslag zou ook kunnen samenhangen met de temporele variatie. De zeereep verhoogt door overstuiving, soms in combinatie met afslag.
  Op vooroever/strand was de trend vóór suppleren licht positief tot neutraal, in de zeereep licht negatief. Vanaf suppleren is de trend in de zeereep positief, op vooroever/strand licht positief.
- Bij Langeveld is er sprake van een gelijkmatige maar matige aanzanding over de gehele periode. De enige suppletie in 2002 lijkt daar niets aan te veranderen. Al het zand wordt opgeslagen in de voorkant.
  Vóór suppleren was de trend op vooroever/strand neutraal, in de zeereep positief, na suppleren is de trend in beide gevallen positief.
- Coepelduynen toont een versterkte aanzanding van de zeereep vanaf medio jaren 1990. Dit kan niet direct samenhangen met suppleties ter plaatse, omdat die pas later plaatsvinden, behalve aan de noordkant van het gebied. Mogelijk is er een uistralend effect van suppleties stroomopwaarts op 5-10km afstand.

- Wassenaar toont een duidelijke omslag naar aanzanding of versterkte aanzanding die samenvalt met het begin van de suppleties. De aanzanding leidt tot uitbouw van de zeereep met ook lokaal verhoging van de top. De huidige landwaartse duinvoetverplaatsing ten zuiden van 94.000 hangt samen met het langzaam eroderen van de strandsuppletie van 1997.
  Op vooroever/strand was de trend in volumeontwikkeling vóór suppleren licht negatief, in de zeereep neutraal, na suppleren zijn beide trends positief.
- Voorne wordt al lang gesuppleerd (sinds 1973), wat waarschijnlijk de oorzaak is van een positieve trend sinds 1975. De trend lijkt homogeen, met uitzondering van een sprong door de duinverzwaring in 1987. Er zijn enkele raaien (o.a. 13.00) met een lichte afslag en een negatieve trend. In de meeste raaien is sprake van aanstuiving voor de zeereep, met als gevolg een zeewaartse uitbreiding.
- Goeree is intensief gesuppleerd tot 1985 en daarna pas weer vanaf 2005. Daardoor is er een complexe volumeontwikkeling, met een positieve trend ten tijde van de eerste serie suppleties, een negatieve trend in de tussenperiode en opnieuw een positieve trend in de recente ontwikkeling, die het gevolg lijkt van een suppletie in 2005. Op de kop, raai 15.5-17 domineert afslag, de andere gebieden hebben aanstuiving waarbij de zeereep hoger wordt.
- Schouwen heeft aan de noord- en zuidkant aanstuiving, gedeeltelijk gestuurd door suppleties en op de kop erosie, die deels gecompenseerd wordt door suppleties. In de gebieden met aanstuiving ontstaan een nieuwe zeereep voor de oude. In gebieden met afslag speelt achteruitgang door winderosie een belangrijke rol. Aan de noordkant ligt een trendbreuk in de volumeontwikkeling in 1998 ver voor de eerste suppletie in 2003. Er zou een effect van suppleties in het zuiden kunnen zijn, die in 1996 begint. Opvallend voor Schouwen is het voorkomen van een aantal raaien met een duidelijk negatieve trend, die echter door suppleren veel minder negatief is dan voorheen. Dit is een van de weinige gebieden met een structureel negatieve volumeontwikkeling.
  In het gehele kustprofiel zijn de trends in volumeontwikkeling zowel voor als na suppleren negatief. De negatieve trend in de zeereep is vanaf suppleren minder negatief.
- Aan de noordkant van Walcheren is de afslag door suppleren gestopt en ontstaan nu op grote schaal nieuwe duinen voor de zeereep, met soms forse aanstuiving. Voor een deel zorgen suppleties voor een trendbreuk (km8 en 9), voor een deel is de positieve trend al gaande voor de start van suppleties en lijkt er nauwelijks door beïnvloed te worden.
- Vóór suppleren was de trend op vooroever/strand positief, in de zeereep neutraal. Na suppleren zijn beide trends positief.

Wanneer de locaties onderling vergeleken worden, dan kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Op verschillende locaties is er sprake van een gestage aangroei, die niet gerelateerd lijkt aan suppleties,in ieder geval geen suppleties ter plaatse. Het gaat om Ameland west, Ameland oost (oostkant), Terschelling west, Groote Keeten km8-10, Walcheren km11-12. Voor Ameland west en Terschelling west is de aanzanding het gevolg van een strandverbreding, door standhaakontwikkeling of verheling van een zandplaat.
- Verschillende andere gebieden vertonen eveneens een gestage aanzanding, zijn wel gesuppleerd, maar de vraag is of aangroei en suppleties direct aan elkaar gerelateerd zijn. Het betreft de gebieden Terschelling midden, Groote Keeten km10-11, Langeveld (eenmalig gesuppleerd in 2002), Coepelduynen (gesuppleerd in 2006, maar sterker aanzandend sinds 1997), Schouwen km10-11.
- Er zijn diverse locaties waar het zeer aannemelijk lijkt dat een verandering in aanzanding het gevolg is van suppleren en waar trendbreuken samen vallen met het begin van suppleren. De meest overtuigende locaties zijn Texel noord en midden en in mindere mate Bergen-Egmond, Wassenaar, Voorne, Goeree, Schouwen en Walcheren. Voor het middendeel van Schouwen geldt dat dit het

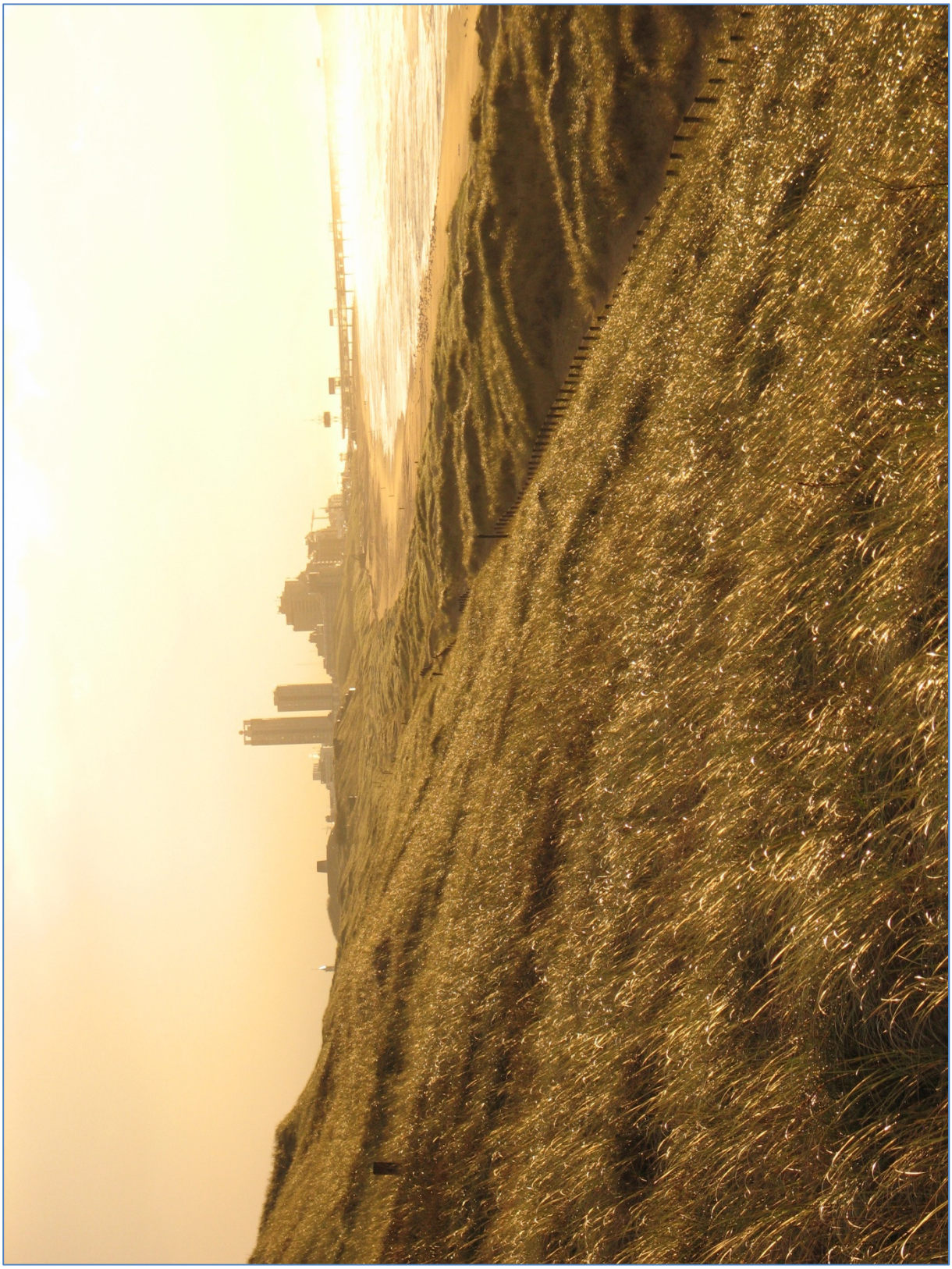
enige gebied is waar een structureel negatieve trend door suppleren minder negatief is geworden.

- Over het algemeen geldt dat op de meeste plaatsen de aanzanding ergens tussen 1990 en 2000 is toegenomen. Alleen in Schoorl begint de verandering eerder, tussen 1986 en 1988. Op Voorne en Goeree is het suppleren veel eerder gestart (1973, 1969) en is de aanzanding over de gehele beschouwde periode al door suppleren beïnvloed.
- In de meeste gebieden is de overstuiving van de zeereeptop en achterkant sterk of sterker geworden. Bij Langeveld, Wassenaar en Voorne speelt overstuiving vooral aan de voorkant van de zeereep, bij Ameland west, Texel noord, Coepelduynen en Walcheren vangt ook de zeereeptop meer zand in. Voor Ameland oost, Terschelling midden en west, Texel midden, Groote Keeten, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Goeree en Schouwen geldt ook dat de doorstuiving naar achteren toe is genomen. Terschelling midden en west, Groote Keeten, Bergen-Egmond, de kerven bij Heemskerk en Castricum en Schouwen zijn daarbij de locaties waarbij de doorstuiving naar achteren het meest extreem is, en de overstuivingsgradiënt het langste is en het verst landinwaarts doorwerkt. Bij Bergen-Egmond, de kerven bij Castricum en Heemskerk en op Schouwen speelt afslag daarbij een rol.

Samenvattend voor wat betreft de wijze van aanzanding:

- Aanzanding voor zeereep: Walcheren 8-12, Schouwen 15.5-16; 10-11.64; Voorne, Langeveld, Wassenaar, Coepelduynen 83-83.75; 84.75-85.5, Castricum 45.75-46.5, Bergen-Egmond 34-34.75, Groote Keeten, Texel-noord, Terschelling-west muv 3-4, Ameland-west 3.4-5, Ameland-oost 19-20
- Aanzanding op top: Schouwen 11.64-12.9; Goeree 14.5-17.5, Ameland-west, Ameland-oost, Coepelduynen 83.75-84.75, Heemskerk, Castricum, Bergen-Egmond, Schoorl, Groote Keeten, Texel-midden, Texel-noord, Terschelling-west
- Aanzanding achter zeereep: Goeree 14.5-17.5, Heemskerk, Castricum, Bergen-Egmond, Schoorl, Groote Keeten, Texel-midden (extra bij oude experimentstuk) , Texel-noord, Terschelling-west, Terschelling-midden
- Achteruitgang (door afslag of winderosie) met secundaire verstuiving: Schouwen 12.9-15.5; Goeree 15.5-17.5, Heemskerk 49-50, Castricum 48-48.5, Bergen-Egmond 35.5-36, Schoorl 30.25-31, Terschelling-midden

- In sommige gebieden is er sprake van een grote ruimtelijke variatie (Terschelling midden, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Schouwen), en moet de ontwikkeling per individuele raai worden beschouwd, in andere is de variatie minder en kan de ontwikkeling per km-vak worden gemiddeld (Groote Keeten, Wassenaar, Langeveld).
- In vrijwel alle raaien lijkt sprake van een ontwikkeling met periodiciteit, die vaak minder lijkt te worden wanneer gesuppleerd wordt. In sommige gebieden is de temporele variatie groot, (Ameland west, Terschelling midden, Texel midden, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Wassenaar, Goeree, Schouwen), in andere is de fluctuatie minder. Nader onderzocht zou moeten worden hoe deze periodiciteit is gerelateerd aan het bankengedrag, passeren van zandgolven of enige andere periodieke ontwikkeling op de onderwateroever.



Nieuwe embryoduinen vóór de oude zeereep tussen Wassenaar en Scheveningen

7 Uitwerking morfologische ontwikkeling proefgebieden

In het vorige hoofdstuk is besproken hoe de mate van aanzanding in de verschillende proefgebieden is veranderd, en hoe dit zich verhoud tot de suppletiegeschiedenis. Er werd ook al enige aandacht besteed aan de overstuivingsgradiënt, en de wijze waarop het binnenkomende zand in de zeereep werd afgezet. In dit hoofdstuk wordt dit verder uitgewerkt aan de hand van detailstudies naar de ontwikkeling van dynamiek binnen de proefgebieden. De ontwikkeling van de dynamiek is van belang voor de uiteindelijke verspreiding van zand binnen het gebied, een eventuele verandering in de abiotische randvoorwaarden voor de ecologische ontwikkeling, en uiteindelijk de effecten van het geheel op de ecologie. Uiteindelijk is het doel om in een volgende fase een koppeling te kunnen maken tussen dynamiek enerzijds en kwaliteit en kwantiteit van habitattypen anderzijds.

Voor alle locaties is een kartering gemaakt van dynamische structuren in 1996 en 2007 en zichtbare beheersinspanningen (voor sommige locaties zijn andere jaren gebruikt, omdat voor 1996 geen opname beschikbaar is; voor de legenda zie 3.3.3). Op basis van de karteringen is voor beide tijdstippen het aantal en oppervlak van dynamische structuren bepaald. Dit geeft een kwantitatief inzicht in de mate van verandering. De karteringen voor de studielocaties zijn weergegeven in Bijlage 3. Combinatie met de hoogteveranderingen die met behulp van de laseraltimetriegegevens zijn vastgesteld (en weergegeven in Bijlage 4) levert vervolgens inzicht in de aard en kwantiteit van dynamiek voor de studielocaties. Op grond hiervan is een indeling gemaakt in responstypen (zie Hoofdstuk 7). Per locaties wordt een kwalitatieve beoordeling gegeven van de ontwikkeling van oppervlak en kwaliteit van de relevante habitattypen embryonale duinen, witte duinen, grijze duinen en natte duinvalleien. De beoordeling van embryonale duinen en witte duinen is op grond van wat zichtbaar is in de luchtfoto’s. De beoordeling van grijze duinen en duinvalleien is speculatief, en gericht op de potenties voor eventuele uitbreiding of afname van het areaal en kwaliteit.

7.1 Ameland oost (RSP 17.00-20.00)

Tussen 17 en 18 is de kam van de zeereep grilliger dan ten oosten daarvan. De aanzetten voor kleine kerven zijn ook in 1996 al aanwezig, en hangen dus niet samen met het afnemen van het onderhoud, maar waarschijnlijk met eerdere afslag. Tot circa 18.4 is het profiel rond 1990 flink terug gezet, en daarna aangroeiend, met aanstuiving aan voorzijde, top en achterzijde. Vanaf 19.2 is er eigenlijk voortdurend sprake van uitbouw en aangroei, met vooral overstuiving aan de voorzijde. Langs het gehele gebied is de zeereep hoger geworden. Voor de hele zeereep liggen in 1996 nog stuifschermen. De patronen hiervan zijn tot vandaag terug te vinden in de vegetatie. Er is een opvallend verschil in overstuiving achter het zeereepfront. In 1996 is dit het sterkste tussen 17 en 18, in 2003 tussen 17.8 en 18.4 en van 2005 t/m 2007 tussen 18 en 19.4. Het overstuivingspatroon is tussen 17 en 18 iets grilliger, vanaf 18 duidelijk beperkt tot de top van de zeereep en tussen 19.2 en 20.4 bovendien in een embryonale zone aan de voorzijde. Deze zone is niet meer bepaald door de voormalige stuifschermen, dus betreft echte, natuurlijke aangroei. De oude zeereep vertoont hier een flauwe bocht, die door

deze aangroei rechtgetrokken wordt. Dit is blijkbaar een al langer durend proces, want terwijl de zeereep ten westen van 18 en ten oosten van 20.6 oude structuren afsnijdt, is er in het tussen gelegen stuk sprake van invulling in een serie van rijtje, vermoedelijk in vroegere tijden wel geholpen met stuifschermen.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs	2	5.75	3	0.09
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R				
	Totaal	***2***	***5.75***	***3***	***0.09***
Embryonale duinen	E			9	3.6
Kerf (erosief)	K	2	0.03	12	0.19
Stuifkuil	S				
Kale plek	Z	13	0.45	8	0.64
	Totaal	***15***	***0.48***	***29***	***4.43***
Erosieve structuren per km		*5.0*	*0.16*	*6.7*	*0.28*

Het oppervlak met dynamische structuren is in 2007 vertienvoudigd ten opzichte van 1996. Het betreft hier vooral de vorming van embryonale duinen. De ontwikkeling van erosieve structuren is beperkt. Doorstuiving achter de zeereep is hier vooral het gevolg van doorstuiving van vers, binnenkomend zand, er is niet of nauwelijks sprake van secundaire verstuiving.

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): geen toename oppervlak, mogelijk beperkte toename kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): geen toename oppervlak en kwaliteit

7.2 Ameland west (RSP 3.00-5.00)

De voorzijde van de zeereep wordt vanaf 1996, als er nog stuifschermen staan, geleidelijk aan steeds natuurlijker, met een meer natuurlijk reliëf, o.a. door de vorming van embryoduinen voor de voormalige duinvoet (niet gebonden aan eerdere stuifschermen) en een toename van de dynamiek. Er ontwikkelen zich geen stuikuilen, alleen kleinschalig tussen 3.4 en 3.6. De overstuiving van de zeereep lijkt niet wezenlijk te veranderen. In een deel van de vegetatiepatronen is nog wel het voormalige patroon van stuifschermen te herkennen. De zeereep vangt verreweg het meeste zand in. Er is wel sprake van een geringe accumulatie achter de zeereep, maar dat is in vergelijking tot de accumulatie op de zeereep verwaarloosbaar.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs	3	0.57	3	0.09
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R				
	Totaal	***3***	***0.57***	***3***	***0.09***
Embryonale duinen	E	3	0.51	9	3.6
Kerf (erosief)	K	2	0.66	12	0.19
Stuifkuil	S				
Kale plek	Z	1	0.01	8	0.64
	Totaal	***6***	***1.18***	***29***	***4.43***
Erosieve structuren per km		*1.5*	*0.34*	*10.0*	*0.42*

Het oppervlak met dynamische structuren is in 2007 sterk vergroot ten opzichte van 1996, met name door de vorming van embryonale duinen. De ontwikkeling van erosieve structuren is beperkt, van dezelfde orde als voor Ameland oost. Doorstuiving achter de zeereep is ook hier vooral het gevolg van doorstuiving van vers, binnenkomend zand, er is niet of nauwelijks sprake van secundaire verstuiving.

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): geen toename oppervlak, mogelijk beperkte toename kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): geen toename oppervlak en kwaliteit

7.3 Terschelling midden (RSP 15.00-20.00)

De morfologische ontwikkeling is zeer divers, en afhankelijk van het volume dat al in de zeereep aanwezig was. De zeereep is als beheersmaatregel langdurig "geretireerd", dat wil zeggen gecontroleerd teruggetrokken m.b.v. de wind om het zeewaartse profiel te laten verflauwen, door de zeereep kaal te houden. In 1997 is dit omgezet naar een grootschalig verstuivingsexperiment, met als doel de zeereep landschappelijk in te passen. Hiervoor is regelmatig aan de voorzijde helm verwijderd, tot circa 2003. Op veel plaatsen is de zeereep nu in zijn totaliteit naar achteren verplaatst. In ongeveer de helft van het gebied is op de plaats van de voormalige duinvoet een nieuw duinenrijtje ontstaan. Dit is echter nog niet gesloten. Er zijn ook plaatsen waar de zeereep door verstuiving steeds lager is geworden, en er doorblazingsgaten richting achterliggende valleien zijn ontstaan. Het stuifzand wordt niet in een hoger massief achter de zeereep ingevangen, en kan zich over een groot oppervlak verspreiden, waardoor plaatselijk laagten in de zeereep ontstaan. Op verschillende plaatsen is de overstuiving aan de achterzijde wel geconcentreerd en extreem, waardoor loopduinen zouden kunnen ontstaan, die zich vervolgens los zouden kunnen gaan maken en dan los van de zeereep richting het oosten zouden draaien. Dit proces is al door van Dieren beschreven (1934). De plek waar dit het duidelijkst het geval was, was tussen 17.2 en 17.4. Helaas lag hier de Badweg in de looprichting van het ontstane duin, en moest dit weer gestabiliseerd worden.

De kartering van dit gebied is iets anders dan voor de andere gebieden. Er is van 1996 geen luchtfoto beschikbaar, de oudste opname voor dit onderzoek dateert van 2000.

Behalve een kartering van de dynamiek is ook voor verschillende jaren de overstuivingsgrens in kaart gebracht (Bijlage 3), waaruit duidelijk blijkt dat deze zich nog steeds landwaarts verplaatst.

		2000		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs			11	8.24
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R				
	Totaal			***11***	***8.24***
Embryonale duinen	E			29	12.43
Kerf (erosief)	K			1	0.13
Stuifkuil	S			3	0.57
Kale plek	Z			33	36.15
	Totaal			***66***	***49.28***
Erosieve structuren per km				*7.4*	*7.37*

Het oppervlak aan dynamische structuren is enorm, en is niet te vergelijken met de andere gebieden. Omdat hier een aantal jaren actief is ingegrepen is een directe vergelijking sowieso niet mogelijk, maar de ontwikkeling geeft wel een goede indruk van het effect van winderosie als geen vegetatie aanwezig is, en van de snelheid van stabilisatie als het actief verwijderen van helm stopt.

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): potenties voor toename oppervlak en kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): mogelijk op termijn toename oppervlak door uitstuiving tot op het grondwater; mogelijk enige toename kwaliteit door instuiving met vers zand

7.4 Terschelling west (RSP 2.00 – 6.00)

Dit deel van Terschelling kent een van de meest dynamische, autonome ontwikkelingen die langs de kust te vinden zijn. De dynamiek is groot, omdat er een enorme hoeveelheid zand binnenkomt, maar ook omdat er een enorme ontwikkeling van erosieve structuren is, variërend van grote kerven, overgaand in parabolen, tot kleine stuifkuilen. Daarnaast ontstaan op grote schaal embryonale duinen. De verstuiving is een combinatie van primaire en secundaire verstuiving. Het achterliggende duin wordt zowel met vers strandzand overstoven, als met ouder zand dat uit de zeereep afkomstig is.

Er is wel enige sprake van menselijke beïnvloeding aan de zuidkant van het gebied. Tot circa 1990 werd het deel ten zuiden van RSP 3 af en toe vlak geschoven, in verband met militaire oefeningen. Een deel van de dynamiek aan de zuidkant is hier nog aan toe te schrijven.

		2003		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs				
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R				
	Totaal	***0***	***0***	***0***	***0***
Embryonale duinen	E	39	7.09	63	7.42
Kerf (erosief)	K	30	2.09	42	4.41
Stuifkuil	S	11	0.84	9	1.04
Kale plek	Z	73	3.14	48	2.61
	Totaal	***153***	***13.16***	***162***	***15.48***
Erosieve structuren per km		*28.5*	*1.52*	*24.8*	*2.02*

Qua aantallen is de situatie in 2007 vergelijkbaar met andere opvallende locaties, zoals Groote Keeten en Bergen-Egmond, qua oppervlak is het echter een orde groter. Overigens blijkt er in aantal erosieve structuren in 2007 sprake van een afname ten opzichte van 2003, in oppervlak echter een toename.

Voor meer details over de ontwikkeling van dit gebied wordt verwezen naar Arens, 2009a.

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): potenties voor toename oppervlak en kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): mogelijk op termijn toename oppervlak door uitstuiving tot op het grondwater; mogelijk enige toename kwaliteit door instuiving met vers zand

7.5 Texel noord (RSP 18.00-24.00)

Dit is één van de gebieden waar een overduidelijke trendbreuk in de volumeontwikkeling het duidelijkst te koppelen lijkt aan de suppletiegeschiedenis. Het resultaat uit zich in een egale aanstuiving, vooral aan voorzijde zeereep. Er zijn geen duidelijke veranderingen in morfologie, er ontstaan nauwelijks erosieve verschijnselen, maar wel embryonale duinen (2005, 2006, 2007). Tussen 23.4 en 24 ontwikkelt zich rond 2003 een embryonaal duinenveld dat in 2007 alweer helemaal opgeruimd is. Tussen 21.11 en 21.71 liggen heel veel kleine kerfjes, eigenlijk te klein om te karteren (ze zijn ook niet allemaal gekarteerd, alleen de meest opvallende).

In dit gebied speelt recreatie een belangrijke rol. Langs een groot deel van de zeereep staan in de zomer strandhuisjes, achter de zeereep ligt veel recreatieve infrastructuur. De hoeveelheid stuifschermen is in 2007 sterk afgenomen.

Opvallend van Texel is het veelvuldig voorkomen van zandige oppervlakken. Bij een eerder onderzoek naar dynamisch kustbeheer op Texel bleek dat een groot deel van de zeereep op Texel begroeid is met Noordse Helm, en dit minder bestand is tegen overstuiving (Arens et al., 2003), waardoor dit soort vlakken ontstaan.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs	7	11.19	8	0.5
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R	4	0.39	7	1.23
	Totaal	***11***	***11.58***	***15***	***1.73***
Embryonale duinen	E			22	2.87
Kerf (erosief)	K			25	0.04
Stuifkuil	S				
Kale plek	Z	23	0.53	54	1.57
	Totaal	***23***	***0.53***	***101***	***4.48***
Erosieve structuren per km		*3.8*	*0.09*	*13.2*	*0.27*

Implicaties voor:

- Embryonale duinen (2110): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): weinig of geen effect
- Natte duinvalleien (2190): weinig of geen effect

7.6 Texel midden (RSP 11.00-15.00)

In dit gebied ontwikkelen zich iets meer erosieve structuren dan in het noordelijker gelegen proefgebied. Vooral het oppervlak aan kerven is groter. Ook hier echter overheerst de overstuiving en de vorming van embryonale duinen. De overstuiving werkt verder landwaarts door, waardoor het effect landwaarts groter zal zijn dan in het noorden. De hoeveelheid stuifschermen is sterk afgenomen. In dit gebied is tussen 1998 en 2003 een experiment met dynamisch zeereepbeheer uitgevoerd, waarbij een zone van 800m tussen 13.62 en 14.40 niet meer werd beheerd, terwijl de rest werd beheerd met het zetten van stuifschermen aan de voorzijde van de zeereep. Na 2003 is ook in de rest van het gebied het beheer gestaakt. De verschillen die in de periode 1998-2003 zijn ontstaan, zijn nog steeds deels zichtbaar, en uiten zich vooral in een grilliger zeereep en een verder doorstuiving en ook grilliger verloop van de overstuivingsgrens aan de achterzijde.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs	6	6.7	7	0.55
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R			2	0.56
	Totaal	***6***	***6.7***	***9***	***1.11***
Embryonale duinen	E			28	3.19
Kerf (erosief)	K			22	0.21
Stuifkuil	S			1	0.04
Kale plek	Z	40	0.66	66	0.7
	Totaal	***40***	***0.66***	***117***	***4.14***
Erosieve structuren per km		*10.0*	*0.17*	*22.3*	*0.24*

Voor meer detailinformatie over de ontwikkeling in dit gebied wordt verwezen naar Arens et al., 2003.

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): mogelijk beperkt effect op toename kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): weinig of geen effect?

7.7 Groote Keeten (RSP 8.00-11.00)

De zeereep bij Groote Keeten is één van de weinig autonoom aanstuivende zeerepen langs de Hollandse kust met substantiële aangroei. Tegelijkertijd zijn op verschillende plaatsen kerven en stuifkuilen ontstaan. Er is sprake van een paraboliserende zeereep. De zeereep bouwt al vanaf de jaren 1950 uit. Desondanks is vanwege de ontwikkeling van enkele diepe kerven een veiligheidsprobleem ontstaan, zodat in 2003 een kleine vooroeversuppletie is uitgevoerd, en in 2008 beheersmaatregelen in de zeereep zelf zijn verricht (dichtschuiven en inplanten van de grootste kerf, plaatsen van stuifschermen in een aantal kleinere kerven). De combinatie van aangroei en kerfontwikkeling is zeldzaam. De situatie is enigszins vergelijkbaar met Terschelling west, waar de dynamiek echter groter is.

Tussen 8.12 en 8.27 zijn in 2005-2006 werkzaamheden uitgevoerd voor de aanleg van een kabel, waarbij een deel van de zeereep is vergraven.

De verschilkaart (Bijlage 4) toont dat verreweg het grootste deel van de zeereep in hoogte toeneemt (over de periode 1997-2008). Dat betekent dat ook in een deel van de gekarteerde stuifkuilen en kerven (Bijlage 3) de hoogte netto toeneemt, en depositie hier overheerst over erosie. Stuifkuilen en kerven duiden dus niet per se op een netto erosie. Van de in totaal 43 gekarteerde stuifkuilen en kerven zijn er 19 netto erosief.

Dynamische structuren zijn tussen 1996 niet zozeer in aantal maar wel in oppervlak toegenomen. Zowel kerven, als stuifkuilen, als zandige plekken zijn fors vergroot. In 1996 werd er nog volop met stuifschermen ingevangen, in 2007 is dit vrijwel niet meer van toepassing (overigens is in 2008 weer het een en ander aan stuifschermen geplaatst). Het oppervlak met stuifschermen neemt af van 1.4ha in 1996 tot 0.2ha in 2007.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs	5	1.42	2	0.21
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R				
	Totaal	***5***	***1.42***	***2***	***0.21***
Embryonale duinen	E	21	3.27	20	5.6
Kerf (erosief)	K	25	0.83	31	1.81
Stuifkuil	S	4	0.11	12	0.37
Kale plek	Z	49	0.78	36	1.05
	Totaal	***99***	***4.99***	***99***	***8.83***
Erosieve structuren per km		*26*	*0.57*	*26.3*	*1.08*

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): potenties voor uitbreiding en toename kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): potenties voor uitbreiding door uitstuiving tot op het grondwater

7.8 Schoorl (RSP 28.00-31.50)

De zeereep bij Schoorl verhoogt op de meeste plaatsen, met hier en daar ook flinke doorstuiving tot aan de achterzijde. Meest opvallende gebeurtenis is het doorgraven van de zeereep in december 1997. De duinvoet ter plaatse is daardoor naar binnen verplaatst. Op een aantal plekken ontstaan kleine kerven en aan de uiterste noordkant ontwikkelt al langere tijd een flinke stuifkuil, in een overigens vrij stabiele zeereep. De kleine kerfjes tussen km31-32 zijn vanuit embryonale duinen ontstaan. In de gegraven kerf zijn embryonale duinen ontstaan waardoor de opening geleidelijk aan steeds kleiner wordt.

In dit gebied zijn de aanwezige stuifkuilen en kerven wel overwegend erosief.

Het gebied is intensief gemonitord tussen 1998 en 2003 (Vertegaal et al., 2003) op zowel abiotische als biotische aspecten.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs	6	1.95		
Aanplant	Ba	1	0.26		
Profilering	Bp				
Recreatie	R	4	0.39	4	0.27
	Totaal	***11***	***2.60***	***4***	***0.27***
Embryonale duinen	E	6	0.51	13	1.39
Kerf (erosief)	K	3	0.24	7	0.73
Stuifkuil	S			6	0.14
Kale plek	Z	15	0.43	35	1.73
	Totaal	***24***	***1.18***	***61***	***3.99***
Erosieve structuren per km Per km		*5.1*	*0.19*	*13.7*	*0.74*

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): potenties voor uitbreiding en toename kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): tegengaan verzuring, uitbreiding door uitstuiving tot op het grondwater bij “de kerf”

7.9 Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00)

In de zeereep tussen Bergen en Egmond zijn in betrekkelijk korte tijd veel stuifkuilen en kleine kerven ontstaan. Ze ontstaan allemaal in de kruin, sommige aan de bovenkant van een afslagklif, andere in de top van een meer stabiele zeereep. In 1996 zijn de meeste

kuilen in aanzet reeds aanwezig, maar worden ze nog beheerd (dat wil zeggen uitstuiven wordt belemmerd of beperkt). In de periode 1997-2008 varieert de maximale uitstuiving van 5-10m. Dat laatste komt neer op bijna 1m per jaar! Enigszins afhankelijk van de definitie liggen er tussen km34 en 37 in totaal 29 kuilen / kuilachtige vormen. De vormen ontwikkelen zich tot nu toe allemaal als kuilen, d.w.z. er is nog nergens sprake van parabolisering. Ook de diepste kuilen liggen nog ruim boven het grond water, de deflatiebasis is nergens binnen bereik. Ook in het binnenduin is de dynamiek veel groter dan elders. Blijkbaar zorgt de kalkgrens (wel kalkhoudend zand, maar weinig nutriënten?) hier voor een bijzondere situatie waarbij de bedekking van de bodem door vegetatie (of biomassa ophoping) minder is dan elders. De combinatie van een hoge zeereep en een grote hoeveelheid stuifkuilen zorgt er echter waarschijnlijk ook voor dat hier de doorstuiving naar de achter de zeereep liggende duinen groter is dan elders. Vrijwel alle stuifkuilen en kerven zijn netto erosief.

De dichtheid van dynamische structuren in aantal en in oppervlak is vergelijkbaar met Groote Keeten. Uitgerekend per km is dit ook gelijk. Ook in dit studiegebied is het oppervlak sterk toegenomen tussen 1996 en 2007. Hier heeft echter een duidelijke verschuiving plaatsgevonden van zandige plekken (in 1996 nog beheerd, vaak vlakgeschoven stuifkuilen, mogelijk ook ingeplant) naar stuifkuilen en kerven. Stuifkuilen zijn verreweg de meest voorkomende structuren. Alle kerven die in 2007 aanwezig zijn, zijn in de tussenliggende periode ontstaan, in 1996 waren er nog geen kerven.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs	4	0.93	1	0.14
Aanplant	Ba	1	0.07		
Profilering	Bp				
Recreatie	R	3	2.0	3	0.84
	Totaal	***8***	***3.0***	***4***	***0.98***
Embryonale duinen	E			2	0.71
Kerf (erosief)	K			12	1.00
Stuifkuil	S	34	0.82	76	2.32
Kale plek	Z	48	1.74	2	0.19
	Totaal	***82***	***2.56***	***90***	***3.51***
Erosieve structuren per km		*27.3*	*0.85*	*30.0*	*1.17*

Door een toename van overstuiving, doorstuiving en de vorming van dynamische structuren zijn oppervlak en kwaliteit van Witte Duinen in dit gebied sterk toegenomen zijn. Waarschijnlijk is er ook een effect op de kwaliteit van de achter de zeereep liggende Grijze Duinen.

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): beperkte toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): potenties voor uitbreiding en sterke toename kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): potenties voor uitbreiding door uitstuiving tot op het grondwater

7.10 Ten zuiden van Castricum (RSP 45.00-48.50)

In dit studiegebied zijn slechts enkele stuifkuilen ontstaan. Het meest in het oog springend is de ontwikkeling van een grote, paraboliserende kerf. De dynamiek in deze

kerf is extreem. In 1996 is de kerf al aanwezig, maar dan nog als stuifkuil in de helling (moeilijk te zien vanwege matige kwaliteit luchtfoto). 500m naar het noorden is een nieuwe kerf in ontwikkeling, die al in 2000 als klein stuifkuiltje in de helling aanwezig was. De kerven ontwikkelen zich in een zone met afslag. De duinvoet is 8-18m teruggeweken. Een deel van de erosie aan de achterkant van de zeereep die op de verschilkaart wordt weergegeven (Bijlage 4) is geen werkelijk erosie, maar hangt samen met het aanwezige struweel dat in de recente laseropname blijkbaar beter gefilterd is. Aan de noordkant, tussen 35.250 en 46.500, ontstaan nieuwe duinen voor de zeereep.

De uitbreiding voor de zeereep betekent een toename van Embryonale Duinen. Door de grotere overstuiving en plaatselijke ontwikkeling van dynamische structuren zijn kwaliteit en kwantiteit van de Witte Duinen toegenomen en mogelijk is er ook een positief effect op de achter de zeereep liggende Grijze duinen.

		2000		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs				
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R	2	0.43	2	0.71
	Totaal	***2***	***0.43***	***2***	***0.71***
Embryonale duinen	E	8	0.51	5	1.36
Kerf (erosief)	K	2	0.02	2	0.34
Stuifkuil	S	3	0.07	8	0.22
Kale plek	Z	7	0.09	19	0.32
	Totaal	***20***	***0.69***	***34***	***2.24***
Erosieve structuren per km		*4.0*	*0.06*	*9.7*	*0.29*

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): potenties voor uitbreiding en toename kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): potenties voor uitbreiding door uitstuiving tot op het grondwater

7.11 Heemskerk (RSP 48.50-51.00)

Dit gebied wordt gekenmerkt door een aansprekende kerfontwikkeling op een aantal plaatsen. Waarschijnlijk wordt dit gestuurd door een lichte afslag. Er zijn 12 kerven/stuifkuilen ontstaan en één grote kerf. In de grote kerf zorgt winderosie voor een flinke verlaging van de kerfmond. In het gebied is in 1996/1997 een strandsuppletie uitgevoerd tussen 49.65 en 51.00. Vooral hier zijn stuifkuilen tot ontwikkeling gekomen. Rondom de kerf is de dynamiek veel groter dan gemiddeld. Een deel van de depositiezone blijft kaal. Blijkbaar is de dynamiek hier zo groot dat ook Helm hier geen kans heeft om zich blijvend te vestigen.

Op de luchtfoto lijkt er in 1996 sprake van een duinverzwaring bij 49.00. Hier zijn echter geen gegevens van bekend. In dit gebied zijn door HHNK proeven uitgevoerd (Rienk Slings, pers. commun.).

Door de toename van de dynamiek zijn oppervlak en kwaliteit van de Witte Duinen toegenomen. De toegenomen doorstuiving over de zeereep kan ook een positief effect

hebben op de achterliggende Grijze Duinen. Er is een zeer beperkt effect op Embryonale Duinen, die hier vrijwel niet voorkomen.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs	2	1.05		
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp	2	1.55		
Recreatie	R	4	1.19	6	0.42
	Totaal	***8***	***3.79***	***6***	***0.42***
Embryonale duinen	E			1	0.1
Kerf (erosief)	K	2	0.05	15	1.66
Stuifkuil	S	14	0.47	23	0.44
Kale plek	Z	10	0.11	18	0.29
	Totaal	***26***	***0.63***	***57***	***2.49***
Erosieve structuren per km		8.7	0.21	18.7	0.80

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): beperkte toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): potenties voor uitbreiding en toename kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): potenties voor uitbreiding door uitstuiving tot op het grondwater

7.12 Langeveld (RSP 74.50-76.50)

Dit gebied kent een monotone ontwikkeling met flinke aanstuiving rond de duinvoet. Er is geen sprake van doorstuiving. Ook ontstaan er geen dynamische structuren. De effecten van aanstuiving op habitats is lokaal: in de aanstuivingszone zijn Embryonale en Witte Duinen in kwantiteit en kwaliteit uitgebreid. Landwaarts daarvan is er geen effect te verwachten.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs				
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R	2	0.17	2	0.11
	Totaal	***2***	***0.17***	***2***	***0.11***
Embryonale duinen	E	5	0.27	12	2.04
Kerf (erosief)	K				
Stuifkuil	S				
Kale plek	Z			4	0.04
	Totaal	***5***	***0.27***	***16***	***2.08***
Erosieve structuren per km		*0*	*0*	*2.0*	*0.02*

Het oppervlak aan embryonale duinen is aanzienlijk toegenomen, verder zijn er vrijwel geen veranderingen.

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): mogelijke beperking oppervlak en kwaliteit door stagneren dynamiek
- Natte duinvalleien (2190): geen

7.13 Coepelduynen (RSP 83-86)

Van dit gebied zijn zowel zeereep als achterliggende duinen gekarteerd. De dynamiek is hier zeer afwijkend. De zeereepdynamiek is vergelijkbaar met Langeveld en Wassenaar. De zeereep stuift aan, maar het grootste deel van de activiteit speelt zich af aan de voorkant, met de ontwikkeling van embryonale duinen, zonder dat er dynamische structuren in de zeereep ontstaan. Overigens was ook in 1996 het oppervlak aan embryonale duinen als substantieel. In de achterliggende duinen is er sprake van een enorme stuifkuilontwikkeling. De activiteit van stuifkuilen is hier altijd al groot geweest, maar is de afgelopen jaren sterk toegenomen, blijkbaar onafhankelijk van zeereepprocessen. In 1996 werd een groot deel van de stuifkuildynamiek nog onderdrukt door middel van aanplant. Ook nu worden nog oppervlakken dicht geplant, maar vooral op de zeereep.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs				
Aanplant	Ba	18	1.19	20	0.46
Profilering	Bp				
Recreatie	R	1	0.32	7	0.42
	Totaal	***19***	***1.51***	***27***	***0.88***
Embryonale duinen	E	4	2.01	14	2.53
Kerf (erosief)	K				
Stuifkuil	S	14	0.4	111	4.94
Kale plek	Z	36	1.4	117	2.68
	Totaal	***54***	***3.81***	***242***	***10.15***
Erosieve structuren per km		16.7	0.60	76.0	2.54

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): ontwikkelt zich in dit gebied onafhankelijk van de zeereep; grote potenties voor toename oppervlak en kwaliteit door ontwikkeling in binnenduin
- Natte duinvalleien (2190): ontwikkelt zich in dit gebied onafhankelijk van de zeereep; grote potenties voor toename oppervlak en kwaliteit in binnenduin door uitstuiving tot op het grondwater

7.14 Wassenaar (RSP 92.00-96.00)

In dit gebied zijn nieuwe duinen vóór de oude zeereep ontstaan. Er is geen sprake van verdere doorstuiving over de zeereep, met uitzondering van een locatie bij 96.00 waar een stuifkuil is ontstaan. In de zeereep ontwikkelt één stuifkuil die door de nieuwe

duinenrij steeds verder van zee komt te liggen. Deze kuil wordt al langere tijd gemonitord. Op grond van deze monitoring weten we dat de overstuiving vanuit de stuifkuil een veel groter oppervlak moet beïnvloeden dan op grond van veldgegevens lijkt (Arens, 2008). Door de uitbreiding van duinen is er sprake van een substantiële uitbreiding van Embryonale Duinen en Witte Duinen aan de voorzijde van de zeereep. Op de hogere delen van de zeereep zal er nauwelijks of geen effect zijn op kwantiteit en kwaliteit van Witte Duinen, of op de erachter liggende Grijze Duinen.

		2000		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs				
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R	1	0.09		
	Totaal	***1***	***0.09***	***0***	***0***
Embryonale duinen	E	26	3.8	16	5.09
Kerf (erosief)	K				
Stuifkuil	S	2	0.09	1	0.08
Kale plek	Z				
	Totaal	***28***	***3.89***	***17***	***5.17***
Erosieve structuren per km		*0.5*	*0.02*	*0.3*	*0.02*

Het oppervlak aan embryonale duinen is in 2007 toegenomen, maar was ook in 2000 al aanzienlijk.

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): mogelijke beperking oppervlak en kwaliteit door stagneren dynamiek
- Natte duinvalleien (2190): geen

7.15 Voorne (RSP 11.00-15.00)

In de zeereep bij Voorne spelen vergelijkbare processen als in Rijnland: vooral aanstuiving en embryonale duinontwikkeling, geen verdere dynamiek. In 1996 was er al een aanzienlijk oppervlak aan embryonale duinen, dat in 2007 meer dan verdubbeld is. Van kale zandoppervlakken die in 1996 aanwezig waren (mogelijk samenhangend met recreatie) is in 2007 niets meer over.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs				
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R	4	0.34	2	1.49
	Totaal	***4***	***0.34***	***2***	***1.49***
Embryonale duinen	E	10	2.22	8	5.41
Kerf (erosief)	K				
Stuifkuil	S				
Kale plek	Z	4	0.08		
	Totaal	***14***	***2.3***	***8***	***5.41***
Erosieve structuren per km		*1.0*	*0.02*	*0*	*0*

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): mogelijke beperking oppervlak en kwaliteit door stagneren dynamiek
- Natte duinvalleien (2190): geen

7.16 Goeree (RSP 14.00-17.00)

In het proefgebied op Goeree worden nog steeds stuifschermen toegepast, maar minder intensief dan in 1996. In vergelijking tot 1996 is er een enorme ontwikkeling van embryonale duinen geweest, een deel hiervan is zeker gestimuleerd door stuifschermen, maar ook door strandsuppleties (de recentste in 2005, tussen 15.5 en 17.5). Ook ontstaan hier en daar kleinschalige erosieve vormen.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs	5	2.82	2	0.64
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R				
	Totaal	***5***	***2.82***	***2***	***0.64***
Embryonale duinen	E			12	4.02
Kerf (erosief)	K	2	0.02	5	0.19
Stuifkuil	S			1	0.03
Kale plek	Z	8	0.2	26	0.81
	Totaal	***10***	***0.22***	***44***	***5.05***
Erosieve structuren per km		*2.5*	*0.06*	*8.0*	*0.26*

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): beperkte mogelijkheden voor uitbreiding en toename kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): geen

7.17 Schouwen (10.00-15.00)

Voor de morfologische ontwikkeling is het gebied in drie delen te delen.
Tussen km10-11.84/12.88 is sprake van aangroei. De zone met aangroei breidt uit, aanvankelijk tot 11.84, later tot 12.88 (tot 1990 gaat het tussen 12.08 en 12.88 achteruit). In 1996 staan er nog veel stuifschermen, in 2007 is de zeereep veel natuurlijke met veel overstuiving. Hier en daar worden embryonale duinen gevormd en ontstaan gedeeltelijk afgesnoerde strandvlaktes. De basis hiervan is waarschijnlijk wel kustverdedigingswerk. In 2000 is op de luchtfoto´s een zone voor de toenmalige zeereep waar stuifschermen lijken te staan. Deze strook breidt zich in de jaren daarna uit tot een soort embryonaal duinenveld. Er is veel overstuiving van de zeereep. Het gebied tussen km 11.04 – 12.08 kent een aangroeizone vóór een zeer hoge zeereep.

Tussen km12.88-15.48 is sprake van afslag met vooral tussen 13.95 en 16.48 een spectaculaire secundaire verstuiving, kerfontwikkeling, naar achter blazende zeereep, en flinke overstuiving van de landwaarts gelegen duinen.

Tussen km 15.48-16.08 is opnieuw sprake van aangroei met een veel minder dynamische zeereep.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs	10	11.77	1	0.09
Aanplant	Ba				
Profilering	Bp				
Recreatie	R				
	Totaal	***10***	***11.77***	***1***	***0.09***
Embryonale duinen	E	3	1.8	30	1.43
Kerf (erosief)	K			18	0.52
Stuifkuil	S	2	0.07	19	0.42
Kale plek	Z	46	1.01	67	2.46
	Totaal	***51***	***2.88***	***134***	***4.83***
Erosieve structuren per km		8.0	0.18	17.3	0.57

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): afname oppervlak door afslag
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): hoge potenties voor uitbreiding en toename kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): potenties voor uitbreiding door uitstuiving tot op het grondwater

7.18 Walcheren (8.00-12.00)

Het gebied is van 1996 tot 2007 veel natuurlijker geworden. In 1996 domineren nog vormen die samenhangen met intensieve stuifschermen en waarschijnlijk aanplant. De zeereep is nog veelal kunstmatig. Er is al langdurig sprake van aanstuiving, waardoor de zeereep hoger en breder wordt. De aanstuiving wordt waarschijnlijk grotendeels gestuurd door een grote hoeveelheid strandsuppleties. Het effect is dat de voorzijde van de zeereep natuurlijker wordt, en ervoor allerlei embryonale duinen ontstaan. Deze zien er natuurlijk uit. Het lijkt wel alsof een groot deel van de kopjesduinen op het strand met Helm begroeid zijn, en deze zijn daarom niet geclassificeerd als embryonale duinen. Deze strandduintjes zijn vaak open, waardoor niet volledig afgesnoerde strandvlaktes zijn

ontstaan. Achter de embryonale duinen ligt een zone met minder sterke dynamiek, maar nog wel open plekken, die qua aard eerder op grijze duinen dan op witte duinen lijken. Er zijn geen stuifkuilen of andere duidelijk erosieve vormen ontstaan. De enige winderosie zijn kleinschalige vormen tussen de strandduintjes. Al met al is de natuurlijkheid van de zeereep tussen 1996 en 2007 aanmerkelijk toegenomen.

De strandsuppleties zijn op de luchtfoto´s niet goed zichtbaar. Het is mogelijk dat een deel van de strandduintjes is ontstaan in aanplant die al op het strand is aangebracht. Door de veelvuldige strandsuppleties is het strand over de periode 1997-2009 positief. De laatste suppletie is overigens in 2008 op de vooroever aangebracht.

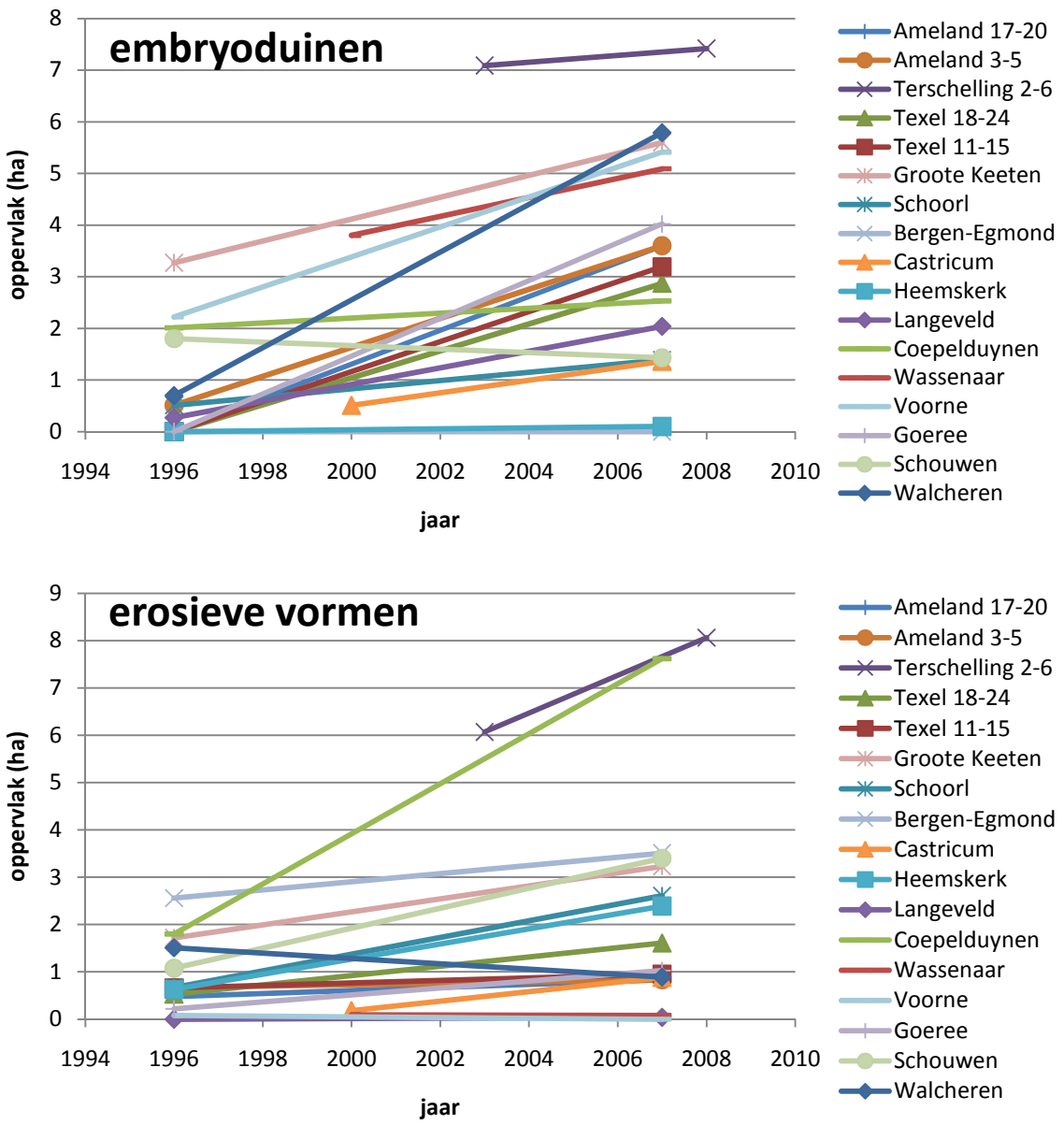
De zeereep tussen 10.25 – 9.65 is in 1984 uitgebreid met een duinverzwaring, in 1996 nog grotendeels ingepakt in stuifschermen.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak ha	aantal	oppervlak ha
Stuifschermen	Bs	11	5.58		
Aanplant	Ba			2	0.35
Profilering	Bp				
Recreatie	R	2	0.09	20	0.28
	Totaal	***13***	***5.67***	***22***	***0.63***
Embryonale duinen	E	4	0.7	25	5.79
Kerf (erosief)	K	1	0.06	1	0.06
Stuifkuil	S				
Kale plek	Z	35	1.45	14	0.83
	Totaal	***40***	***2.21***	***40***	***6.68***
Erosieve structuren per km		*9.0*	*0.38*	*3.8*	*0.22*

Implicaties voor:
- Embryonale duinen (2110): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Witte duinen (2120): sterke toename oppervlak en kwaliteit
- Grijze duinen (2130): potenties voor uitbreiding en toename kwaliteit
- Natte duinvalleien (2190): geen

7.19 Conclusies morfologische ontwikkeling zeereep

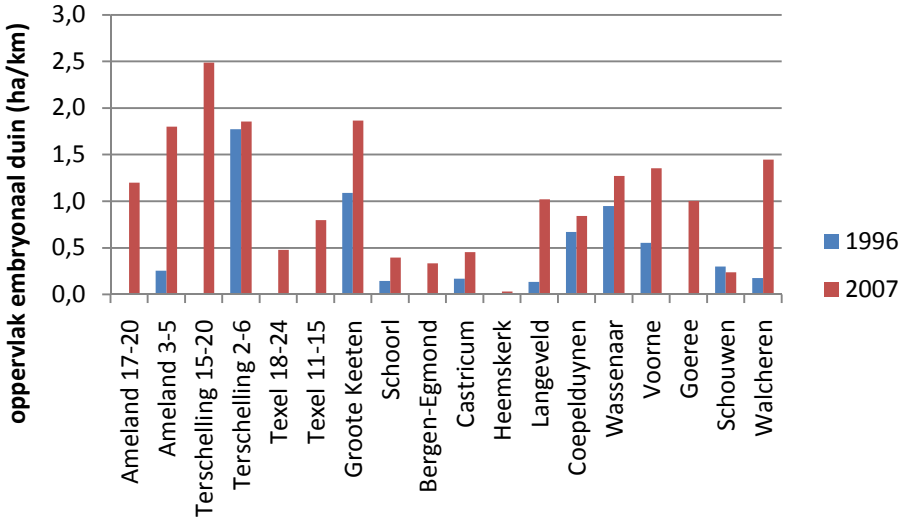
Voor vrijwel alle gebieden geldt dat dynamische vormen in de tweede opname (2007 voor de meeste gebieden, 2008 voor Terschelling west) aanmerkelijk in oppervlak zijn toegenomen in vergelijking tot de eerste opname (1996 voor de meeste gebieden, 2000 voor Terschelling midden, Castricum en Wassenaar, 2003 voor Terschelling west). Voor alle gebieden met uitzondering van Schouwen is het oppervlak embryonaal duin toegenomen. Alleen voor Voorne en Walcheren geldt een afname van dynamische, erosieve vormen. Voor Langeveld en Wassenaar is het oppervlak minimaal. Voor Coepelduynen is het oppervlak relatief groot omdat hier een groot deel van de binnenduinen mee is gekarteerd. Wanneer de dynamische structuren samen worden genomen geldt zonder uitzondering dat het oppervlak in alle proefgebieden aanmerkelijk is toegenomen.



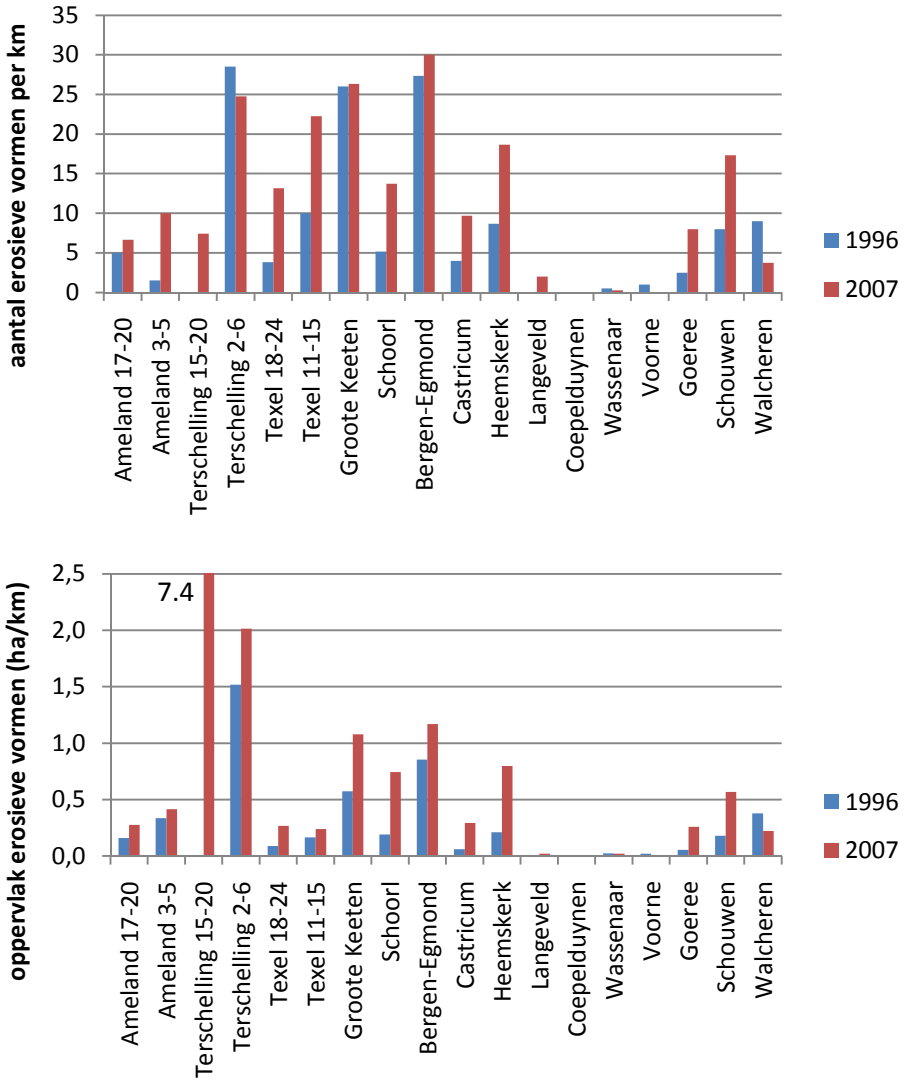
Figuur 7.1 Verandering in areaal van het totaal areaal aan embryonale duinen (boven) en erosieve vormen (beneden) per proefgebied. NB Terschelling midden buiten de range

Figuur 7.2 toont overtuigend aan hoe het oppervlak aan embryonaal duin tussen 1996 en 2007 is toegenomen. Nu zijn de oppervlakken uitgedrukt in ha per kilometer, zodat de gebieden onderling zijn te vergelijken. De grootste oppervlakken zijn te vinden op Ameland west, Terschelling en Groote Keeten, de kleinste langs de rest van de Noord-Hollandse kust en op Schouwen. De geringe oppervlakken bij Heemskerk en Schouwen hangen samen met de afslag daar. Voor de Hollandse kust is het grote areaal bij Groote Keeten een bijzonderheid. Er is geen verband met zandbudget (behalve dat het zandbudget positief moet zijn, in gebieden met afslag ontstaan geen embryonale duinen), wel blijkt dat de gebieden die weinig of niet gesuppleerd zijn de grootste oppervlakken aan embryonale duinen herbergen. Op zich is dit logisch, omdat in gebieden waar autonome aangroei overheerst embryonale duinen sterker ontwikkeld zullen zijn. Ook wanneer alleen de gesuppleerde gebieden worden beschouwd is er geen verband tussen zandbudget en oppervlak embryonale duinen per km kust.

Figuur 7.3 toont de verdeling van erosieve structuren, in aantallen (boven) en oppervlakte (onder). De gebieden met de grootste oppervlakken zijn Terschelling (met



Figuur 7.2 Oppervlak aan embryonaal duin per proefgebied in ha/km (NB Terschelling midden eerste opname niet bepaald, afwijkende jaren: 2003-2008 voor Terschelling west; eerste opname 2000 voor Castricum en Wassenaar)

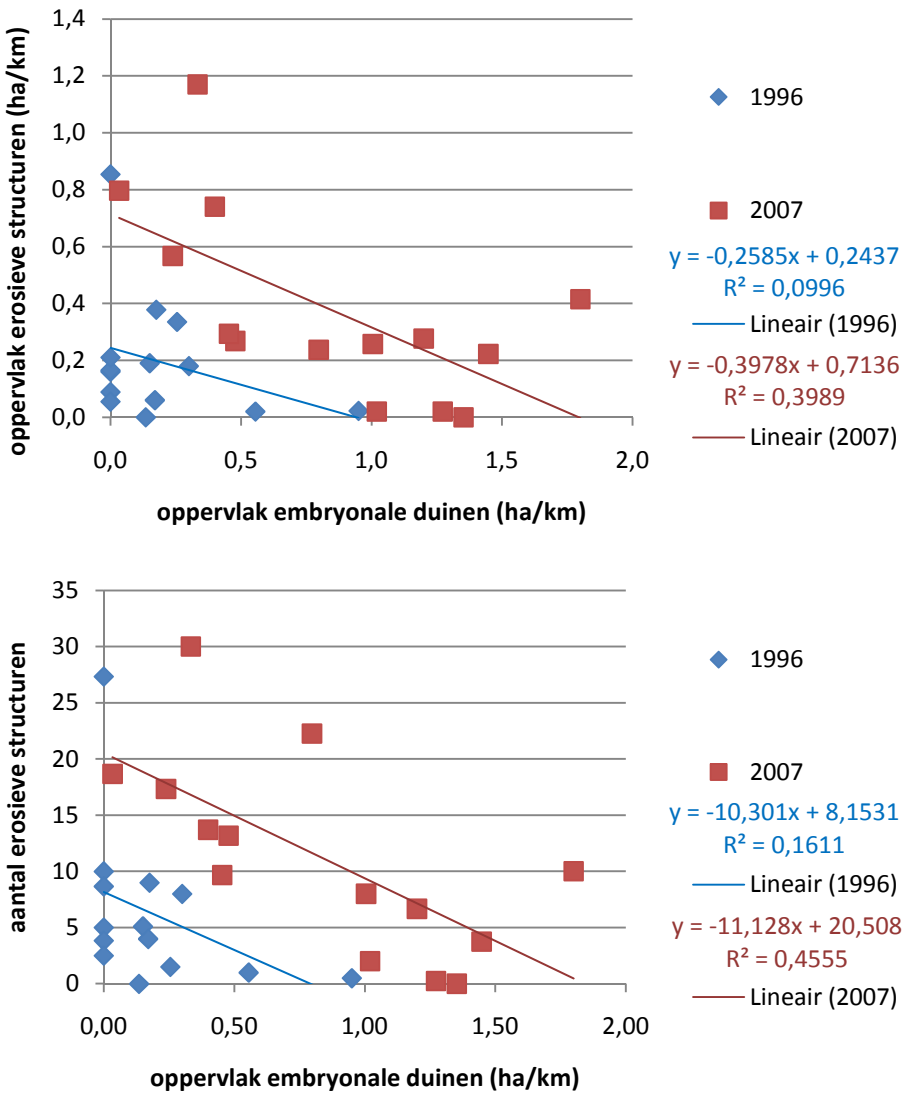


Figuur 7.3 Aantal en oppervlak van erosieve structuren per km per proefgebied. (NB Terschelling midden eerste opname niet bepaald, Coepelduynen niet weergegeven)

Terschelling midden als onbetwiste koploper), de Noord-Hollandse locaties en Schouwen. Terschelling en Groote Keeten zijn gebieden waar een groot oppervlak aan erosieve structuren samengaat met een groot oppervlak aan embryonale duinen én een grote aanstuiving. De Zuid-Hollandse proefgebieden, met uitzondering van Goeree, herbergen de kleinste oppervlakken aan erosieve structuren. NB Coepelduynen is niet weergegeven in de figuur omdat de erosieve vormen in dit gebied niet in de zeereep, maar in de achterliggende duinen liggen.

Texel midden, en in mindere mate Texel noord, herbergen een groot aantal aan erosieve vormen, maar slechts een beperkt oppervlak. Dit kan er op duiden dat hier de overgang naar een meer dynamische zeereep recentelijk op gang is gekomen.

Ook voor het voorkomen van erosieve vormen geldt dat er geen verband is met zandbudget. Weliswaar ontstaan in de gebieden met afslag veel erosieve structuren, maar a) zijn de gebieden met afslag niet tegelijk die met de laagste zandbudgetten (een achteruitgaande zeereep kan tegelijkertijd hoger worden en meer zand bevatten) en b) hebben de gebieden met de grootste oppervlakken juist een sterk positief budget. Het grote oppervlak op Terschelling hangt samen met ingrepen, en moet in dit opzicht buiten beschouwing worden gelaten.



Figuur 7.4 Correlatie tussen voorkomen van embryonale duinen en erosieve structuren

Wanneer het voorkomen van erosieve structuren gecorreleerd wordt met het oppervlak aan embryonale duinen, dan wordt geen duidelijk verband zichtbaar. Wanneer de proefgebieden met de grootste aanstuiving (Terschelling en Groote Keeten, tevens de grootste oppervlaktes embryonale duinen per km, zowel in de eerste als in de laatste opname) genegeerd worden in de grafiek, dan ontstaat er wel een zwak negatief verband (*Figuur 7.4*). De correlatie tussen aantal erosieve structuren en oppervlakte embryonale duinen is daarbij iets hoger dan tussen oppervlakte erosieve structuren en oppervlakte embryonale duinen, maar de correlatie is in beide gevallen zwak. Opvallend is overigens dat de correlatie in 2007 aanmerkelijk sterker is dan in 1996, wat er op zou kunnen wijzen dat de relatie pas echt op gaat als de zeereep zich vrij kan ontwikkelen, op zich logisch.In alle gebieden is sprake van een aanzienlijke input van zand. De manier waarop dit zand verspreid wordt is echter sterk verschillend. Samenvattend per gebied:

- Ameland-oost: embryonale duinvorming, ophoging, beperkte doorstuiving;
- Ameland-west: embryonale duinvorming, ophoging, beperkte doorstuiving;
- Terschelling-midden: sterke embryonale duinvorming, extreme overstuiving en winderosie, zeer sterke doorstuiving, lokaal loopduinontwikkeling
- Terschelling-west: sterke embryonale duinvorming, extreme overstuiving, stuifkuilvorming en parabolisering, sterke doorstuiving;
- Texel-noord: embryonale duinvorming, aanzanding en ophoging, beperkte doorstuiving;
- Texel-midden: embryonale duinvorming, aanzanding en ophoging, beperkte doorstuiving, in het middengebied meer dan aan de randen (de locatie waar experiment met dynamisch zeereepbeheer is uitgevoerd, hier is de doorstuiving groter en de ontwikkeling grilliger);
- Groote Keeten: embryonale duinvorming, sterke overstuiving, stuifkuilvorming en kleinschalige parabolisering, doorstuiving;
- Schoorl embryonale duinvorming, ophoging, beperkte doorstuiving;
- Bergen en Egmond: beperkte ontwikkeling van embryonale duinen, plaatselijk lichte afslag, stuifkuil- en kerfontwikkeling, sterke doorstuiving;
- Castricum: embryonale duinvorming, ophoging, plaatselijk lichte afslag, beperkte doorstuiving behalve in kerf met beginnende parabolisering en sterke doorstuiving;
- Heemskerk: verwaarloosbare embryonale duinontwikkeling, stuifkuil- en kerfontwikkeling met beginnende parabolisering door plaatselijk lichte afslag, sterke doorstuiving;
- Langeveld: embryonale duinontwikkeling, aanstuiving voorzijde, geen doorstuiving;
- Coepelduynen: embryonale duinontwikkeling, aanstuiving voorzijde, geen doorstuiving, sterke stuifkuilontwikkeling in het binnenduin, onafhankelijk van zeereepprocessen;
- Wassenaar: embryonale duinontwikkeling, aanstuiving voorzijde, geen doorstuiving met uitzondering van één stuifkuil;
- Voorne: embryonale duinvorming, aanstuiving tegen duinverzwaring, geen ontwikkeling dynamische structuren, geen doorstuiving;
- Goeree: embryonale duinvorming, aanstuiving, geen doorstuiving;
- Schouwen: noorden en zuiden aanstuiving, midden afslag met winderosie en forse dynamiek, ontwikkeling dynamische structuren met kerven en forse doorstuiving;
- Walcheren: embryonale duinvorming, overwegend aanstuiving, geen doorstuiving.

8 De Respons van de zeereep; synthese van mogelijke effecten

In dit hoofdstuk gaan we in op de respons van de zeereep in de verschillende gebieden op dynamiek, veranderingen in zandaanbod en suppleties. We zouden verschillende vormen van respons kunnen onderscheiden, afhankelijk van het type effect. Hoe het beschikbare zand zich uiteindelijk over de zeereep verdeeld is afhankelijk van het zandbudget van het strand en het budget van de zeereep (Psuty, 2004). Er zijn drie belangrijke effecten. Ten eerste ontstaan door een verandering van zandaanbod en de mate van afslag van de zeereep op grote schaal embryonale duinen, habitattype 2110. Dit is uitvoerig aan de orde geweest in de morfologische analyse van de verschillende proefgebieden. Ten tweede zorgt hetzelfde proces voor de transformatie op grote schaal van helmplantages en gefixeerde helmduinen naar vitale witte duinen, habitattype 2120. Dit proces speelt vrijwel overal, met uitzondering van gebieden waar de zeereep zeer statisch is. Ten derde is er, afhankelijk van hoe dynamisch de zeereep zich ontwikkelt, een effect op de mate van doorstuiving. Dit effect is van belang voor het "onderhoud" van grijze duinen, habitattype 2130, een type dat baat heeft bij lichte overstuiving, maar heeft invloed op alle achter de zeereep liggende habitattypen. Bij de mate van doorstuiving spelen zowel zandaanbod als kusterosie een rol. Wanneer zeer veel zand beschikbaar is kunnen embryonale duinen ontstaan in combinatie met een sterke doorstuiving. Bij een beperkt zandaanbod, maar geen kusterosie, zien we vaak op kleinere schaal embryonale duinen ontstaan die het zand voor de zeereep wegvangen. Speelt kusterosie mee, dan ontstaan juist geen embryonale duinen, en komt de zich ontwikkelende dynamiek in een eroderende zeereep vaak ten goede aan de achterliggende duinen.

Om uiteindelijk inzicht te verkrijgen in hoe eventuele effecten van suppleties op de morfologische ontwikkeling van de zeereep doorwerken in de ecologie, wordt eerst een indeling gemaakt van zeereepresponstypen die gebaseerd is op de mate van doorstuiving naar achter de zeereep liggende duinen, en derhalve voor de potentie voor "onderhoud" van grijze duinen.

De volgende typen worden onderscheiden:

Type 1: Er is nauwelijks of geen dynamiek in de zeereep. Er is geen sprake van doorstuiving of van de ontwikkeling van embryonale duinen. Enige lichte vorm van aanstuiving bij de duinvoet is mogelijk. Potentie voor ontwikkeling van alle habitattypen is negatief.

Type 2: Er is met name sprake van dynamiek vóór de zeereep, door de ontwikkeling van embryonale duinen. Doordat de embryonale duinen het grootste deel van de dynamiek wegvangen is er geen dynamiek in de zeereep zelf. De doorstuiving is verwaarloosbaar. Potentie voor de ontwikkeling van habitattype 2110 is goed, bij doorgroeien van de embryonale duinen ontstaat habitattype 2120, witte duinen. Potentie voor onderhoud van grijze duinen achter de zeereep is matig tot slecht. Witte duinen op de zeereep zouden zich door een afname van de dynamiek kunnen ontwikkelen tot grijze duinen.

Type 3: Er is sprake van een matige tot forse dynamiek die leidt tot een aanstuiving aan de voorzijde en een ophoging van de top. De zeereep breidt daardoor uit. Embryonale duinen kunnen al dan niet voorkomen. De

doorstuiving van de voorzijde over de top naar de achterzijde is verwaarloosbaar. Habitattype 2120 is goed ontwikkeld, 2110 is wel of niet aanwezig. De potentie voor onderhoud van grijze duinen is beperkt.

Type 4: Net als bij type 3 is er sprake van een matige tot forse dynamiek, maar nu strekt deze zich ook uit tot achter de zeereep. De potentie voor onderhoud van grijze duinen is dan ook matig tot goed. Habitattype 2120 is goed ontwikkeld, 2110 is wel of niet aanwezig.

Type 5: Het laatste type kent de grootste dynamiek door hetzij extreme aanstuiving, hetzij secundaire verstuiving, hetzij een combinatie van beide. Afhankelijk van de mate van aanstuiving, of de rol die afslag speelt bij de mobilisatie van zand, zijn embryonale duinen wel of niet aanwezig. Door de ontwikkeling van kerven (parabolisering) en stuifkuilen is de doorstuiving naar achteren toe veel groter dan in de andere typen. Er is een hoge potentie voor onderhoud van grijze duinen.

De overstuivingsgradiënt wordt van type 1 naar type 5 steeds uitgestrekter. Type 5 is wat dat betreft de ideale situatie, met een zeer uitgestrekte gradiënt, die tot ver landwaarts door kan lopen, en een open zeereep die als doorgeefluik voor dynamiek fungeert. De overstuivingsgradiënt is hier vooral morfologisch beoordeeld: waar is op grond van de hoogteveranderingen sprake van doorstuiving en waar niet. Er zit hier een onzekere factor in. De fijne doorstuiving, ecologisch wel relevant, morfologisch niet, en bovendien niet te detecteren aan de hand van de hoogtemetingen, is een onbekende. Het is waarschijnlijk dat deze toeneemt van Type 1 (nihil) naar Type 5 (fors), omdat er wel een relatie moet zijn met de morfologisch wel relevante doorstuiving die met de hoogtemetingen aangetoond kan worden. Het lijkt zeer waarschijnlijk dat de fijne overpoedering en de morfologisch significante overstuiving 1:1 gecorreleerd zijn, omdat het proces dat verantwoordelijk is voor beide vormen hetzelfde is: een vorm van suspensie waardoor het zand in staat is begroeide oppervlakken te passeren. In een volgende fase van het OBN-onderzoek zal hier aandacht aan worden besteed door onder andere in een aantal raaien de fijne overstuiving te gaan meten met behulp van zandvangers.

Voor de gehele kust is de zeereep geclassificeerd. Voor de verschillende proefgebieden is de indeling in responstypen weergegeven in Bijlage 5, de indeling voor de overige gebieden is niet in dit rapport opgenomen. Een en ander is per proefgebied samengevat in

Tabel 8.1.

Met betrekking tot de habitattypen worden de volgende verwachtingen uitgesproken:

- Embryonale Duinen zijn qua areaal het best ontwikkeld op Terschelling, bij Groote Keeten en op Ameland west, en in mindere mate op Ameland midden, Schoorl, Langeveld, Wassenaar, Voorne, Goeree en Schouwen. Heemskerk valt op door het vrijwel ontbreken van embryonale duinen, terwijl in de overige gebieden het oppervlak beperkt is. Opvallend is daarbij het relatief bescheiden areaal op Texel, waar het zandbudget toch sterk positief is.
- Witte Duinen zijn overal tot ontwikkeling gekomen, maar er zijn aanzienlijke verschillen in oppervlak tussen de verschillende gebieden. De allerbest ontwikkelde Witte Duinen liggen op Terschelling en bij Groote Keeten en plaatselijk op Ameland en Texel, bij Schoorl, tussen Bergen en Egmond, Castricum, Heemskerk en Schouwen. Ook op de andere locaties zijn goed ontwikkelde Witte Duinen aanwezig, maar neemt het oppervlak af, naarmate de verstuiving minder ver op de zeereep reikt. Bij Langeveld, Wassenaar en Voorne zal vooral aan de voorkant van de zeereep een beperkte strook met Witte Duinen bestaan.
- De beste mogelijkheden voor Grijze Duinen (voor de instandhouding, in sommige gevallen ook de ontwikkeling) vinden we in de gebieden met een lange, uitgestrekte overstuivingsgradiënt: Terschelling, Groote Keeten, Bergen-Egmond en lokaal binnen de gebieden Schoorl, Castricum, Heemskerk en Schouwen.
- De aanzanding aan de voorzijde bij Langeveld, Coepelduynen, Wassenaar en Voorne betekent wel een verbetering van de aanwezige witte duinen, en groeimogelijkheden voor embryonale duinen, maar beperkt tegelijkertijd de potentie voor het redynamiseren van de zeereep zelf met mogelijk gunstige effecten voor de achterliggende duinen. Blokkerende effecten spelen in mindere maten bij delen van Texel noord, Schoorl, Castricum, Goeree, Schouwen en Walcheren.

Het vervolgonderzoek naar de ecologische effecten (zie EGG, 2010) zal moeten uitwijzen of de verwachtingen met betrekking tot de verschillende gebieden inderdaad kloppen.

Tabel 8.1 Overzicht belangrijkste parameters per kilometer.

	raai	vooroever	strand	duin	# suppl	trend breuk	budget	voorzijde	top	achterkant	erosie	afslag	RT	blokkade	2110	2120	2130
Ameland	17-18	1998, 2006	1992	1990	4	1992	-1/5	0	+	+	0	0	4	0	++	++	+
Ameland	18-19	1998	1992		2	-	10	0	+	+	0	0	4	0	++	++	+
Ameland	19-20	1998	1992		2	-	14	+	++	0	0	0	4	0	++	++	+
Ameland	3-4	2007	1997, 2004, 2007		4	**1996**	7/11	+	++	0	0	0	4	0	++	++	+
Ameland	4.4-5				0	2000	6/7	+	+	+	0	0	4	0	++	++	+
Ameland	4-4.4				0	1999	3/12	+	+	0	0	0	4	0	++	++	+
Terschelling	15-16	1993			1	1998	15/9	+	+	++	+	0	5	0	++	++	+
Terschelling	16-17	1993			1	2001	15/-5	+	++	++	++	0	5	0	++	++	++
Terschelling	17-18	1993			1	2001	12/20	+/-	++	++	++	0	5	0	++	++	++
Terschelling	18-19				0	1998	9/-1	+/-	++	++	++	0	5	0	++	++	++
Terschelling	19-20				0	1995	15/17	+	++	++	++	0	5	0	++	++	++
Terschelling	2-3				0	-	40	+	++	+	+/0	0	5	0	++	++	++
Terschelling	3-4				0	-	33	+	++	+	+/0	0	5	0	++	++	++
Terschelling	4-5				0	1997	20/25	+	++	+	+/0	0	5	0	++	++	++
Terschelling	5-6				0	1997	10/22	+	++	+	0	0	5	0	++	++	++
Texel	18-19	2002, 2006	1984, 1991, 1996, 1997, 2000		7	1992	-4/22	++	+	0	0	0	3	1	+	++	-
Texel	19-20	2002, 2006	1984, 1991, 1997		5	1992	-12/19	++	+	0	0	0	3	1	-	+	-
Texel	20-21	2002, 2006	1984, 1991, 1997		5	1992	-3/20	++	+	0	0	0	3	1	+	++	-
Texel	21-22	2002, 2006	1984, 1991		4	1992	5/25	++	+	0	0	0	3	1	+	++	+
Texel	22-23	2002, 2006	1984, 1991, 1996		5	1992	6/27	+	++	0	0	0	3	1	++	++	+
Texel	23-24		1984, 1991, 1996		3	1992	9/17	+	+	0	0	0	4	0	-	++	+
Texel	11-12	2003, 2007	1994, 1997, 2000		5	1995	9/25	+	++	+	0	0	4	0	++	++	+
Texel	12-13	2007	1993, 2000		3	1994	-4/23	0/+	++	+	0	0/+	4	0	-	++	+
Texel	13-14	2006, 2007	1993, 2000		4	1994	-3/26	0/+	++	+	0	0/+	4	0	+	++	+
Texel	14-15	2006	1993, 2000, 2006		4	1994	-17/26	+	++	0	0	0	4	0	++	++	+
Groote Keeten	8-9				0	-	20	++	+	+	+	0	5	0	++	++	++
Groote Keeten	9-10	2003			1	-	19	++	+	+	+	0	5	0	++	++	++
Groote Keeten	10-11	2003, 2006	1986, 1996, 1999		5	?	19	+	++	+	0	0	4	0	++	++	+
Schoorl	28-29	2002	1992, 1997, 2001		4	**1986**	-12/6	+	0	0	+/0	0	4	1	+	++	+
Schoorl	29-30	2002	1992, 1997, 2001		4	1995	-5/7	+	+	+	0	0	4	0	-	++	+
Schoorl	30-31		1992, 1997		2	**1988**	11/10	+	+	+	0	+	4	0	-	+	+

	raai	vooroever	strand	duin	# suppl	trend breuk	budget	voorzijde	top	achterkant	erosie	afslag	RT	blokkade	2110	2120	2130
Schoorl	31-31.5	2005	1992, 1998		3	**1986**	-3/11	+	+	+	+	0	5	0	++	++	++
Bergen-Egmond	34-35	2000, 2005	1997		3	1997	-2/16	+	+	+	+	0	5	0	+	++	+
Bergen-Egmond	35-36	2005	1997		2	1998	-6/5	0/+	+	+	+	+/0	5	0	+	++	+
Bergen-Egmond	36-37	1999, 2004	1997		3	1998	-10/11	+	0/+	0/+	+	0	5	0	-	++	++
Castricum	45-46				0	1997	2/13	+	+	0/+	0/+	0	3	0	+	+	-
Castricum	46-47		2005		1	-	9	++/0	+/0	0	0	0	4	1	+	++	+
Castricum	47-48		2005		1	-	-2	0	+	+	0/+	0/+	4	0	-	++	+
Castricum	48-48.5				0	-	-9	0	0	0/+	+	+	5	0	-	++	++
Heemskerk	48.5-49				0	1997	-5/12	0	+	++	+	+	4	0	-	++	+
Heemskerk	49-50	1996			1	2003	-12/5	0/+	+	+	+	+	5	0	-	++	++
Heemskerk	50-51	1996, 1997			2	?	-3/11	0	+	+	0/+	0	4	0	-	++	++
Langeveld	74.5-75	2002			1	-	5	+	0	0	0	0	3	2	++	+	--
Langeveld	75-76	2002			1	-	6	+	0	0	0	0	3	2	++	+	-
Langeveld	76-76.5	2002			1	-	6	+	0	0	0	0	3	1	++	++	-
Coepelduynen	83.25-84	1998, 2006			2	1998	5/12	+	+	0	0	0	2	1	++	+	-
Coepelduynen	84-85	2006			1	**1997**	3/6	+	+	0	0	0	2	1	++	+	-
Coepelduynen	85-85.75	2006			1	**1995**	6/8	+	+	0	0	0	2	1	++	+	-
Wassenaar	92-93	2002, 2006	1996		3	1998	7/14	+	0	0	0	0	2	2	-	+	--
Wassenaar	93-94	2002, 2006	1996		3	1998	4/14	+	0	0	0	0	2	2	++	-	--
Wassenaar	94-95	2002, 2006	1994, 1997		4	1998	-1/12	+	0	0	0	0	2	2	++	+	--
Wassenaar	95-96	2002, 2006	1994, 1997		4	1998	-0/12	+	0	0	0/+	0	2	2	++	+	--
Voorne	11-12		1973, 1977, 1983, 1993, 2005	1984, 1987	6	<1975	-?/11	+	0	0	0	0	2	2	++	-	--
Voorne	12-13		1973, 1974, 1977, 1983, 1993, 2005	1984, 1987	6	<1975	-?/8	+	0	0	0	0	2	2	++	-	--
Voorne	13-14		1974, 1983, 1993, 2005	1984, 1987	6	<1975	-?/6	+	0	0	0	0	2	2	++	+	--
Voorne	14-15		1974, 1983, 2005	1986	4	<1975	-?/7	+	0	0	0	0	2	2	+	-	--
Goeree	14.5-15		1973, 1977, 1984, 1985	1973	5	1987/2001	20/-4/17	+	+	0	0	0	2	1	++	+	-
Goeree	15-16		1969, 1971, 1973, 1977, 1984, 1985, 2005	1966, 1973	6	1987/2006	22/-2/15	0	+	+	0	+	4	0	++	+	+
Goeree	16-17		1969, 1971, 1973, 1977, 1984, 1985, 2005	1966, 1972, 1973	7	1987/2006	25/2/10	0	+	+	0	+	4	0	++	+	+
Goeree	17-17.5		1973, 1977, 1984, 1985, 2005	1972, 1973	6	1987/1990	18/-3/6	0	+	+	+	0	5	0	+	+	+

	raai	vooroever	strand	duin	# suppl	trend breuk	budget	voorzijde	top	achterkant	erosie	afslag	RT	blokkade	2110	2120	2130
Schouwen	10-11		2003, 2007		2	**1998**	5/16	+	+	0	0	0	3	1	+	+	+
Schouwen	11-12		1996, 2003, 2007		3	-	13	++	0	0	0	0	4	2	++	+	+
Schouwen	12-13		1991, 1996, 2003, 2007		4	1998	-23/8	0	+	0	0	0	4	0	-	+	+
Schouwen	13-14		1987, 1991, 2003, 2007		4	2005	-27/-5	0	+	+	+	+	3	0	-	+	+
Schouwen	14-15		1987, 1991, 2003, 2007		4	2000	-8/-3	0	+	+	+	+	5	0	-	++	++
Schouwen	15-16		1987, 1991, 2003, 2007		4	2000	-1/5	0/+	+	0/+	0	0/+	4	0	+	++	+
Walcheren	8-9	2008	1996, 2000, 2004		4	1997	4/19	+	+	0	0	0	2	1	++	++	-
Walcheren	9-10	2008	1993, 1996, 2000, 2004	1984	6	1995	2/16	++	+	0	0	0	2	1	++	+	-
Walcheren	10-11	2008	1990, 1993, 1996, 2000, 2004	1984	6	1997	26/30	++	+	0	0	0	4	1	++	+	-
Walcheren	11-12				0	-	15/10	+	+	0	0	0	3	1	+	+	-

Groen: nooit gesuppleerd
Blauw: alleen vooroeversuppleties
Oranje: alleen strand(- en duin)suppleties
Wit: vooroever, strand- en duinsuppleties
Jaartal in rood: trendbreuk vóór eerste suppletie
Budget in m^3/m.jaar
Habitattypen: + positief effect; - negatief effect

9 Conclusies en discussie

Op grond van deze studie zijn verschillende conclusies te trekken over het zandbudget en de morfologische ontwikkeling van de zeereep en mogelijk suppletie-effecten. Voor de periode 1997-2008 hebben we inzicht verkregen in het zandbudget van de zeereep voor de gehele Nederlandse kust, en voor de morfologische ontwikkeling. Voor de langere termijn zijn veranderingen in zandbudgetten voor een aantal proeflocaties duidelijk geworden.

Zandbudget van de Nederlandse zeereep

- Langs de gehele Nederlandse kust bezien komt er een enorme hoeveelheid zand binnen. Over de periode 1997-2008 bedraagt de totale hoeveelheid zand die in de zeereep wordt opgeslagen circa 34 miljoen m^3 (14 op de Wadden, 12 op de Hollandse kust, 8 in de Delta), ofwel 3.2 miljoen m^3 per jaar en gemiddeld kustlangs 9.3 m^3/m.jaar.

	Totale hoeveelheid gesuppleerd 10^{6} m^3	Aandeel suppletie op onderwateroever	Totale aanzanding 10^{6} m^3	Gemiddelde jaarlijkse volumeverandering m^3/m.jaar
Totaal	131	60%	34	9.3
Wadden	34	73%	14	10.8
Hollandse kust	71	67%	12	10.6
Delta	26	23%	8	6.6

- Afgezet tegen de totale hoeveelheid suppletiezand is dit 26%. Voor de Wadden en de Delta is deze verhouding hoger (42 resp. 31%) dan voor de Hollandse kust (17%).
- Het is nog niet voor 100%bewezen dat de aanzanding door suppleren veranderd is, maar indirect is het wel zeer aannemelijk dat er gemiddeld een toename van de aanzanding is. Voor een aantal studielocaties kan worden aangetoond dat de trend van aanzanding sinds suppleren aanmerkelijk is toegenomen. Er zijn echter ook locaties waar de trend verandert voordat gestart is met suppleren, of waar de trend verandert terwijl helemaal niet is gesuppleerd.
- Een gering aantal stormvloeden en verminderde stormfrequentie sinds 1990 zou ook een positief effect op het zandbudget kunnen hebben. Vervolgstudie moet uitwijzen of dit effect medeverantwoordelijk is voor de gesignaleerde trendbreuken.
- De kustvakken met een sterk positief zandbudget zijn ook de kustvakken waar veel gesuppleerd wordt. Uitzondering is Terschelling, waar de aanzanding maximaal is, ondanks slechts één suppletie. De totale aanzanding is bijna driemaal de gesuppleerde hoeveelheid.
- Schiermonnikoog is als enige kustvak nooit gesuppleerd en heeft toch een positief zandbudget.
- Van de onderzochte studielocaties valt Groote Keeten op met een al decennia lange, continue, forse aanstuiving. Het grootste deel van deze locatie wordt niet gesuppleerd.

- Langs grote delen van de kust is de duinvoet door aanzanding zeewaarts verplaatst. Daardoor is het aandeel zeerepen met enige vorm van aangroei sinds 1988 aanmerkelijk vergroot. Ook het oppervlak aan embryonale duinen is daarmee toegenomen.
- De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat door suppleren gemiddeld genomen het zandaanbod naar en de overstuiving van de zeereep is toegenomen.
- Een grotere beschikbaarheid van zand en een grotere overstuiving betekenen een verbetering van de abiotische randvoorwaarden voor de ontwikkeling van de relevante habitattypen.

De combinatie met dynamisch zeereepbeheer zorgt in een groot deel van de onderzochte studielocaties voor een extra toename van dynamiek. Hierdoor komt een herverdeling van zand binnen de zeereep zelf op gang, waardoor de doorstuiving verder landwaarts wordt bevorderd. Dit betekent een verdere verbetering van de abiotische randvoorwaarden. Alleen bij Langeveld, Coepelduynen, Wassenaar en Voorne speelt dit niet, en in delen van gebieden op Ameland, Texel, Goeree, Schouwen en Walcheren. Hier wordt het meeste zand aan de voorzijde van de zeereep ingevangen. Herstel van een lange overstuivingsgradiënt, met daarmee mogelijkheden voor verder landwaarts gelegen habitats wordt daarmee in feite geblokkeerd.

Veranderingen in het zandbudget voor proeflocaties
In veel gebieden is ergens tussen 1990 en 2000 een omslag waar te nemen, waarbij erosie overgaat in aanzanding, of waar de mate van aanzanding sterk toeneemt. Alleen in Schoorl begint de verandering eerder, tussen 1986 en 1988. Op Voorne en Goeree, waar suppleren veel eerder is gestart (1973, 1969), speelt de aanzanding over de gehele beschouwde periode al een rol. Er zijn meer gebieden waar de aanzanding al vanaf het begin speelt, geen verandering in de trend van aanzanding is, en waar een suppletie-effect niet waarschijnlijk is,in ieder geval geen effect van suppleties ter plaatse. Het gaat om Ameland west (hier is wel een veranderende trend door de specifieke zandhaakontwikkeling), Ameland oost (oostkant), Terschelling west (zandplaatverheling), Groote Keeten km8-10, Walcheren km11-12.

Verschillende andere gebieden vertonen eveneens een gestage aanzanding en zijn wel gesuppleerd. Het is hier echter de vraag of aangroei en suppleties direct aan elkaar gerelateerd zijn, aangezien de trend geen verandering toont, ook niet op het moment van suppleren. Het betreft de gebieden Terschelling midden, Groote Keeten km10-11, Langeveld (eenmalig gesuppleerd in 2002), Coepelduynen (gesuppleerd in 2006, maar sterker aanzandend sinds 1997), Schouwen km10-11.

Dan zijn er diverse locaties waar het wel zeer aannemelijk is dat een verandering in aanzanding het gevolg is van suppleren en waar trendbreuken samen vallen met het begin van suppleren. De meest overtuigende locaties zijn Texel noord en midden en in mindere mate Bergen-Egmond, Wassenaar, Voorne, Goeree, Schouwen en Walcheren. Voor het middendeel van Schouwen geldt dat dit het enige gebied is waar een structureel negatieve trend door suppleren minder negatief is geworden.

In de meeste gebieden is de overstuiving van de zeereeptop en achterkant sterk of sterker geworden. Bij Langeveld, Wassenaar en Voorne speelt overstuiving vooral aan de voorkant van de zeereep, bij Ameland west, Texel noord, Coepelduynen en Walcheren vangt ook de zeereeptop meer zand in. Voor Ameland oost, Terschelling midden en west, Texel midden, Groote Keeten, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Goeree en Schouwen geldt ook dat de doorstuiving naar achteren toe is genomen. Terschelling midden en west, Groote Keeten, Bergen-Egmond, de kerven bij Heemskerk en Castricum en Schouwen zijn daarbij de locaties waarbij de doorstuiving naar achteren het meest extreem is, en de overstuivingsgradiënt het langste is en het verst landinwaarts doorwerkt. Bij Bergen-Egmond, de kerven bij Castricum en Heemskerk en op Schouwen speelt afslag daarbij een rol.

In sommige gebieden is er sprake van een grote ruimtelijke variatie in de volumeontwikkeling (Terschelling midden, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Schouwen), en moet deze per individuele raai worden beschouwd, in andere is de variatie minder en kan de ontwikkeling per km-vak worden gemiddeld (Groote Keeten, Wassenaar, Langeveld).

In vrijwel alle raaien lijkt sprake van een periodieke fluctuatie in de volumeontwikkeling, die vaak minder lijkt te worden wanneer gesuppleerd wordt. In sommige gebieden is de temporele variatie groot (Ameland west, Terschelling midden, Texel midden, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Wassenaar, Goeree, Schouwen), in andere is de fluctuatie minder. Nader onderzocht zou moeten worden hoe deze periodiciteit is gerelateerd aan het bankengedrag, passeren van zandgolven of enige andere periodieke ontwikkeling op de onderwateroever.

Relatie vooroever – duinen
Voor een beperkt aantal proefgebieden is gepoogd een relatie te leggen tussen de ontwikkeling op de vooroever en die in de zeereep. Allereerst is gekeken hoe de zandvoorraad in het kustprofiel, de som van onder en boven water, verandert. Verwacht werd dat suppleties structurele erosie compenseren, en daardoor op de lange termijn de zandvoorraad binnen het kustprofiel op peil blijft. Alleen voor Heemskerk blijkt dit inderdaad het geval: het totale volume blijft gelijk. Voor Schouwen neemt het totaal volume af en is de suppletie dus niet voldoende om de erosie te compenseren. Voor de overige proefgebieden blijkt de zandvoorraad gestaag toe te nemen (Texel, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Langeveld), of zelfs fors toe te nemen (Groote Keeten, Walcheren en Wassenaar).

Wanneer de zandbudgetten boven en die onder 3m NAP worden vergeleken zijn verschillende combinaties mogelijk. Een negatief budget op vooroever/strand gecombineerd met een positief budget in de zeereep komt bij de bestudeerde proefgebieden niet voor, maar is bijvoorbeeld wel bekend van de Waddeneilanden en de Kaloot (Jeuken et al., 2005). Een negatief budget op vooroever/strand gecombineerd met een neutraal budget in de zeereep komt bij de bestudeerde proefgebieden ook niet voor en is ook niet bekend van andere gebieden, maar is niet onwaarschijnlijk. De volgende combinaties zijn waargenomen:

- Groote Keeten en Langeveld zijn twee gebieden waar zowel voor als na suppleren alle budgetten positief zijn en er een positieve correlatie is tussen de ontwikkeling van het volume boven en onder 3m NAP. De duinen worden gevoed door een positief budget op de vooroever.
- Bij Schoorl, Bergen-Egmond en Heemskerk zijn beide volumes eerst negatief gecorreleerd, waarbij het zeereepbudget afneemt en dit zand ten goede komt aan het volume op de vooroever. De Ruig (1989) concludeerde op basis van gegevens voor de Hollandse kust dat duinafslag niet lijkt te resulteren in sedimentatie op de brandingszone. Uit deze studie blijkt dat voor bepaalde locaties wel degelijk het geval te zijn. Vanaf suppleren verandert dit in een positieve correlatie, en zijn alle budgetten positief. Behalve door de suppleties wordt de duinontwikkeling dan ook gevoed door zand van de vooroever.
- Castricum, Wassenaar en Walcheren zijn gebieden waar vóór suppleren de correlatie tussen de ontwikkeling boven en onder 3m onduidelijk is, terwijl na suppleren de correlatie duidelijk wordt en de budgetten positief worden of blijven. Ook daar wordt na suppleren de duinontwikkeling gevoed door zand van de vooroever. Overigens lijkt bij Castricum voor suppleren de duinontwikkeling ten koste van het volume op de vooroever te gaan. Dit is het enige gebied waar deze relatie werd gevonden.
- Texel noord en Schouwen kennen beide voor suppleren een positieve correlatie tussen de volumeontwikkeling boven en onder 3m NAP, maar in beide gevallen nemen de volumes af. Na suppleren wordt op Texel het budget positief, op

Schouwen blijft het negatief, maar neemt het volume boven 3m NAP minder snel af dan daarvoor.
- Afgezien van Schouwen geldt voor alle proefgebieden dat vanaf het moment van suppleren zowel het budget boven als onder 3m NAP positief is.

Veranderingen in morfologie
Voor vrijwel alle gebieden geldt dat het totaal aan dynamische vormen (de som van embryonale duinen en erosieve vormen) in de tweede opname (2007 voor de meeste gebieden, 2008 voor Terschelling west) aanmerkelijk in oppervlak zijn toegenomen in vergelijking tot de eerste opname (1996 voor de meeste gebieden, 2000 voor Terschelling midden, Castricum en Wassenaar, 2003 voor Terschelling west). Voor alle gebieden met uitzondering van Schouwen is het oppervlak embryonaal duin toegenomen. Alleen voor Voorne en Walcheren geldt een afname van dynamische, erosieve vormen. Voor Langeveld en Wassenaar is het oppervlak aan erosieve vormen minimaal. Voor Coepelduynen is het oppervlak relatief groot omdat hier een groot deel van de binnenduinen mee is gekarteerd. Wanneer de dynamische structuren samen worden genomen geldt zonder uitzondering dat het oppervlak in alle proefgebieden aanmerkelijk is toegenomen.

Het oppervlak aan embryonaal duin is tussen 1996 en 2007 enorm toegenomen. De grootste oppervlakken zijn te vinden op Ameland west, Terschelling en Groote Keeten, de kleinste langs de rest van de Noord-Hollandse kust en op Schouwen. De geringe oppervlakken bij Heemskerk en Schouwen hangen samen met de afslag daar. Voor de Hollandse kust is het grote areaal bij Groote Keeten een bijzonderheid. Er is geen verband met zandbudget (behalve dat het zandbudget positief moet zijn, in gebieden met afslag ontstaan geen embryonale duinen), wel blijkt dat de gebieden die weinig of niet gesuppleerd zijn de grootste oppervlakken aan embryonale duinen herbergen. Op zich is dit logisch, omdat in gebieden waar autonome aangroei overheerst embryonale duinen sterker ontwikkeld zullen zijn. Ook wanneer alleen de gesuppleerde gebieden worden beschouwd is er geen verband tussen zandbudget en oppervlak embryonale duinen per km kust.
De gebieden met de grootste oppervlakken aan erosieve vormen zijn Terschelling (met Terschelling midden als onbetwiste koploper, maar dit is onder invloed van ingrepen), de Noord-Hollandse locaties en Schouwen. Terschelling en Groote Keeten zijn gebieden waar een groot oppervlak aan erosieve structuren samengaat met een groot oppervlak aan embryonale duinen én een grote aanstuiving. De Zuid-Hollandse proefgebieden, met uitzondering van Goeree, herbergen de kleinste oppervlakken aan erosieve structuren.

Texel midden, en in mindere mate Texel noord, herbergen een groot aantal aan erosieve vormen, maar slechts een beperkt oppervlak. Dit kan er op duiden dat hier de overgang naar een meer dynamische zeereep recentelijk op gang is gekomen.

Ook voor het voorkomen van erosieve vormen geldt dat er geen verband is met zandbudget. Weliswaar ontstaan in de gebieden met afslag veel erosieve structuren, maar a) zijn de gebieden met afslag niet tegelijk die met de laagste zandbudgetten (een achteruitgaande zeereep kan tegelijkertijd hoger worden en meer zand bevatten) en b) hebben de gebieden met de grootste oppervlakken juist een sterk positief budget. Het grote oppervlak op Terschelling hangt samen met ingrepen, en moet in dit opzicht buiten beschouwing worden gelaten.

Er is een zwakke correlatie tussen het voorkomen van erosieve structuren en het oppervlak aan embryonale duinen, behalve voor gebieden met een sterke aanstuiving en extreme dynamiek (Terschelling, Groote Keeten).

Respons van de zeereep
Op grond van het gedrag van het zand binnen de zeereep zijn vijf responstypen onderscheiden. De overstuivingsgradiënt wordt van type 1 naar type 5 steeds

uitgestrekter. Type 5 is wat dat betreft de ideale situatie, met een zeer uitgestrekte gradiënt, die tot ver landwaarts door kan lopen, en een open zeereep die als doorgeefluik voor dynamiek fungeert.

Type 1: Er is nauwelijks of geen dynamiek in de zeereep. Er is geen sprake van doorstuiving of van de ontwikkeling van embryonale duinen. Enige lichte vorm van aanstuiving bij de duinvoet is mogelijk. Potentie voor ontwikkeling van alle habitattypen is negatief.

Type 2: Er is met name sprake van dynamiek vóór de zeereep, door de ontwikkeling van embryonale duinen. Doordat de embryonale duinen het grootste deel van de dynamiek wegvangen is er geen dynamiek in de zeereep zelf. De doorstuiving is verwaarloosbaar. Potentie voor de ontwikkeling van habitattype 2110 is goed, bij doorgroeien van de embryonale duinen ontstaat habitattype 2120, witte duinen. Potentie voor onderhoud van grijze duinen achter de zeereep is matig tot slecht. Witte duinen op de zeereep zouden zich door een afname van de dynamiek kunnen ontwikkelen tot grijze duinen.

Type 3: Er is sprake van een matige tot forse dynamiek die leidt tot een aanstuiving aan de voorzijde en een ophoging van de top. De zeereep breidt daardoor uit. Embryonale duinen kunnen al dan niet voorkomen. De doorstuiving van de voorzijde over de top naar de achterzijde is verwaarloosbaar. Habitattype 2120 is goed ontwikkeld, 2110 is wel of niet aanwezig. De potentie voor onderhoud van grijze duinen is beperkt.

Type 4: Net als bij type 3 is er sprake van een matige tot forse dynamiek, maar nu strekt deze zich ook uit tot achter de zeereep. De potentie voor onderhoud van grijze duinen is dan ook matig tot goed. Habitattype 2120 is goed ontwikkeld, 2110 is wel of niet aanwezig.

Type 5: Het laatste type kent de grootste dynamiek door hetzij extreme aanstuiving, hetzij secundaire verstuiving, hetzij een combinatie van beide. Afhankelijk van de mate van aanstuiving, of de rol die afslag speelt bij de mobilisatie van zand, zijn embryonale duinen wel of niet aanwezig. Door de ontwikkeling van kerven (parabolisering) en stuifkuilen is de doorstuiving naar achteren toe veel groter dan in de andere typen. Er is een hoge potentie voor onderhoud van grijze duinen.

Op grond van de responstypen wordt met betrekking tot de habitattypen per proefgebied de volgende verwachtingen uitgesproken:

- Embryonale Duinen zijn qua areaal het best ontwikkeld op Terschelling, bij Groote Keeten en op Ameland west, en in mindere mate op Ameland midden, Schoorl, Langeveld, Wassenaar, Voorne, Goeree en Schouwen. Heemskerk valt op door het vrijwel ontbreken van embryonale duinen, terwijl in de overige gebieden het oppervlak beperkt is. Opvallend is daarbij het relatief bescheiden areaal op Texel, waar het zandbudget toch sterk positief is.
- Witte Duinen zijn overal tot ontwikkeling gekomen, maar er zijn aanzienlijke verschillen in oppervlak tussen de verschillende gebieden. De allerbest ontwikkelde Witte Duinen liggen op Terschelling en bij Groote Keeten en plaatselijk op Ameland en Texel, bij Schoorl, tussen Bergen en Egmond, Castricum, Heemskerk en Schouwen. Ook op de andere locaties zijn goed ontwikkelde Witte Duinen aanwezig, maar neemt het oppervlak af, naarmate de verstuiving minder ver op de zeereep reikt. Bij Langeveld, Wassenaar en Voorne zal vooral aan de voorkant van de zeereep een beperkte strook met Witte Duinen bestaan.
- De beste mogelijkheden voor Grijze Duinen (voor de instandhouding, in sommige gevallen ook de ontwikkeling) vinden we in de gebieden met een lange, uitgestrekte overstuivingsgradiënt: Terschelling, Groote Keeten, Bergen-Egmond en lokaal binnen de gebieden Schoorl, Castricum, Heemskerk en Schouwen.
- De aanzanding aan de voorzijde bij Langeveld, Coepelduynen, Wassenaar en Voorne betekent wel een verbetering van de aanwezige witte duinen, en

groeimogelijkheden voor embryonale duinen, maar beperkt tegelijkertijd de potentie voor het redynamiseren van de zeereep zelf met mogelijk gunstige effecten voor de achterliggende duinen. Blokkerende effecten spelen in mindere maten bij delen van Texel noord, Schoorl, Castricum, Goeree, Schouwen en Walcheren.

Slotconclusies en discussie

Deze studie levert het bewijs, niet direct maar indirect, dat sinds het suppleren gestart is, de aanzanding van de zeereep opmerkelijk is vergroot. Eerdere aanwijzingen hiervoor werden gevonden door van der Wal (1999 en 2004), die aantoonde dat op gesuppleerde stranden de aanstuiving in het jaar na suppleren significant toenam. Deze toename leek echter kortstondig, voor het tweede en derde jaar na suppleren was de aanzanding vergelijkbaar met een controlesituatie. Volgens van der Wal nam in het eerste jaar na suppleren (uitsluitend strandsuppleties) de aanzanding van de duinen (boven 3m NAP) toe tot 14 m^3/m.jaar, ten opzichte van 9 m^3/m.jaar voor een controlesituatie, een toename dus van 5 m^3/m.jaar. Zij baseerde haar conclusies op gegevens van twaalf suppletielocaties, verspreid op Texel, Noord-Holland, Rijnland, Goeree, Schouwen en Walcheren. De Ruig vond in 1989 voor de Hollandse kust een gemiddelde aanzanding van 3 tot 3.5 m^3/m.jaar voor de periode 1963-1987, met maxima van circa 10 m^3/m.jaar voor structureel aanzandende kustdelen. Deze studie concludeert dat de gemiddelde aanzanding langs de Hollandse kust voor de periode 1997-2008 10.6 m^3/m.jaar bedraagt, een verschil met de gegevens van de Ruig van circa 7 m^3/m.jaar. Hierbij moet opgemerkt worden dat de berekeningen van de Ruig betrekking hebben op de zone van strand en duinen boven 0m NAP, waardoor eigenlijk geen rechtstreekse vergelijking mogelijk is.

Voor een aantal locaties is de invloed van suppleties op de kustontwikkeling zodanig dat de zeereep "op slot" zit, voor andere locaties geldt juist dat onder de randvoorwaarde van suppleren voor instandhouding van de kustlijn een dynamische ontwikkeling op gang kan komen. Vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen of dit inderdaad de verwachte negatieve respectievelijk positieve effecten op de vegetatieontwikkeling oplevert. Belangrijke vraag blijft enerzijds tot hoever achter de zeereep in dynamische situaties de invloed van overstuivend zand op de ecologische ontwikkeling reikt, anderzijds hoe groot de input van kalkhoudend zand moet zijn om dreigende verzuring tegen te gaan.

In het ouderwetse kustbeheer werd het uitgangspunt gehuldigd dat verstuiving van zand landwaarts van de duinvoet verlies betekende voor de waterkering. Dit uitgangspunt is allang achterhaald, maar wordt in feite nog steeds gedeeltelijk toegepast bij de beoordeling van de Basis Kustlijn (BKL). Bij de toetsing van de BKL wordt beoordeeld of een bepaald volume aanwezig is tussen een landwaartse en zeewaartse referentielijn, en tussen +3m NAP en -5m NAP hoogtelijnen. Het zand dat binnen de referentielijnen maar boven +3m NAP zit wordt hierbij buiten beschouwing gelaten. Bij de toetsing van de BKL zou rekening gehouden moeten worden met deze hoeveelheid zand.

In het moderne kustbeheer wordt gesteld dat door een meer dynamisch beheer van de kust en het vrij laten van natuurlijke processen de duinen en/of kwelders achter de zeereep mee zouden kunnen groeien met een stijgende zeespiegel. Ongeacht of de zeespiegel nu stijgt of niet, het blijkt dat het meegroeien van duinen kan en op een aantal plaatsen ook gebeurt. Dit is een essentiële constatering, want het betekent dat bij een "dynamisch" vastgelegde kust, die op zijn plek wordt gehouden door te suppleren het gevaar dat het achterland steeds lager komt te liggen ten opzichte van de zeespiegel gekeerd kan worden. Door hier gebruik van te maken wordt bewerkstelligd dat de veiligheid van de bestaande toe kan nemen (of bij een stijgende zeespiegel op peil kan blijven) en dat ondertussen de natuur baat heeft bij een grotere dynamiek. In dat geval kunnen kustverdediging en natuurbeheer elkaar versterken (zie ook Arens & Mulder, 2008; Arens & Janssen, 2009, Arens, 2009c).

10 Aanbevelingen

De gebruikte data hebben hun beperkingen. Het blijkt dat zowel in de laseraltimetrie- als in de Jarkus-gegevens veel fouten voorkomen. Veel van deze fouten zijn te corrigeren, maar dit vergt een forse tijdsinvestering. In de laseraltimetriedata zitten nog "verontreinigingen" door vegetatie, die van jaar tot jaar en per locatie variëren. Filtering van vegetatie en correctie van ruimtelijke fouten zou verbeterd kunnen worden. Indien met verbeterde technieken ook oude data kunnen worden opgeschoond, dan zal dit een gedetailleerdere en betrouwbaardere analyse mogelijk maken.

In veel gevallen zijn de laseraltimetriedata te krap. De landwaartse begrenzing is dan zodanig dat niet het gehele actieve profiel opgemeten is. Dit betekent een onderschatting van de hoeveelheid zand die in de duinen terecht komt. Voor nieuwe opnames zou een zo ruim mogelijke begrenzing gehanteerd moeten worden.

Laseraltimetrie is in het verleden niet jaarlijks toegepast. De opnamefrequentie heeft gevarieerd per kustvak. In combinatie met fouten in de metingen zelf geeft dit een extra onnauwkeurigheid en beperking van detail. Bovendien zijn de veranderingen zodanig dat er jaarlijks duidelijke verschillen te meten zijn. Het is zeer wenselijk dat de laseraltimetriedata ieder jaar opnieuw worden opgenomen.

Onderzoek van de vooroever zal meer licht moeten werpen op het waarom van de ontwikkeling van de zeereep zoals die in dit rapport is geschetst. Voor enkele locaties lijkt de relatie tussen zeereepontwikkeling en suppleties nu al aangetoond, voor andere locaties is de relatie onduidelijk. Het is nog steeds niet echt duidelijk hoe de schakel tussen suppleties en duindynamiek werkt, maar het is wel duidelijk dat de link tussen onder- en bovenwater cruciaal is in het begrip van het kustsysteem. Als onderbouwing van het kustbeleid is het hoog nodig deze link in het gangbare onderzoek te betrekken.

Er wordt nu uitgegaan van de veronderstelling dat een versterkte aanzanding en overstuiving van de zeereep een verbetering van de abiotische randvoorwaarden voor habitats betekent. Op grond van de resultaten van het geochemische onderzoek (Stuyfzand et al., 2010) blijkt dat voor een zestal raaien langs de Hollandse kust en Texel er vooralsnog geen aanwijzingen zijn dat de sedimentsamenstelling van de zeereep wezenlijk wijzigt en suppletiezand in die zin schade zou kunnen berokkenen. Wel blijkt er sprake van een duidelijke input van kalk. Aanvullende geochemisch onderzoek gericht op studielocaties op de Wadden en de Delta zal moeten uitwijzen of de conclusies algemeen geldig zijn.

Aanvullend op het vaststellen van overstuivingsgradiënten moet veldonderzoek uitgevoerd worden naar de overstuiving achter de zeereep. De overstuiving is hier over het algemeen gering, en valt binnen de onnauwkeurigheid van Jarkus- en laseraltimetriegegevens. Deze geringe overstuiving is echter belangrijk voor de ecologische ontwikkeling, bijvoorbeeld door het tegengaan van verzuring als gevolg van kalkinput. De hoeveelheid overstuiving zou gekoppeld moeten worden aan aard en kwaliteit van de voorkomende habitattypen. In het veld is de fijne overstuiving te bepalen met behulp van boringen of door zandvangers te plaatsen. Als pilot zou deze gedetailleerde overstuivingsgradiënt voor een aantal studielocaties in kaart gebracht kunnen worden. Daarnaast is het van belang uit te zoeken wat de minimale hoeveelheid

instuivend zand zou moeten zijn om verzuring van duingraslanden juist tegen te gaan. Als beide feiten bekend zijn, dan is bijvoorbeeld te vergelijken hoe de overstuivingszone varieert bij een gesloten of bij een gekerfde zeereep en is de eventuele natuurwinst bij een meer open zeereep in vergelijking tot een gesloten zeereep nader te kwantificeren.

Het inzicht in de huidige toestand van de zeereep in vergelijking tot de toestand rond 1990 is met dit onderzoek vergroot. De veranderingen kunnen verder gekwantificeerd worden aan de hand van een nieuwe classificatie van de toestand in 2009. Een eerste aanzet hiervan is gegeven door Van Puijvelde (2010), waarbij de gegevens kustbreed uitgewerkt zijn. Op grond van deze data zou de huidige stand van zaken in meer detail in beeld kunnen worden gebracht.

Het is duidelijk dat een groot deel van de zeereep aanzandt, en dat de verhouding tussen hoeveelheid gesuppleerd zand en hoeveelheid aanzanding aanzienlijk is. Bij de toetsing van de BasisKustLijn zou hiermee rekening gehouden moeten worden. Bij de toetsing wordt nu de hoeveelheid zand die in de zeereep wordt opgeslagen buiten beschouwing gelaten, terwijl deze wel degelijk een belangrijke bijdrage aan de veiligheid van de waterkering levert.

Een andere belangrijke constatering is dat door het suppletiebeleid in combinatie met dynamisch kustbeheer het inderdaad mogelijk blijkt de bestaande duinen te laten groeien. Aanbevolen wordt om in toekomstige scenario’s voor het kustbeleid deze mogelijkheid serieus uit te werken, bijvoorbeeld door een inventarisatie te maken van gebieden waar deze vorm van groei mogelijk en wenselijk is. Daarbij is het wel noodzakelijk beter in de vingers te krijgen hoe we door middel van het variëren met suppleties in frequentie of kwantiteit zowel de dynamiek kunnen bevorderen, als het zand naar binnen kunnen laten stuiven.

In het kader van de instandhouding van Natura2000 doelstellingen verdient het aanbeveling een aantal experimenten met suppleties op te zetten, waarbij frequentie en/of hoeveelheid zo worden aangepast dat lichte aantasting van de zeereep optreedt en een dynamische ontwikkeling op gang kan komen. Daarbij is een belangrijke vraag wat gunstiger is: een aantal keren een beperkte hoeveelheid suppleren, of bijvoorbeeld de BKL gedurende een aantal jaren laten overschrijden, tot een dynamische ontwikkeling op gang is gekomen en dan een overmaat te suppleren zodat ook extra zand beschikbaar is om grootschaligere verstuivingen naar binnen toe mogelijk te maken. Gezien de huidige ontwikkeling in Rijnland, met een zeer beperkte dynamiek in de zeereep, en over het algemeen brede en hoge duinen, zou hier een geschikte proeflocatie kunnen worden gevonden. Een dergelijk experiment zou gecombineerd kunnen worden met maatregelen landwaarts van de zeereep, om effecten van dynamiek zo ver mogelijk landwaarts te kunnen laten doorwerken.

11 Effecten van suppleties op de geomorfologische en geochemische ontwikkeling van duinen: Samenvatting en synthese

Onderstaande 'samenvatting en synthese' stoelt op navolgende rapporten:

Arens, S.M., S.P. van Puijvelde & C. Brière, 2010. Effecten van suppleties op duinontwikkeling; geomorfologie. Rapportage fase 2. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek en Deltares RAP2010.03 in opdracht van Directie Kennis, LNV, 141 pp + bijlagen

Stuyfzand, P.J., S.M. Arens en A.P. Oost 2010. Geochemische effecten van zandsuppleties langs Hollands kust. KWR-rapport KWR 2010.048, 71p.

Aanleiding en achtergronden
Beïnvloeden suppleties de natuurwaarden van de duinen? Voor Rijkswaterstaat, als verantwoordelijke voor het kustonderhoud, is het van belang te onderzoeken wat de effecten van suppleties op andere functies zijn. Voor LNV, als verantwoordelijke voor het Natura2000 beleid, is enerzijds van belang of eventuele negatieve effecten van suppleties een bedreiging vormen voor instandhoudingsdoelstellingen, anderzijds of eventuele positieve effecten van suppleties juist een bijdrage leveren aan de instandhouding van habitats. Inzicht in de effecten maakt het in principe mogelijk om de mate en wijze van suppleren zo aan te passen dat negatieve effecten worden geminimaliseerd en positieve worden gemaximaliseerd.
Onderzoek naar de effecten op duinen heeft zich in eerste instantie gericht op de geomorfologie. Dit onderzoek is door zowel Rijkswaterstaat als LNV via het Deskundigenteam Duin&Kustlandschap van OBN gefinancierd. Vanuit LNV is het onderzoek uitgebreid met een geochemische component, waarbij de aandacht vooral uit is gegaan naar de kwaliteit van het suppletiezand in vergelijking met die van het natuurlijke duinzand, en wat er van het suppletiezand in de duinen terug te vinden is.
In de voltooide, eerste fase van het suppletieonderzoek is derhalve onderzoek gedaan naar eventuele geomorfologische en geochemische effecten, die uiteindelijk belangrijke abiotische randvoorwaarden vormen voor de ecologische ontwikkeling. Kortweg draaide het onderzoek om de volgende drie hoofdvragen:

- Komt er meer zand in de duinen?
- Zo ja, verandert de overstuiving van de zeereep?
- Zo ja, verandert de kwaliteit van het zand?

De volgende fase van het onderzoek zal zich richten op de vraag:

- Wat betekent dit allemaal voor de ecologie?

Het lijkt overduidelijk dat de aard van de zeereep langs de Nederlandse kust veranderd is. Op veel plaatsen zijn inmiddels embryonale duinen ontstaan (een belangrijk habitattype, 2110) en de steile afslagkliffen, in de jaren 1970-1980 zo kenmerkend voor grote delen van de kust, zijn bijna niet meer terug te vinden. Is er inderdaad sprake van een trendbreuk in de aanzanding van de zeereep? Valt deze samen met uitgevoerde suppleties? Is het geen gevolg van een veel milder stormklimaat sinds 1990? Verandert

het zand zelf ook? Veranderingen in aanzanding en overstuiving hebben behalve op het ontstaan van embryonale duinen ook consequenties voor de vorming en ontwikkeling van witte duinen (habitattype 2120) en grijze duinen (habitattype 2130).
Wat gebeurt er met het zand? Ontwikkelt de zeereep op plaatsen met dynamisch kustbeheer zich wezenlijk anders dan op plaatsen zonder? Zijn er regionale verschillen? Veranderen de oppervlaktes en kwaliteit van de relevante habitattypen?
Wanneer door suppleren de kwaliteit van het zand op het strand verandert, bijvoorbeeld doordat de korrelgrootteverdeling verandert, of de mineraalinhoud van het zand, dan kan een verandering in de overstuiving ervoor zorgen dat dit kwalitatief andere zand ook in de duinen terecht komt. Hoe langer de overstuivingsgradient is, hoe verder deze invloed kan reiken. Wanneer direct op het strand gesuppleerd wordt, zal dit effect veel groter zijn. Dan wordt immers direct het kwalitatief andere zand binnen het eolische systeem aangebracht. Bij vooroeversuppleties zal het effect minder duidelijk, mogelijk zelfs afwezig zijn. Eerdere studies hebben uitgewezen dat door een vooroeversuppletie het zand op het strand niet wezenlijk verandert.

Veranderingen in aanzanding en overstuiving
Het is nog niet voor 100% bewezen dat de aanzanding door suppleren veranderd is, maar indirect is het wel zeer aannemelijk dat er gemiddeld een toename van de aanzanding is. Voor een aantal studielocaties kan worden aangetoond dat de trend van aanzanding sinds suppleren aanmerkelijk is toegenomen. Er zijn echter ook locaties waar de trend verandert voordat gestart is met suppleren, of waar de trend verandert terwijl helemaal niet is gesuppleerd. Dit zou echter goed samen kunnen hangen met suppleties op andere locaties. Over de ruimtelijke verspreiding van suppletiezand is nog weinig bekend.
De combinatie met dynamisch zeereepbeheer zorgt in een groot deel van de onderzochte studielocaties voor een extra toename van dynamiek (zie Tabel A). Hierdoor komt een herverdeling van zand binnen de zeereep zelf op gang, wat de doorstuiving verder landwaarts bevordert. Dit betekent een verdere verbetering van de abiotische randvoorwaarden. Alleen bij Langeveld, Coepelduynen, Wassenaar en Voorne speelt dit niet, en evenmin in delen van gebieden op Ameland, Texel, Goeree, Schouwen en Walcheren. Hier wordt het meeste zand aan de voorzijde van de zeereep ingevangen. Herstel van een lange overstuivingsgradiënt, met daarmee mogelijkheden voor verder landwaarts gelegen habitats wordt daarmee in feite geblokkeerd.

Veranderingen in het zandbudget
In veel gebieden is ergens tussen 1990 en 2000 een omslag waar te nemen, waarbij erosie overgaat in aanzanding, of waar de mate van aanzanding sterk toeneemt (zie Tabel A). Alleen in Schoorl begint de verandering eerder, tussen 1986 en 1988. Op Voorne en Goeree, waar suppleren veel eerder is gestart (resp. 1973 en 1969), speelt de aanzanding over de gehele beschouwde periode al een rol. Er zijn meer gebieden waar de aanzanding al vanaf het begin speelt, geen verandering in de trend van aanzanding is, en waar een suppletie-effect niet waarschijnlijk is (in ieder geval geen effect van suppleties ter plaatse). Het gaat om Ameland west (hier is wel een veranderende trend door de specifieke zandhaakontwikkeling), Ameland oost (oostkant), Terschelling west (zandplaatverheling), Groote Keeten km 8-10, en Walcheren km 11-12.
Verschillende andere gebieden vertonen eveneens een gestage aanzanding en zijn wel gesuppleerd. Het is hier echter de vraag of aangroei en suppleties direct aan elkaar gerelateerd zijn, aangezien de trend geen verandering toont, ook niet op het moment van suppleren. Het betreft de gebieden Terschelling midden, Groote Keeten km 10-11, Langeveld (eenmalig gesuppleerd in 2002), Coepelduynen (gesuppleerd in 2006, maar sterker aanzandend sinds 1997), Schouwen km 10-11.
Dan zijn er diverse locaties waar het wel zeer aannemelijk is dat een verandering in aanzanding het gevolg is van suppleren en waar trendbreuken samenvallen met het begin van suppleren. De meest overtuigende locaties zijn Texel noord en midden en in mindere mate Bergen-Egmond, Wassenaar, Voorne, Goeree, Schouwen en Walcheren.

Voor het middendeel van Schouwen geldt dat dit het enige gebied is waar een structureel negatieve trend door suppleren minder negatief is geworden.
In de meeste gebieden is de overstuiving van de zeereeptop en achterkant sterk of sterker geworden. Bij Langeveld, Wassenaar en Voorne speelt overstuiving vooral aan de voorkant van de zeereep, bij Ameland west, Texel noord, Coepelduynen en Walcheren vangt ook de zeereeptop meer zand in. Voor Ameland oost, Terschelling midden en west, Texel midden, Groote Keeten, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Goeree en Schouwen geldt ook dat de doorstuiving naar achteren toe is genomen. Terschelling midden en west, Groote Keeten, Bergen-Egmond, de kerven bij Heemskerk en Castricum en Schouwen zijn daarbij de locaties waarbij de doorstuiving naar achteren het meest extreem is, en de overstuivingsgradiënt het langste is en het verst landwaarts doorwerkt. Bij Bergen-Egmond, de kerven bij Castricum en Heemskerk en op Schouwen speelt afslag daarbij een rol.
In sommige gebieden is er sprake van een grote ruimtelijke variatie in de volumeontwikkeling (Terschelling midden, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Schouwen), en moet deze per individuele raai worden beschouwd, in andere is de variatie minder en kan de ontwikkeling per km-vak worden gemiddeld (Groote Keeten, Wassenaar, Langeveld).
In vrijwel alle raaien lijkt sprake van een periodieke fluctuatie in de volumeontwikkeling, de fluctuatue lijkt minder te worden wanneer gesuppleerd wordt. In sommige gebieden is de temporele variatie groot, (Ameland west, Terschelling midden, Texel midden, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Wassenaar, Goeree, Schouwen), in andere is de fluctuatie minder. Nader onderzocht zou moeten worden hoe deze periodiciteit is gerelateerd aan het bankengedrag, passeren van zandgolven of enige andere periodieke ontwikkeling op de onderwateroever.

Veranderingen in morfologie en overstuiving
Voor vrijwel alle gebieden geldt dat het totaal aan dynamische vormen (de som van embryonale duinen en erosieve vormen) in de tweede opname (2007 voor de meeste gebieden, 2008 voor Terschelling west) aanmerkelijk in oppervlak is toegenomen in vergelijking tot de eerste opname (1996 voor de meeste gebieden, 2000 voor Terschelling midden, Castricum en Wassenaar, 2003 voor Terschelling west). Voor alle gebieden met uitzondering van Schouwen is het oppervlak embryonaal duin toegenomen. Alleen voor Voorne en Walcheren geldt een afname van dynamische, erosieve vormen. Voor Langeveld en Wassenaar is het oppervlak aan erosieve vormen minimaal. Voor Coepelduynen is het oppervlak relatief groot omdat hier een groot deel van de binnenduinen mee is gekarteerd. Wanneer de dynamische structuren samen worden genomen geldt zonder uitzondering dat het oppervlak aan dynamische vormen in alle proefgebieden aanmerkelijk is toegenomen.
Het oppervlak aan embryonaal duin is tussen 1996 en 2007 enorm gegroeid. De grootste oppervlakken zijn te vinden op Ameland west, Terschelling en Groote Keeten, de kleinste langs de rest van de Noord-Hollandse kust en op Schouwen. De geringe oppervlakken bij Heemskerk en Schouwen hangen samen met de afslag daar. Voor de Hollandse kust is het grote areaal bij Groote Keeten een bijzonderheid. Er is geen verband met zandbudget (behalve dat het zandbudget positief moet zijn, in gebieden met afslag ontstaan geen embryonale duinen). Wel blijkt dat de gebieden die weinig of niet gesuppleerd zijn de grootste oppervlakken aan embryonale duinen herbergen. Op zich is dit logisch, omdat in gebieden waar autonome aangroei overheerst embryonale duinen sterker ontwikkeld zullen zijn. Ook wanneer alleen de gesuppleerde gebieden worden beschouwd, is er geen verband tussen zandbudget en oppervlak embryonale duinen per km kust.
De gebieden met de grootste oppervlakken aan erosieve vormen zijn Terschelling (met Terschelling midden als onbetwiste koploper, maar dit is onder invloed van ingrepen), de Noord-Hollandse locaties en Schouwen. Terschelling en Groote Keeten zijn gebieden waar een groot oppervlak aan erosieve structuren samengaat met een groot oppervlak aan embryonale duinen én een grote aanstuiving. De Zuid-Hollandse proefgebieden, met uitzondering van Goeree, herbergen de kleinste oppervlakken aan erosieve structuren.

Texel midden, en in mindere mate Texel noord, herbergen een groot aantal erosieve vormen, die evenwel een beperkt oppervlak beslaan. Dit kan erop duiden dat hier de overgang naar een meer dynamische zeereep recentelijk op gang is gekomen. Ook voor het voorkomen van erosieve vormen geldt dat er geen verband is met het zandbudget. Weliswaar ontstaan in de gebieden met afslag veel erosieve structuren, maar a) zijn de gebieden met afslag niet tegelijk die met de laagste zandbudgetten (een achteruitgaande zeereep kan tegelijkertijd hoger worden en meer zand bevatten), en b) hebben de gebieden met de grootste oppervlakken juist een sterk positief budget. Het grote oppervlak op Terschelling hangt samen met ingrepen, en moet in dit opzicht buiten beschouwing worden gelaten.
Er is een zwakke correlatie tussen het voorkomen van erosieve structuren en het oppervlak aan embryonale duinen, behalve voor gebieden met een sterke aanstuiving en extreme dynamiek (Terschelling, Groote Keeten).

Tabel A Overzicht van zandsuppleties langs de Nederlandse kust, responstype van de zeereep en de morfologische veranderingen.

gebied	respons type	Suppleties m3/m			Zandbudget m3/m/j		embryonaal duin ha/km		erosieve vormen ha/km		doorstui-ving	relatie suppleties
		strand	vooroever	overig	vóór 1990-1995	na 1990-1995	1996	2007	1996	2007		
Ameland 17-20	4	156	335	13	7.4	9.7	0	1.2	0.16	0.28	matig	´+/-
Ameland 3-5	4	132	129		5.5	10.7	0.26	1.8	0.34	0.42	matig	0
Terschelling 15-20	5		269		12.3	8.1		2.49		7.4	veel	+
Terschelling 2-6	5				24.3	29.8	1.77	1.86	1.52	2.02	veel	0
Texel 18-24	3	1137	969		0.6	21.5	0	0.48	0.09	0.27	beperkt	++
Texel 11-15	4	642	689		-3.6	24.7	0	0.8	0.17	0.24	matig	++
Groote Keeten	5	205	248		23.3	19.3	1.09	1.87	0.57	1.08	veel	?
Schoorl	4-5	432	393		0.6	5.5	0.15	0.4	0.19	0.74	matig-veel	0
Bergen-Egmond	5	98	477		-6	9.7	0	0.33	0.85	1.17	veel	+
Castricum	3-4	150			-0.4	3.8	0.17	0.45	0.06	0.29	matig	0
Heemskerk	4-5	268			-2.8	7.4	0	0.03	0.21	0.8	matig-veel	´+/-
Langeveld	3		429		5.5	8.1	0.14	1.02	0	0.02	beperkt	0
Coepelduynen	2		245	7	4.2	8.8	0.67	0.84			geen	´+/-
Wassenaar	2	364	625		2.4	13.1	0.95	1.27	0.02	0.02	geen	++
Voorne	2	500		1137	10.3	7	0.56	1.35	0.02	0	geen	++
Goeree	2 en 4-5	2090		421	8.9	8.6	0	1.01	0.06	0.26	matig	++
Schouwen	3-5	989			-7.9	1.5	0.3	0.24	0.18	0.57	matig-veel	+
Walcheren	2-4	504	125	51	7.8	17.8	0.18	1.45	0.38	0.22	beperkt	+

Geel gemarkeerd: periode met meeste suppleties. ++ = overduidelijk; + = duidelijk; +/- = onduidelijk; 0 = geen enkele.

Responstypen van de zeereep

Op grond van het gedrag van het zand binnen de zeereep zijn 5 responstypen onderscheiden, waarvan de ruimtelijke verdeling langs de Nederlandse kust is aangegeven in Tabel A.. De overstuivingsgradiënt wordt van type 1 naar type 5 steeds uitgestrekter. Type 5 is wat dat betreft de ideale situatie, met een zeer uitgestrekte gradiënt, die tot ver landwaarts door kan lopen, en een open zeereep die als doorgeefluik voor dynamiek fungeert.

Type 1: Er is nauwelijks of geen dynamiek in de zeereep. Er is geen sprake van doorstuiving of ontwikkeling van embryonale duinen. Enige lichte vorm van aanstuiving bij de duinvoet is mogelijk. Potentie voor ontwikkeling van alle habitattypen is negatief.

Type 2: Er is met name sprake van dynamiek vóór de zeereep, door de ontwikkeling van embryonale duinen. Doordat de embryonale duinen het grootste deel van de dynamiek wegvangen is er geen dynamiek in de zeereep zelf. De doorstuiving is verwaarloosbaar. Potentie voor de ontwikkeling van habitattype 2110 is goed, bij doorgroeien van de embryonale duinen ontstaat habitattype 2120, witte duinen. Potentie voor onderhoud van grijze duinen achter de zeereep is matig tot slecht. Witte duinen op de zeereep zouden zich door een afname van de dynamiek kunnen ontwikkelen tot grijze duinen.

Type 3: Er is sprake van een matige tot forse dynamiek die leidt tot aanstuiving aan de voorzijde en ophoging van de top. De zeereep breidt daardoor uit. Embryonale duinen kunnen al dan niet voorkomen. De doorstuiving van de

voorzijde over de top naar de achterzijde is verwaarloosbaar. Habitattype 2120 is goed ontwikkeld, 2110 is wel of niet aanwezig. De potentie voor onderhoud van grijze duinen is beperkt.

Type 4: Net als bij type 3 is er sprake van een matige tot forse dynamiek, maar nu strekt deze zich ook uit tot achter de zeereep. De potentie voor onderhoud van grijze duinen is dan ook matig tot goed. Habitattype 2120 is goed ontwikkeld, 2110 is wel of niet aanwezig.

Type 5: Het laatste type kent de grootste dynamiek door extreme aanstuiving of secundaire verstuiving, of een combinatie van beide. Afhankelijk van de mate van aanstuiving, of de rol die afslag speelt bij de mobilisatie van zand, zijn embryonale duinen wel of niet aanwezig. Door de ontwikkeling van kerven (parabolisering) en stuifkuilen is de doorstuiving naar achteren toe veel groter dan in de andere typen. Er is een grote potentie voor onderhoud van grijze duinen.

Geochemische effecten

Langs de Hollandse kust is, waar suppleties plaatsvonden, suppletiezand duidelijk herkenbaar (zie onder) en tot 120-230 m landwaarts van de HWL afgezet met dikten van 0.1 – 5 m. Het geochemische onderscheid tussen suppletiezand en 'natuurlijk' zand (uit het presuppletietijdperk) is in het Waddendistrict eenvoudiger dan in het Rhenodunale district.

In het Waddendistrict (Texel, Schoorl en Bergen aan Zee) vertoont suppletiezand dat over de zeereep heen gestoven is, ten opzichte van niet overstoven 'natuurlijk' duinzand, doorgaans significant hogere gehalten aan kalk, P, S, As, Co en Ni, significant lagere gehalten aan organische stof en een significant lagere C/N-verhouding. De beste tracer van suppletiezand is het hogere kalkgehalte.

In het Rhenodunale district (Wassenaar) vertoont suppletiezand dat over de zeereep heen gestoven is, ten opzichte van niet overstoven 'natuurlijk' duinzand, significant hogere gehalten aan Fe, Mn, Mg, P, S, As, Co, Cr, Ni, Pb, Sn, Th, U, V, W en Zn, significant lagere gehalten aan Na- en K-silicaten, lagere gehalten aan organische stof (niet significant) en aan kalk (wel significant), en een lagere C/N-verhouding (niet significant). De beste tracer van suppletiezand is de combinatie van een hoger gehalte aan Fe, P, Co, V en Zn met een lager kalkgehalte.

In noordelijke richting (van Wassenaar naar Texel) vertoont het suppletiezand een systematische afname in het gehalte aan kalk, Na- en Ca-silicaten, P, Ti met diverse geassocieerde natuurlijke zeldzame aarden, Fe, As, Cd, Co, Ni, V en Zn.

Recent overstoven zand zonder suppletie (De Hors en Groote Keeten) wijkt af van gesuppleerd zand elders in het Waddendistrict, door een lager gehalte aan vooral Fe, P, Cu, Pb, V en lanthaniden. De verschillen zijn niet getoetst op statistische significantie. Vigerende bodemkwaliteitsnormen zijn nergens overschreden dus ook niet in gesuppleerd zand; alle toetsbare gehalten bevinden zich onder de achtergrondwaarde. Organische microveront-reinigingen (PAK, vluchtige chlooraromaten, BTEX-verbindingen en EOX) waren in wel en niet gesuppleerd strand- en duinzand (bemonsterd vanaf 0.1 m-MV en dieper) niet aantoonbaar.

Overige belangwekkende geochemische waarnemingen

Oorspronkelijk duinzand van het Rhenodunale type (zonder overstuiving met gesuppleerd zand) vertoont bij Wassenaar significant hogere gehalten aan kalk, Na-, K- en Ca-silicaten, Fe, Mn, P, Ti, en vrijwel alle spore-elementen, in vergelijking met duinzand van het Waddendistrict. De C/N-verhouding is daarentegen lager (maar niet significant). Genoemde verschillen zijn grotendeels in lijn met eerdere waarnemingen, maar nu voor een veel groter aantal elementen vastgelegd.

De a priori indeling van zand in titaniumklassen blijkt zeer effectief in het scheiden van zand (wel en niet gesuppleerd) met aanzienlijke natuurlijke, aan Ti gerelateerde verschillen in gehalte aan vooral Mn, lanthaniden (+ Sc en Y), Cr, Th, U, V en Zr.

Na, Mg en S (als SO4) vertonen dicht bij de Hoog Water Lijn (HWL) zeer significante bijdrages van indrogend zeezout (max. resp. ca. 40, 20 en 60 %).

Recent overstoven zand zonder suppletie (De Hors en Groote Keeten) wijkt af van het lokale duinzand zonder recente overstuiving, door een hoger gehalte aan Na-silicaat (niet significant), anorganisch P (niet significant) en S (wel significant), een significant lager gehalte aan organische stof en Cu, en een niet-significant lager gehalte aan Pb.

De mate van doorstuiving volgens de geochemie
De geochemische resultaten laten zien dat de mate van doorstuiving zoals volgend uit de geomorfologische klassificatie van zeereep-responstypen gedeeltelijk overeenkomt met de mate van doorstuiving zoals afgeleid uit de geochemische resultaten. Voor responstypen 4 (Texel, Schoorl) en 5 (Groote Keeten, Bergen Egmond) is de doorstuiving inderdaad goed zichtbaar, maar de verschillen tussen responstype 4 en 5 zijn minder duidelijk. Voor responstype 3 (Wassenaar) zou de doorstuiving beperkt tot niets moeten zijn, maar blijkt deze geochemisch toch wel op te treden zij het in mindere mate (minder ver en minder dik) dan bij responstypen 4 en 5. Dit pleit ervoor om ook ondieper dan 0.1 m –MV te gaan bemonsteren om de landwaartse doorstuivingsgrens langs geochemische weg beter vast te stellen.

Gevolgen voor de korrelgrootteverdeling
Gesuppleerd zand (op strand en over zeereep gestoven) is overal grover dan 'natuurlijk' duinzand zonder overstuiving met gesuppleerd zand (gemiddelde en mediaan). Dit verschil is op de locaties Westerduinen en Wassenaar significant, op de locaties Schoorl en Bergen aan Zee niet. Dit heeft waarschijnlijk geen gevolgen voor de verstuifbaarheid en geomorfologische ontwikkeling, mogelijk enig effect op de fysische bodemeigenschappen en ecologie.
Gesuppleerd zand bevat overal significant minder lutum (<2 µm) en slib (<16 µm). Ook de fracties <32 en <64 zijn significant kleiner, terwijl percentiel P10 significant groter is. Een lager gehalte aan lutum maakt de verstuifbaarheid groter.
De sorteringsgraad (waarvoor P60/P10 of P90/P10 maatgevend) van gesuppleerd zand is in het Waddendistrict significant iets beter dan niet-gesuppleerd zand (lagere waarde), bij Wassenaar is het verschil statistisch niet aantoonbaar. Dit effect is waarschijnlijk niet relevant voor geomorfologie en ecologie.
Van het gesuppleerde zand is dat bij de Westerduinen het grofste en dat bij Bergen / Schoorl het fijnste. De variatie past binnen de natuurlijke variatie in korrelgrootte langs de Nederlandse kust.

Overige waarnemingen aan de korrelgrootteverdeling
Oorspronkelijk duinzand (zonder overstuiving met gesuppleerd zand) is bij Wassenaar (Rhenodunaal type) iets fijner dan in het Waddendistrict. Dit verschil is statistisch significant.
Recent overstoven zand zonder suppletie (De Hors en Groote Keeten) is weliswaar iets grover en minder lutumrijk dan niet recent overstoven zand, maar de verschillen zijn statistisch niet significant.
Suppletiezand met een verhoogd titaangehalte heeft op de locatie Wassenaar (kalkrijk suppletiezand) een significant fijnere korrelgrootte met meer lutum dan suppletiezand met normaal titaangehalte. In het Waddendistrict geldt voor kalkloos zand zonder suppletie dat een (sterk) verhoogd titaangehalte samengaat met een significant grovere korrelgrootte en minder lutum.
De gemiddelde korrelgrootte (gewogen naar gewichtspercentage) is zwak negatief gecorreleerd met de afstand tot de hoogwaterlijn (X-HWL), alleen op de locaties Groote Keeten en Wassenaar. Dit betekent dat er tijdens het transport landwaarts een selectie op korrelgrootte plaatsvindt, doordat de fijne korrels verder worden geblazen dan de grove. Elders is geen relatie aantoonbaar. Het lutumgehalte correleert daarentegen op vrijwel alle locaties positief met X-HWL.

Kalkgehalte en overstuiving
De geochemische analyse geeft een goede aanvulling op de geomorfologische analyse van overstuiving. De fijne overstuiving is moeilijk of niet te detecteren met de bestaande

hoogtemetingen, maar wel op basis van kalkgehalten (Waddendistrict) en mogelijk ook op basis van de combinatie van het gehalte aan Fe, P, Co, V, Zn en kalk (Rhenodunale district). Wanneer het vermoeden van depositie bestaat, maar dit op grond van de jarkusgegevens niet te kwantificeren is, blijkt op grond van het kalkgehalte wel of er sprake is van overstuiving. In zones waar het vermoeden van overstuiving bestaat blijkt het kalkgehalte nabij het oppervlak hoger dan het kalkgehalte van het onderliggende, oudere sediment. Dit gaat vooral op in de kalkarme duinen. Op grond van de kalkgehalten krijgen we daarmee een indicatie van de zone waar overstuiving een rol speelt. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat de ondiepst bemonsterde laag zich altijd op circa 10 cm bevond, zodat het echte landoppervlak buiten schot is gebleven. De echte toplaag is vaak lastig te bemonsteren door aanwezigheid van organische stof of dichte wortellagen. Op grond van het kalkgehalte van de ondiepste monsters wordt het volgende duidelijk:

- In de Westerduinen op Texel speelt overstuiving over de gehele zeereep. De achterliggende zone is niet bemonsterd.
- Bij Groote Keeten speelt overstuiving tot aan de achterkant van de zeereep een rol. Ook op een tweede rug achter de zeereep is aan een verhoogd kalkgehalte aan het oppervlak nog een invloed merkbaar. Aan de landwaartse kant daarvan lijkt de rol van overstuiving uitgespeeld. In totaal bestrijkt de overstuivingszone hier, inclusief de zeereep, ongeveer 200 m. Dit lijkt weinig, gezien het feit dat deze zeereep vrij "open" is, gekerfd, met stuifkuilen, en een hoge mate van dynamiek. De zeereep is echter ook aangroeiend, loopt vanaf het strand flauw op, en door deze vorm van reliëf zal het "sproei"effect, waarbij zand tegen de zeereep op gestuwd wordt en daardoor hoog in de lucht komt, beperkt zijn.
- Bij Schoorl neemt het kalkgehalte achter de zeereep zeer snel af. De achterliggende, hogere duinen zijn vrijwel geheel ontkalkt. Aan de hand van het kalkgehalte aan het oppervlak, lijkt de rol van overstuiving met kalkhoudend zand al binnen 270 m uitgespeeld. Ook hier dus een vrij beperkte zone, wat waarschijnlijk samenhangt met een vrij gesloten zeereep met dichte, vitale helmbegroeiing en beperkte secundaire verstuiving.
- Bij Bergen-Egmond hebben we te maken met een veel hogere zeereep, met veel secundaire verstuiving, een steile voorkant, en daardoor, zoals verwacht een verdere doorvoer van kalkhoudend zand. De overstuiving lijkt hier een zone van 300 m te bestrijken.
- Bij Wassenaar is het overstuivende zand juist kalkarmer dan het zeer kalkrijke, onderliggende zand. Het is lastig het kalkgehalte hier als een proxy voor de overstuiving te gebruiken. Het is hier echter ook minder relevant. Overstuiving met kalkhoudend zand is in de kalkarme duinen een belangrijke ecologische gradiënt, in het kalkrijke duin blijkbaar niet. Hier is dus vooral de mate van overstuiving met betrekking tot bedekking van planten van belang, en deze is goed af te leiden uit de Jarkusgegevens.

Vervolg

Om meer inzicht in de fijne overstuiving te krijgen moet deze in een vervolgtraject in het veld worden gemeten en bemonsterd.

Het is op grond van de huidige gegevens nog niet goed mogelijk de responstypen en geomorfologische variatie in de zeereep geochemisch te onderscheiden, omdat vooralsnog vooral vergelijkbare gebieden zijn bemonsterd, namelijk waar zo groot mogelijke effecten verwacht werden. Daarom moeten in een vervolgtraject ook transecten in andere zeereeptypen worden bemonsterd, waarna het mogelijk zal zijn de verschillende typen ook geochemisch te karakteriseren. Belangrijk punt is de bemonstering van een aantal transecten waar de zeereep "op slot" zit, omdat dan kan worden aangetoond of de overstuiving over en achter de zeereep hier wel of geen rol speelt en of de grijze duinen al dan niet "in gevaar" zijn.

Het is op grond van de huidige gegevens ook nog niet mogelijk een statistische betrouwbare uitspraak te doen over de effecten van verschillen in suppletiehistorie op de geochemie. Daartoe is de steekproef van transecten te beperkt; er is te veel variatie in

suppletiehistorie. In een vervolgonderzoek zou daarom een uitgebreidere selectie aan suppletietypen en –historie moeten worden bemonsterd.

12 Literatuur

- Arens, S.M., 1994. Aeolian processes in the Dutch foredunes. Proefschrift Universiteit van Amsterdam.
- Arens, S.M., 2007. Stimuleren van dynamiek in de zeereep, Terschelling, paal 3 tot 8. Project LIFE-Duinen. Notitie RAP2007.03 in opdracht van Staatsbosbeheer.
- Arens, S.M., 2008. De stuifkuil bij Wassenaar; hoogtemetingen oktober 2008. Notitie RAP2008.04 in opdracht van het Hoogheemraadschap van Rijnland.
- Arens, S.M., 2009a. Dynamiek in de zeereep, Terschelling, paal 3 tot 8. Project LIFE-DUINEN. Notitie RAP2009.01 in opdracht van Staatsbosbeheer.
- Arens, 2009b. Effecten van suppleties op duinontwikkeling; geomorfologie. Rapportage fase 1. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek RAP2009.02 in opdracht van Rijkswaterstaat Waterdienst.
- Arens, S.M. , 2009c. Kustverdediging, suppleties en natuur. Duin 32-1, 18-19.
- Arens, S.M., 2009d. De zeereep bij Parnassia; hoogtemetingen oktober 2008. Notitie RAP2008.03 in opdracht van Hoogheemraadschap van Rijnland.
- Arens, S.M., L. Geelen, H. van der Hagen en Q. Slings, 2007a. Duurzame verstuiving in de Hollandse Duinen; Kans, droom of nachtmerrie. Rapport Fase 1. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, Waternet, nv PWN, DZH, RAP2007.02.
- Arens, S.M., L. Geelen, H. van der Hagen en Q. Slings, 2007b. Implications of environmental change for dune mobility in the Netherlands. Paper presented at the International Conference on Coastal Dunes 2007, Santander, Spain.
- Arens, S.M., H.F. Everts, J.A. Klijn & N.P.J. de Vries, 2007c. Guidelines for the monitoring programme "effects of Maasvlakte 2 on the dunes of Voorne and Goeree"; signals and noise: how to distinguish between Maasvlakte 2 generated effects and other effects. Final report, 28 March 2007. RAP2006.09 in opdracht van RWS-RIKZ.
- Arens, S.M. & G. Janssen, 2009. Kustverdediging, suppleties en natuur. Vakblad Bos en Natuur, kustspecial.
- Arens, S.M. & M. Mannaart, 2008. De zeereep van Groote Keeten; vormen en processen. Rapport Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek en Stichting Duinbehoud m.m.v. Landschap Noord-Holland, RAP2008.01.
- Arens, S.M. & J.P.M. Mulder, 2008. Dynamisch kustbeheer goed voor veiligheid en natuur. Land + Water, 9 33-35.
- Arens, S.M., C.W. Smit, C.J.W. Bruin & P.D. Jungerius, 2003. Dynamisch zeereepbeheer op Texel, experiment Paal 14. Evaluatie 1998-2003. Rapport Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland en Staatsbosbeheer RAP2003.07 in opdracht van Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland.
- Arens, S.M. & J. Wiersma, 1994. The Dutch foredunes; inventory and classification. Journal of Coastal Research., Vol. 10, 189-202.
- Beekman, F., 2007. De kop van Schouwen in het zand. Duizend jaar duinvorming en duingebruik op een Zeeuws eiland. Uitgeverij Matrijs, Utrecht, 304 pp.
- Brière, C., A.B. Cohen, H.F.P. van den Boogaard en S.M. Arens, 2007. Ecobeach Monitoring Project. Phase II – Half Year Study. Rapport in opdracht van Rijkswaterstaat RIKZ. Delft Hydraulics.
- Brière, C., 2010. OBN-Project – Statistical modeling of the beach and dune dynamics. Report Deltares 1201447-000.

- Damsma, Th., 2009. Dune growth on natural and nourished beaches: ´A new perspective`. M.Sc. Thesis Technische Universiteit Delft.
- De Ruig, J.H.M., 1987. De sedimentbalans van de gesloten Hollandse Kust over de periode 1963 tot 1986. Nota GWAO-89.016 ZL-NXL89.42, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren / Directie Zeeland.
- EGG, 2010. Plan van Aanpak; Ecologische effecten van zandsuppletie op de duinen langs de Nederlandse kust. Onderzoeksopzet naar ecologische effecten van zandsuppletie op de Nederlandse kustduinen – 1e uitwerking aanpak. Rapport EGG consult Groningen in opdracht van Deltares.
- Jeuken, C., S.M. Arens, M. Jansen, B. Bliek, B. Kruijsen & L. Vermeer, 2005. Westerschelde Containerterminal en het behoud van jonge duinen. Rapport Z3856, Waterloopkundig Laboratorium in opdracht van Zeeland Seaports.
- Klijn, J.A., 1981. Nederlandse kustduinen; geomorfologie en bodems. Pudoc, Wageningen.
- Psuty, N.P., 2004. The coastal foredune: a morphological basis for regional coastal dune development. In: M.L. Martinez & N.P. Psuty (Eds.), Coastal Dunes; Ecology and conservation. Ecological Studies 171. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 11-27.
- Rijkswaterstaat, 2009. Spreadsheet suppletiehistorie. Rijkswaterstaat, Waterdienst.
- Samenwerkingsverband Het Tij Geleerd, 2008. Eilanden Natuurlijk; natuurlijke dynamiek en veerkracht op de Waddeneilanden. 95 pp.
- Stuyfzand, P.J., S.M. Arens & A.P. Oost, 2010. Geochemische effecten van zandsuppleties langs de Hollandse kust. Rapport KWR Water Cycle Research, in opdracht van OBN/LNV. KWR-rapport 2010.048, 71pp.
- Tordoir, M.T., 2010. Habitattypen rond de zeereep: oppervlakteverdeling, externe invloeden en Natura2000 beleid. Afstudeerverslag opleiding Kust en Zeemanagement, van Hall-Larenstein in opdracht van Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek en Deltares.
- Dieren, W. van, 1934. Organogene Dünenbildung. Proefschrift.
- Van Puijvelde, S., 2010. Classification of the Dutch foredunes. Stageverslag Deltares/Arens Bureau- voor Strand- en Duinonderzoek / Universiteit Utrecht.
- Vertegaal, C.T.M., S.M. Arens, B. Brugge, M.M. Groenendaal, C. ten Haaf & H.E. Wondergem, 2003. Evaluatie 'De Kerf' 1997-2002, Vertegaal Ecologisch Advies en Onderzoek, Leiden.
- Wal, D. van der, 1999. Aeolian transport of nourishment sand in beach-dune environments. Proefschrift Universiteit van Amsterdam.
- Wal, D. van der, 2004. Beach-dune interactions in nourishment areas along the Dutch coast. Journal of Coastal Research, 20, 317-325.

13 Lijst met Figuren en Tabellen

Figuur 2.1. Effecten van suppleties op processen op vooroever, strand en duinen. Naar Jeuken et al, 2005.
Figuur 2.2. Stroomdiagram mogelijke effecten suppleties op habitattypen. Voor uitleg zie tekst.
Figuur 3.1. Methode van kuberen. Totale verschil duinvolume is a (overstuiving) + b (afslag, landwaarts van duinvoet 2008) + c (afslag tussen duinvoet 1990 en 2008). Strand- en onderwateroever (d) blijft in deze berekening buiten beschouwing.
Figuur 3.2. Berekening volumes voor koppeling vooroever/strand en zeereep
Figuur 5.1. Jaarlijkse volumeverandering per kustvak; Wadden en Hollandse kust
Figuur 5.2. Jaarlijkse volumeverandering per kustvak; Delta regio
Figuur 5.3. Gemiddelde volumeverandering per kustvak voor een aantal periodes in m^3/m.jr
Figuur 6.1. Typerend dwarsprofiel voor Ameland oost.
Figuur 6.2. Typerend dwarsprofiel voor Ameland west.
Figuur 6.3. Typerende profielen voor Terschelling midden
Figuur 6.4. Typerende profielen voor Terschelling west
Figuur 6.5. Typerende profielen voor Texel noord
Figuur 6.6. Typerende profielen voor Texel midden
Figuur 6.7. Typerend dwarsprofiel voor Groote Keeten.
Figuur 6.8. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
Figuur 6.9. Typerend dwarsprofiel voor Schoorl.
Figuur 6.10. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
Figuur 6.11. Volumeontwikkeling per raai.
Figuur 6.12. Erosief dwarsprofiel voor Bergen-Egmond.
Figuur 6.13. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
Figuur 6.14. Typerend dwarsprofiel voor het gebied ten zuiden van Castricum.
Figuur 6.15. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
Figuur 6.16. Typerend dwarsprofiel voor het gebied rond Heemskerk.
Figuur 6.17. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
Figuur 6.18. Typerend dwarsprofiel voor Langeveld.
Figuur 6.19. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
Figuur 6.20. Typerende profiel voor Coepelduynen
Figuur 6.21. Typerend dwarsprofiel voor Wassenaar.
Figuur 6.22. Typerend profiel voor Voorne.
Figuur 6.23. Typerende profielen voor Goeree.
Figuur 6.24. Typerende profielen voor Schouwen met aangroei (boven) en afslag (onder).
Figuur 6.25. Typerende profielen voor Walcheren.
Figuur 6.26. Ontwikkeling van totaal volume van het kustprofiel per gebied (inclusief suppleties)
Figuur 6.27. Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Texel noord.
Figuur 6.28 Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Groote Keeten.
Figuur 6.29. Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Schoorl.
Figuur 6.30. Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Bergen-Egmond.

Figuur 6.31. Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Castricum.
Figuur 6.32. Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Heemskerk.
Figuur 6.33. Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Langeveld.
Figuur 6.34. Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Wassenaar.
Figuur 6.35. Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Schouwen.
Figuur 6.36. Volumeontwikkeling op vooroever/strand, zeereep en totaal kustprofiel; Walcheren
Figuur 7.1. Verandering in areaal van het totaal areaal aan embryonale duinen (boven) en erosieve vormen (beneden) per proefgebied. NB Terschelling midden buiten de range
Figuur 7.2. Oppervlak aan embryonaal duin per proefgebied in ha/km (NB Terschelling midden eerste opname niet bepaald, afwijkende jaren: 2003-2008 voor Terschelling west; eerste opname 2000 voor Castricum en Wassenaar)
Figuur 7.3. Aantal en oppervlak van erosieve structuren per km per proefgebied. (NB Terschelling midden eerste opname niet bepaald, Coepelduynen niet weergegeven)
Figuur 7.4. Correlatie tussen voorkomen van embryonale duinen en erosieve structuren

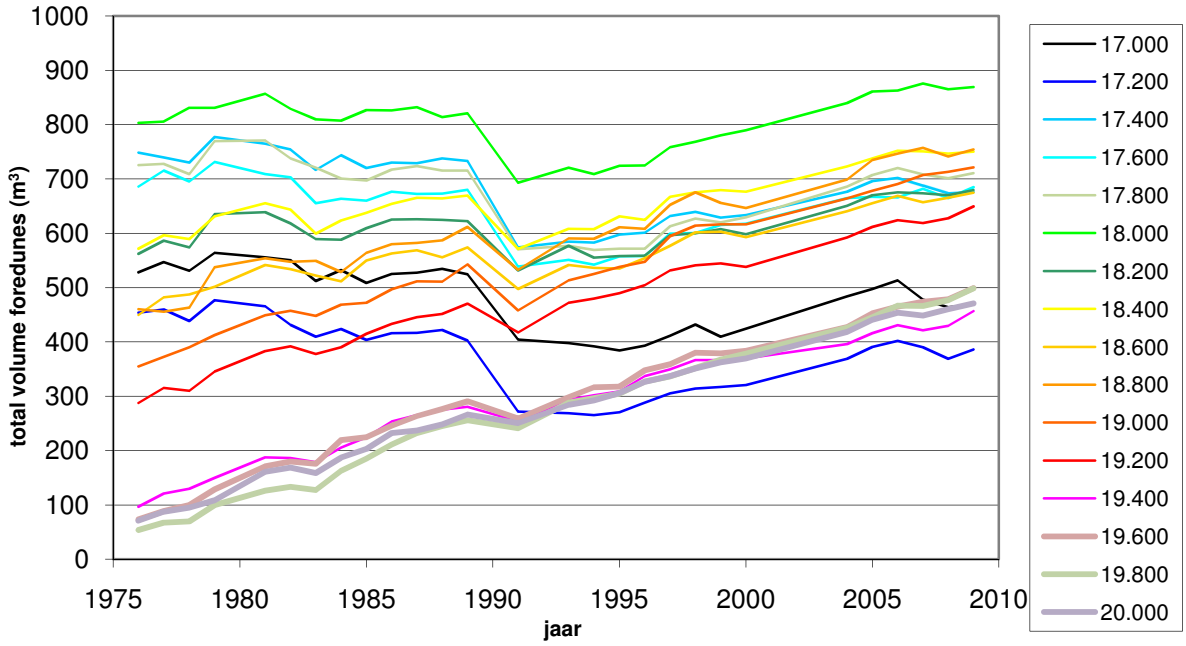
Tabel 2.1. Mogelijke effecten van suppleties op habitattypen (zonder zeereepbeheer).
Tabel 3.1. Overzicht beschikbare data Laseraltimetrie. X: geen data beschikbaar
Tabel 3.2. Beschikbaarheid luchtfoto´s
Tabel 4.1. Overzicht proefgebieden met suppletiehistorie.
Tabel 5.1. Volumeverandering per kustvak en periode in m^3/m.jr
Tabel 5.2. Aanzanding en suppletiehoeveelheden per kustvak. Alle hoeveelheden in 10^{6} m^3.
Tabel 6.1. Mogelijke combinaties van zandbudgetten op vooroever/strand en zeereep
Tabel 6.2. Budgetten vóór en na suppleren. In rood de hoogste correlatie.
Tabel 8.1. Overzicht belangrijkste parameters per kilometer.

14 Verklarende woordenlijst

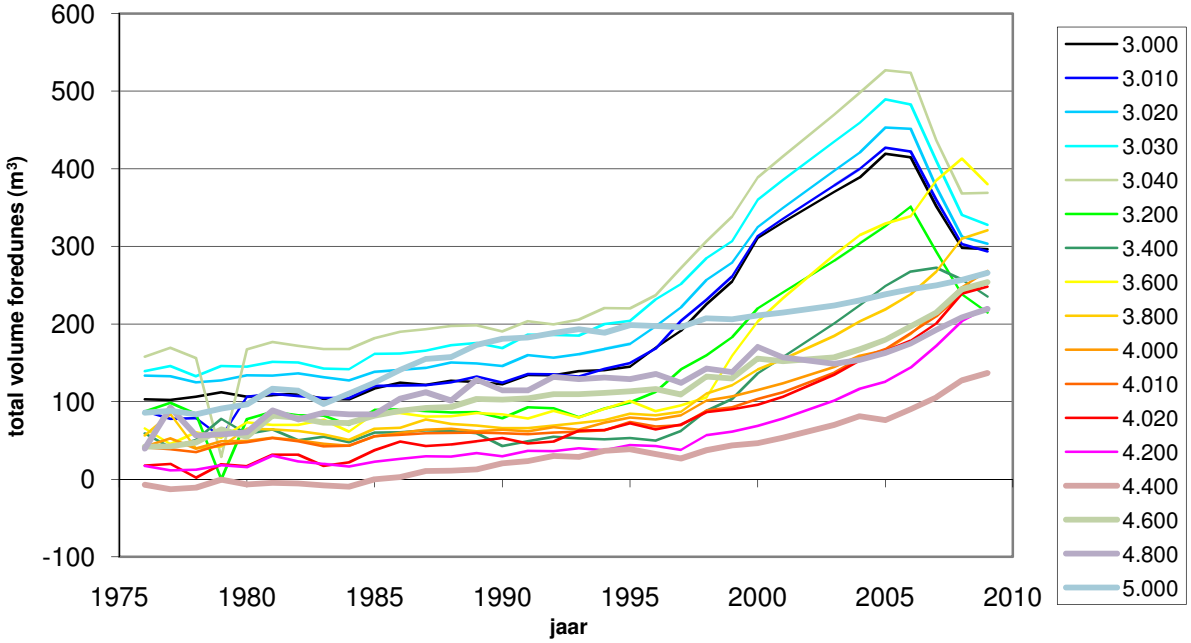
aanstuiving	aanvoer van zand door de wind
afsnoering	het afschermen van een deel van het strand of andere laagte door het ontstaan van een nieuwe duinenrij
deflatie	erosie door uitblazing van zand door de wind
doorstuiving	doorvoer van zand door de wind
duinvallei	een laagte in het duin, ontstaan door afsnoering of uitblazing
duinvoet	de hellingknik van strand naar zeereep, in deze studie een vaste hoogte van 3m NAP
embryonale duinen	habitattype 2110, beginnende duintjes op het strand of tegen de duinvoet met veel dynamiek en overwegend begroeid met Biestarwegras
geomorfologie	de leer van de landschapsvormen en landschapsvormende processen
grijze duinen	habitattype 2130, duinen met kruidenrijke vegetatie en een beperkte mate van dynamiek
habitattype	een deel van een ecosysteem met een typerende vegetatie
kerf	een opening in de zeereep die vanaf het strand naar binnen loopt
kubering	volumeberekening
kustlijnzorg	onderzoeksprogramma van Rijkswaterstaat/Deltares ten behoeve van kennisontwikkeling voor kustverdediging
laseraltimetrie	hoogtemeten op afstand door middel van laser
middenduinen	duinen landwaarts van de zeeduinen, dus ver van zee gelegen
natura 2000	netwerk van Europese natuurgebieden
obn	Ontwikkeling en Beheer van Natuurkwaliteit. Programma van het Ministerie van LNV
overstuiving	het bedekt raken met zand dat door de wind wordt verspreid
parabolisering	het uitgroeien van een kerf of stuifkuil tot paraboolduin
paraboolduin	een duinvorm met een paraboolvormig oppervlak, bestaande uit een kop en twee armen die in de richting van de (meest actieve) wind wijzen
redynamiseren	het tot leven wekken van dynamische processen
remobilisatie	het opnieuw in beweging brengen of komen van duinen
saltspray	aerosolen van zeezout die door de wind landwaarts worden verplaatst
strand	de zone tussen de laagwaterlijn en de duinvoet
stuifkuil	kuil in de duinen die door winderosie ontstaat
suppletie	het toevoegen van zand om tekorten aan te vullen
uitstuiving	erosie door uitblazing van zand door de wind
vooroever	het kustprofiel zeewaarts van de laagwaterlijn
witte duinen	habitattype 2120, duinen met veel dynamiek en overwegend begroeid met Helm
zeeduinen	duinen direct achter de zeereep
zeereep	de eerste duinenrij langs het strand, langs de Hollandse kust ook vaak de waterkering

Bijlage 1 Resultaten Jarkus

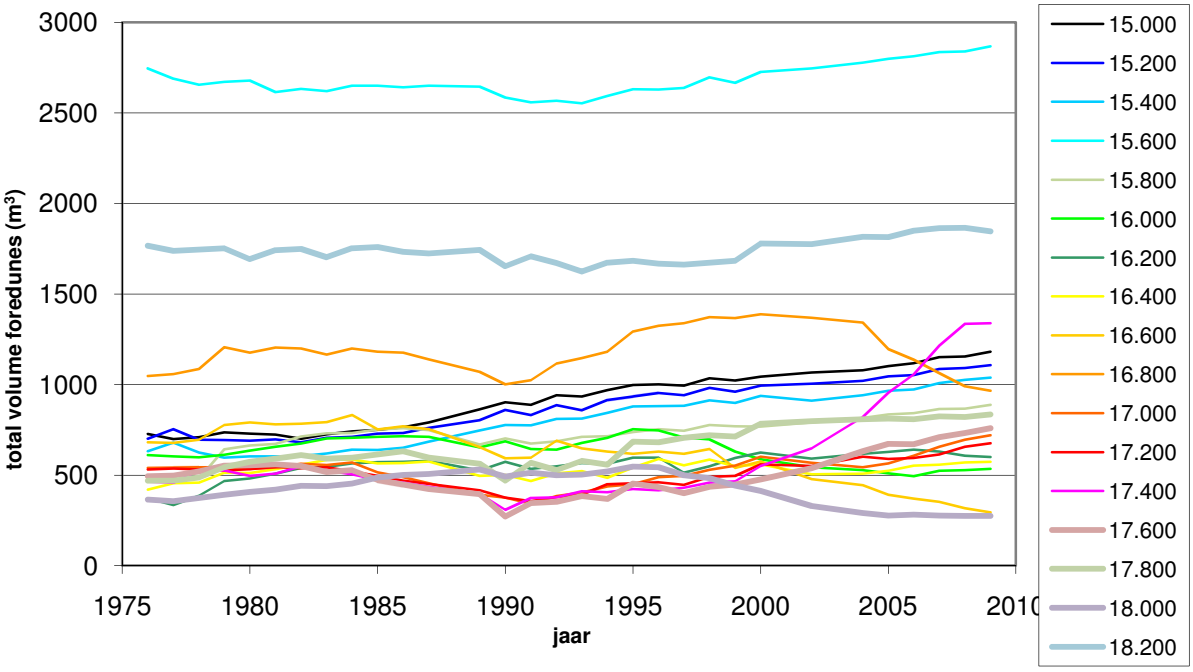
Ameland (RSP 17.00-20.00)

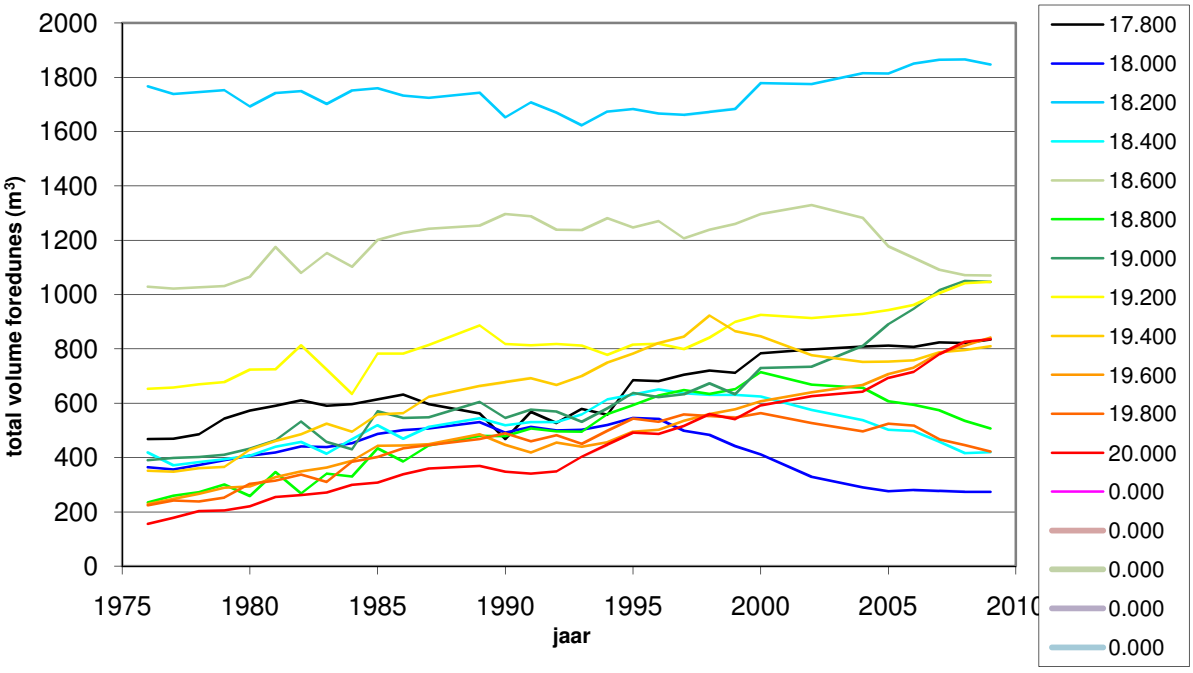


Ameland (RSP 3.00-5.00)

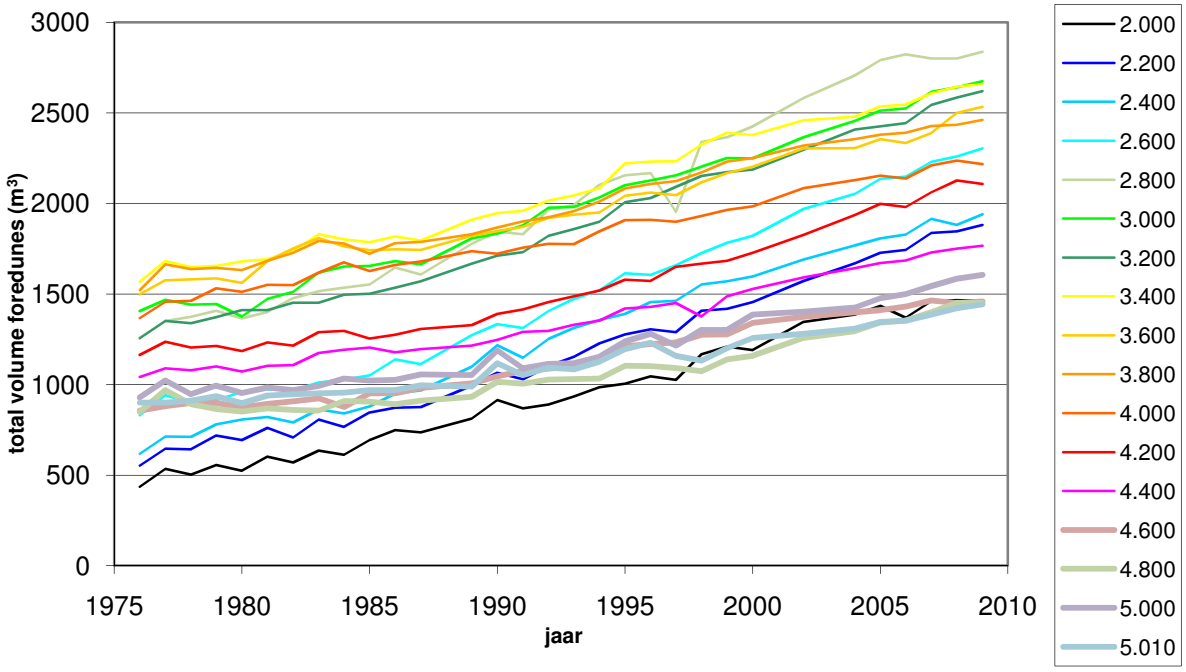


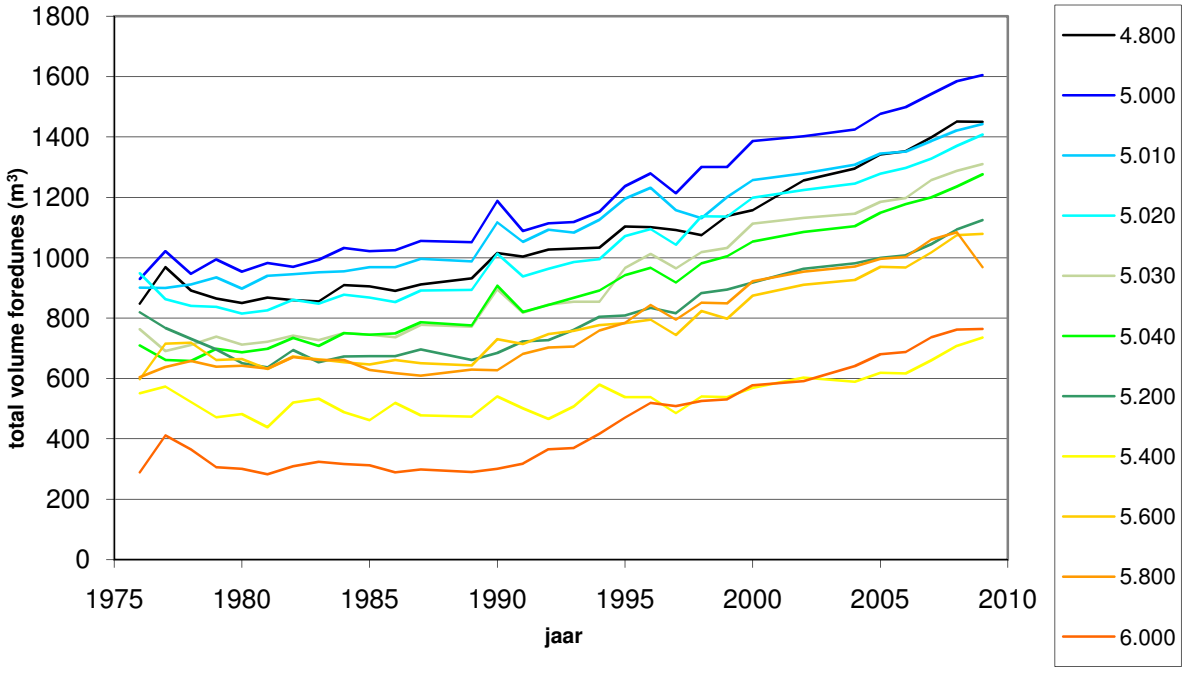
Terschelling (RSP 15.00-20.00)



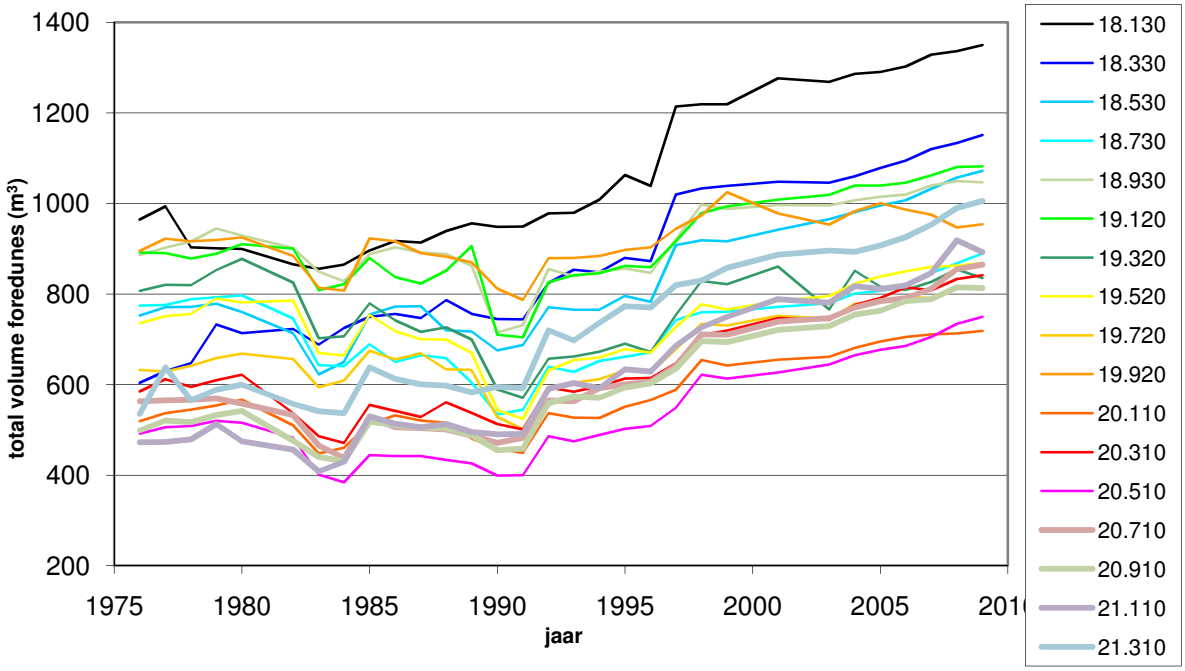


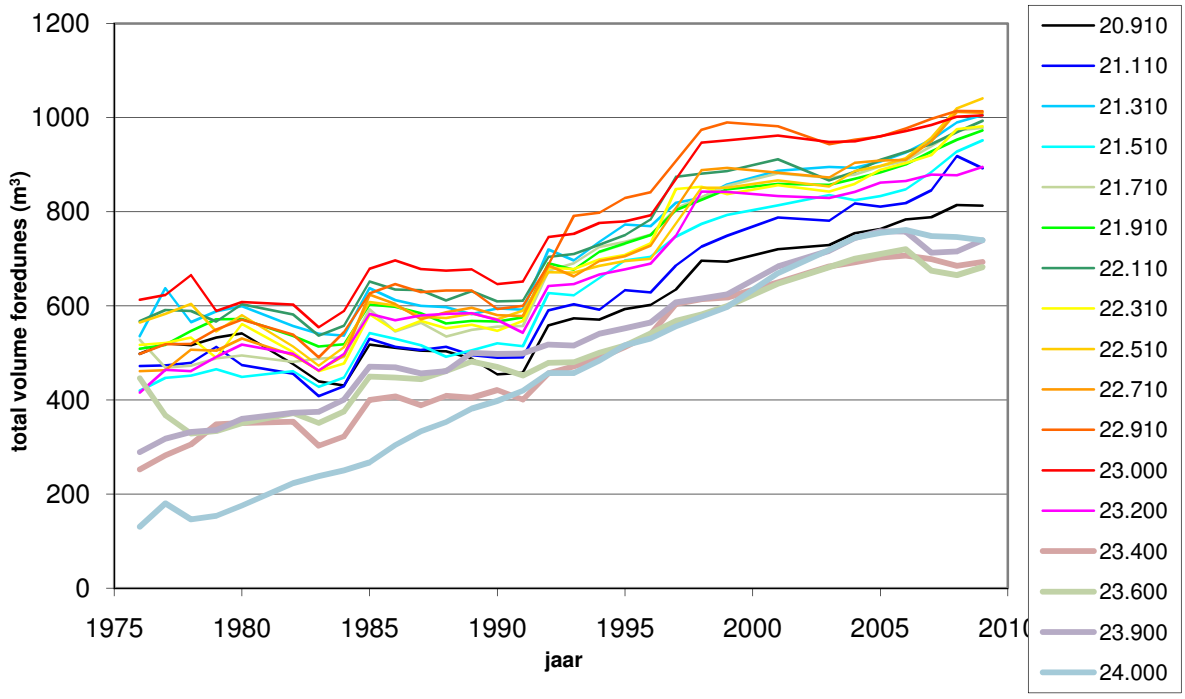
Terschelling (RSP 2.00-6.00)



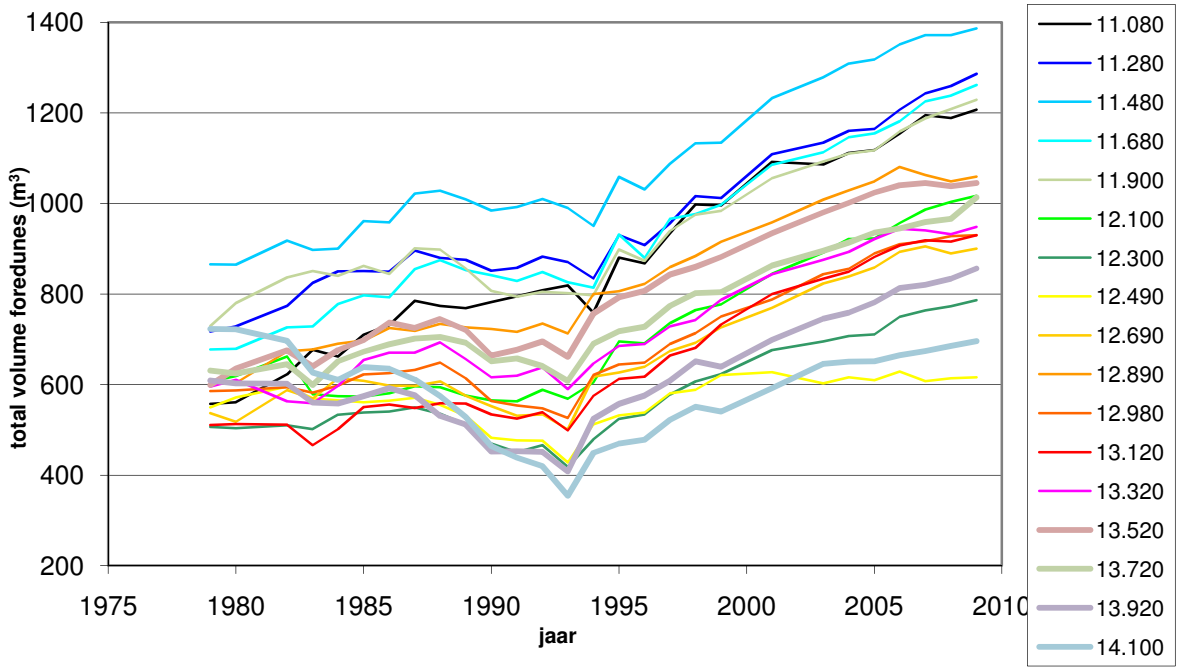


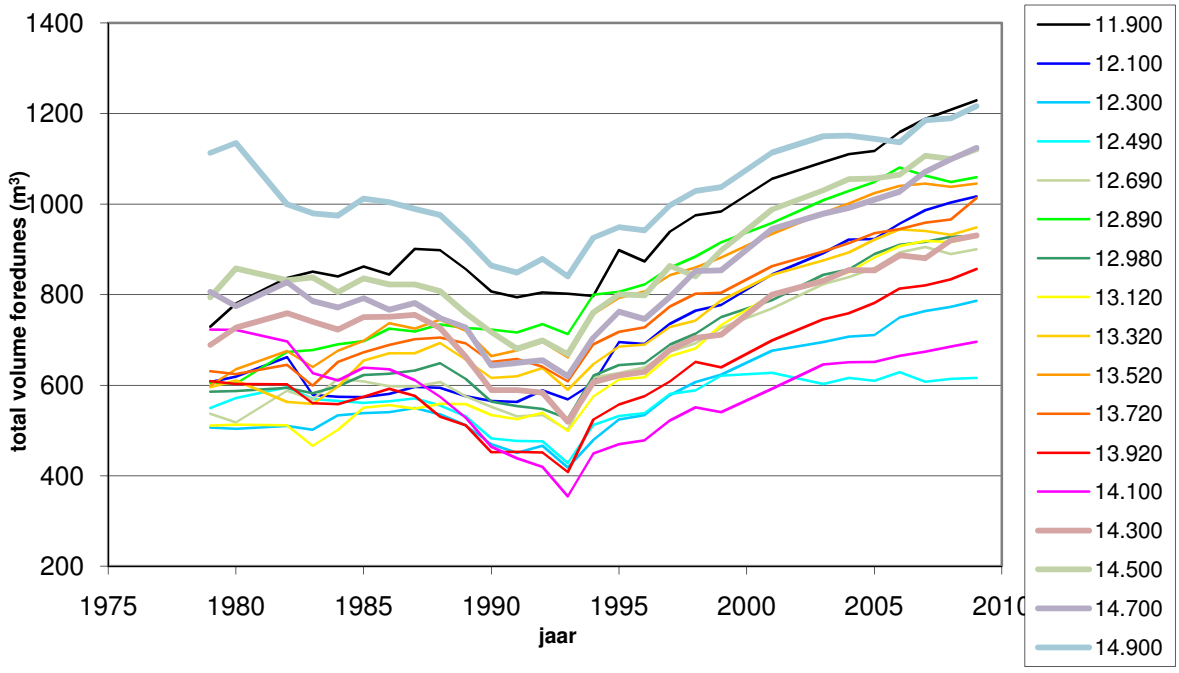
Texel (RSP 18.00-24.00)



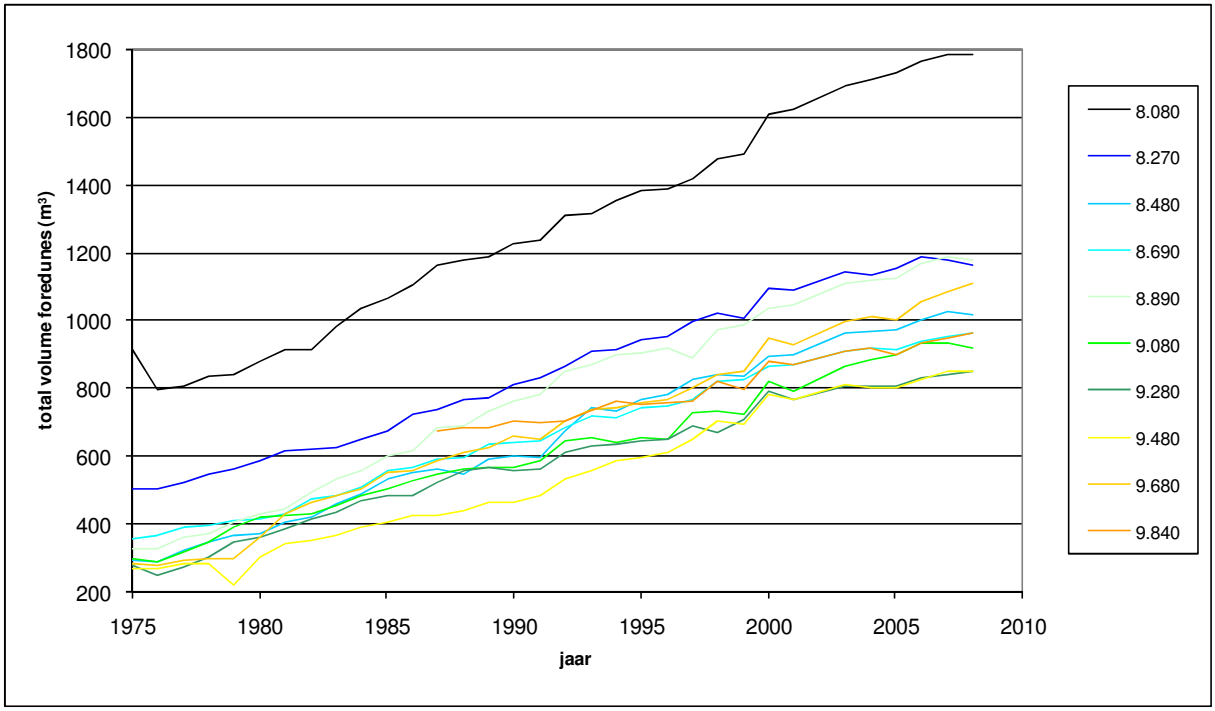


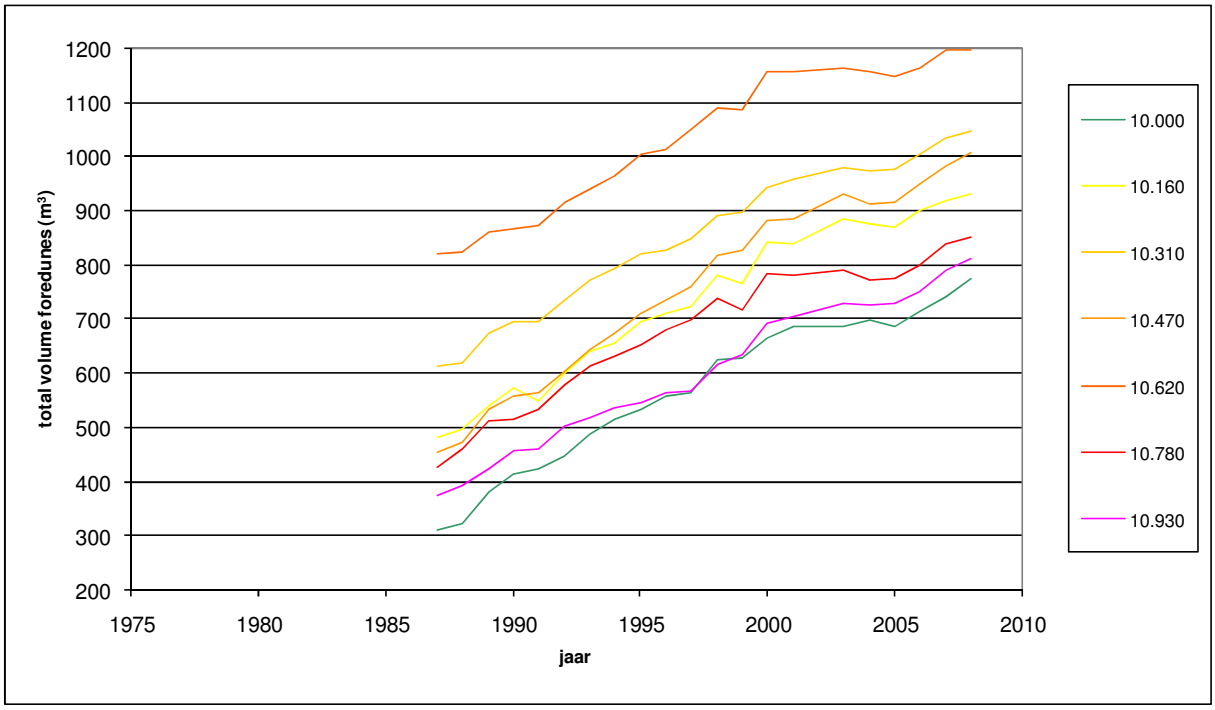
Texel (RSP 11.00-14.00)



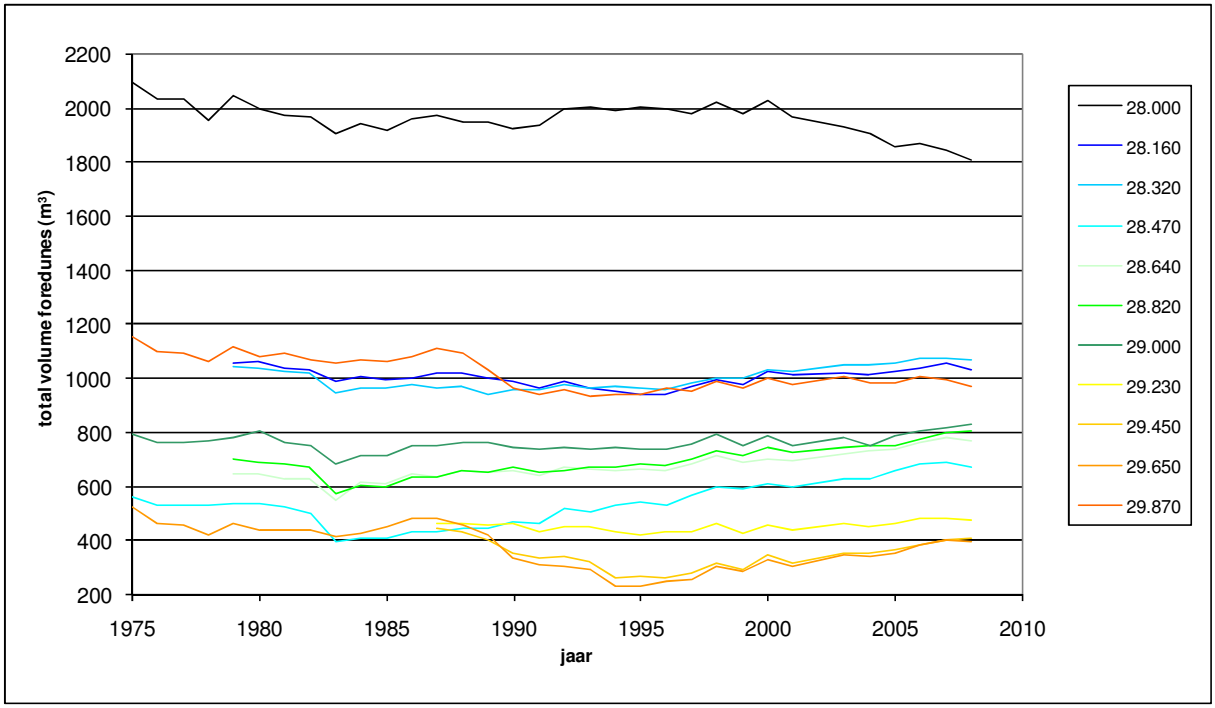


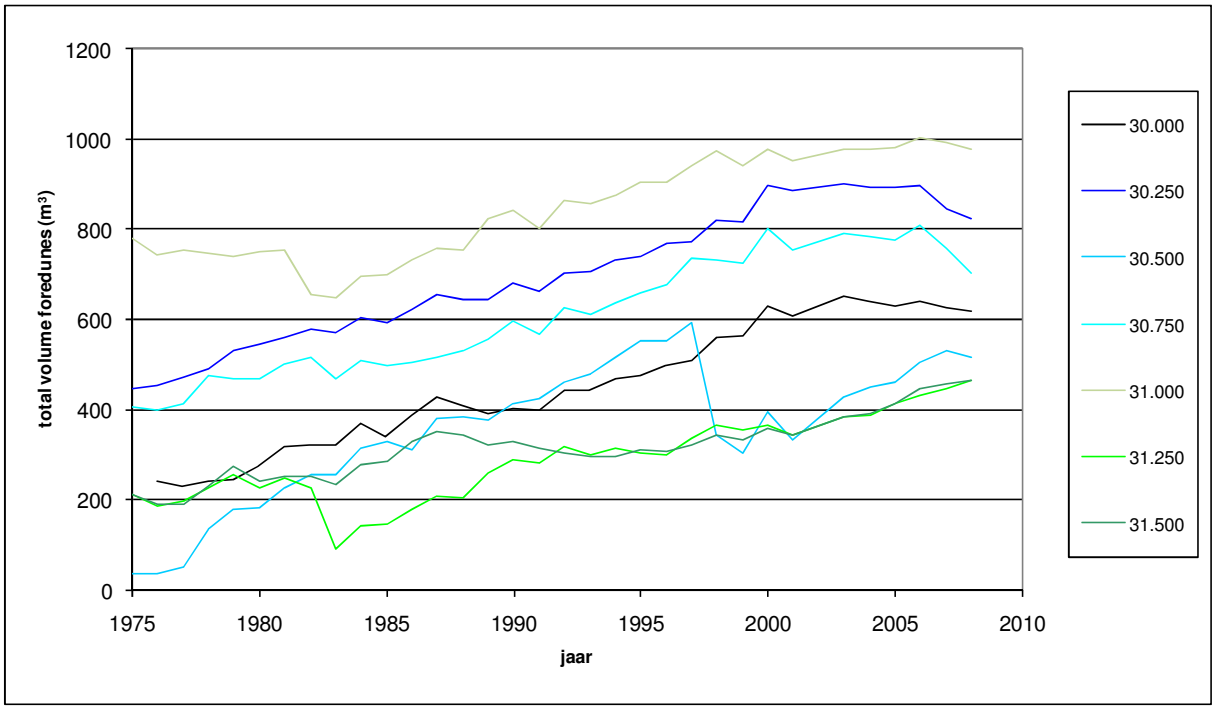
Groote Keeten (RSP 8.00-11.00))



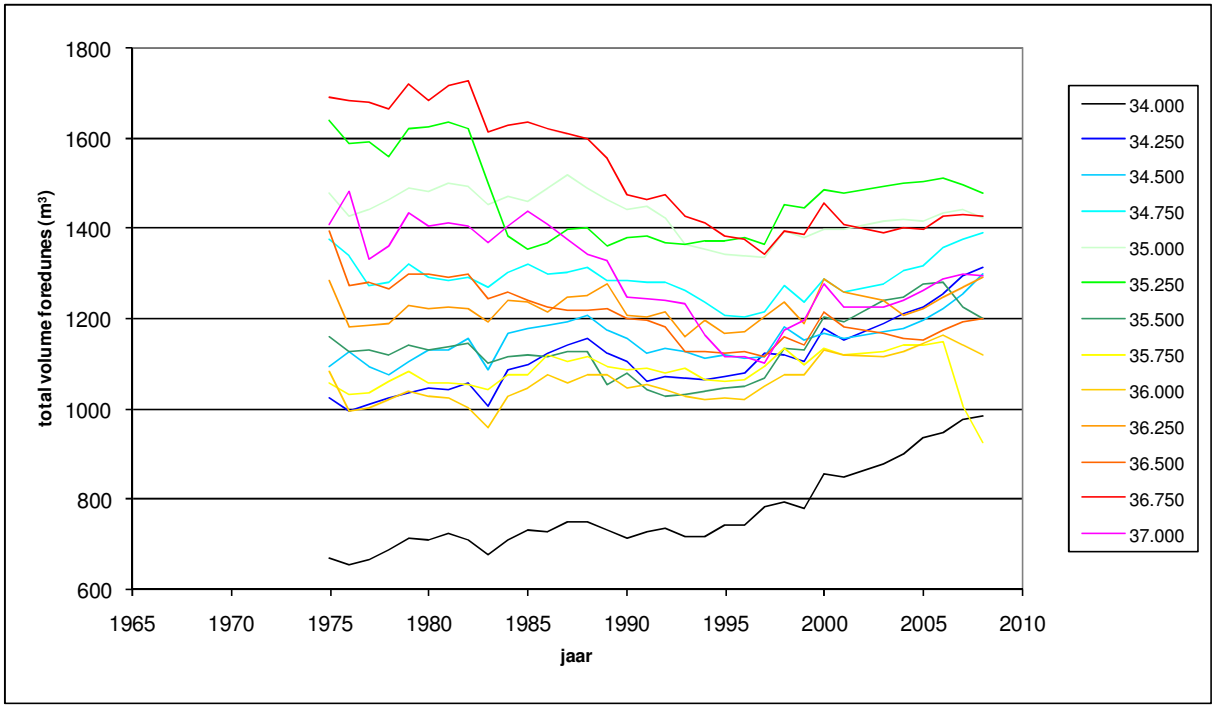


Schoorl (RSP 28.00-31.50)

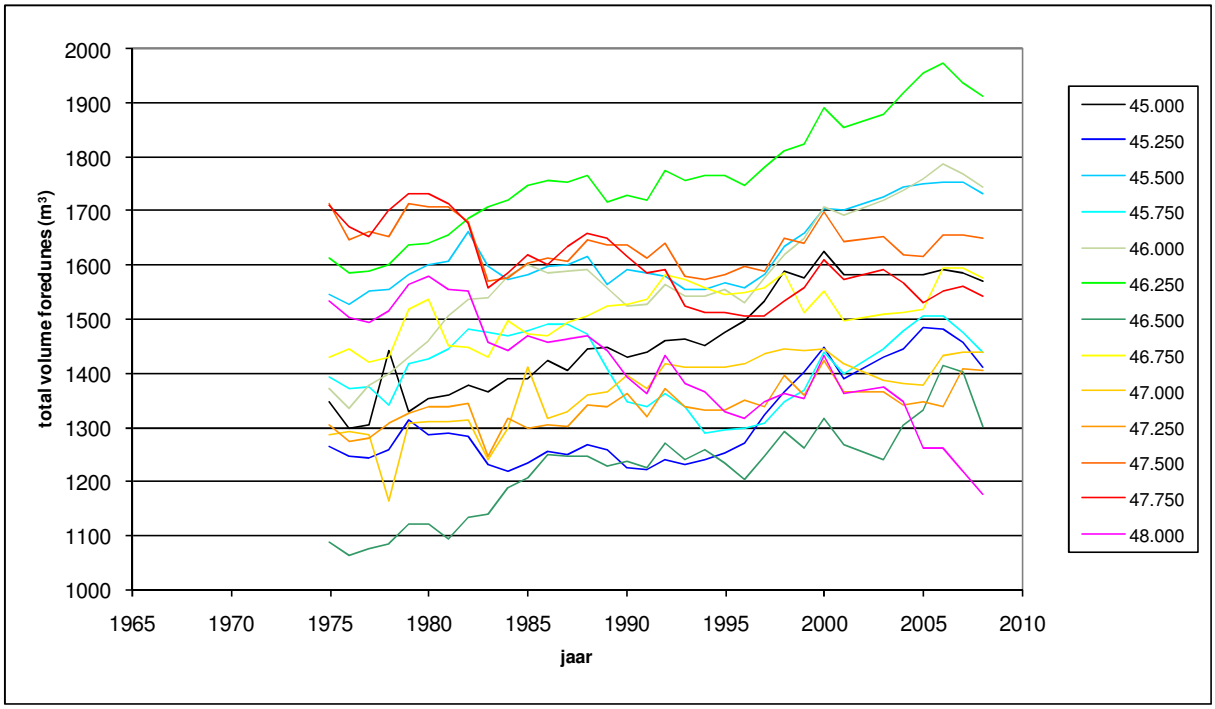




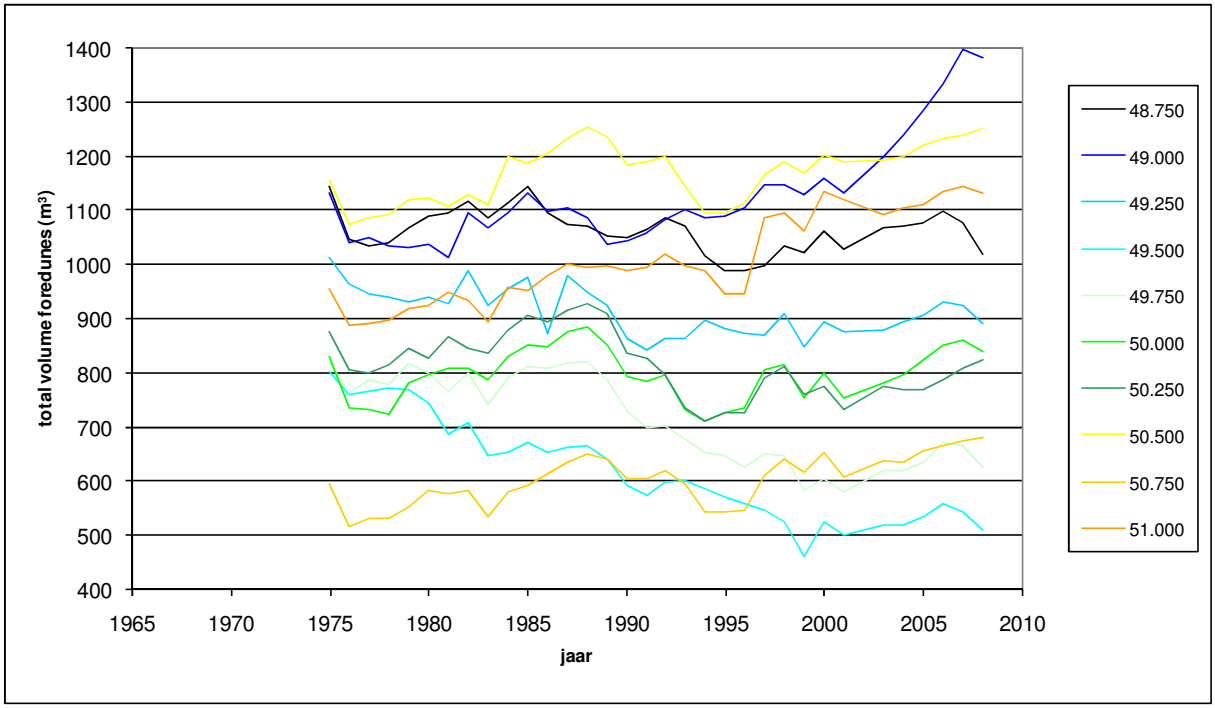
Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00)



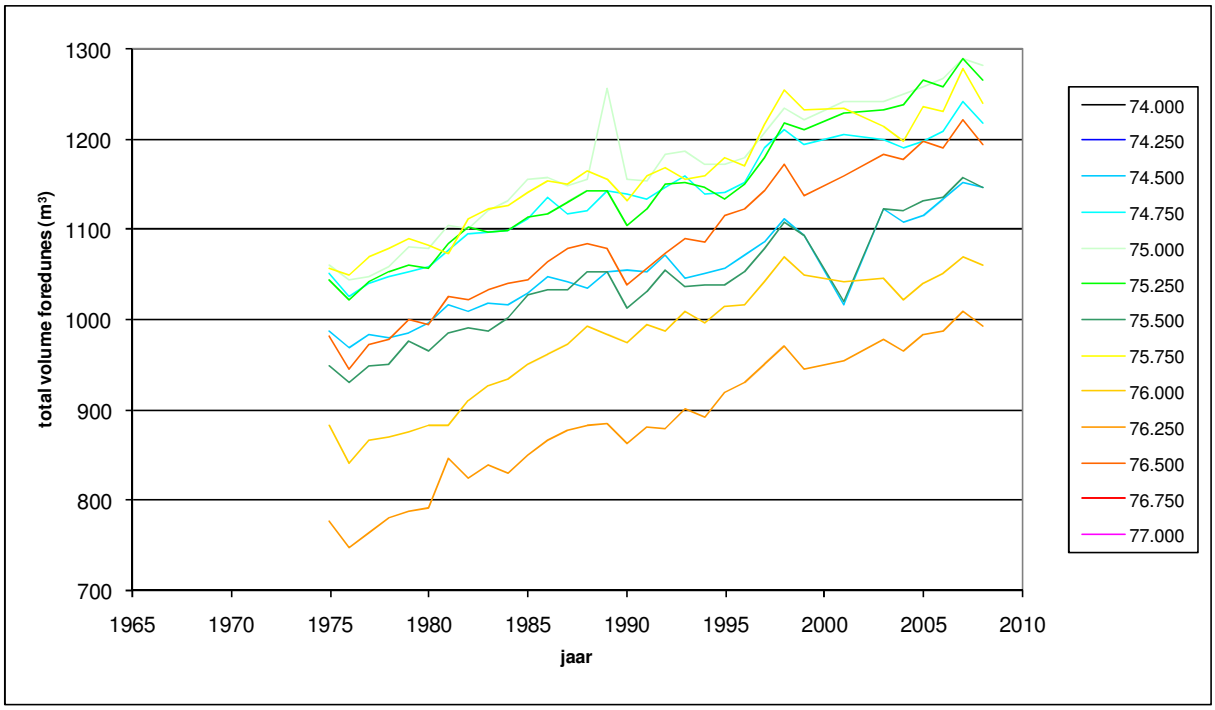
Castricum (RSP 45.00-48.50)



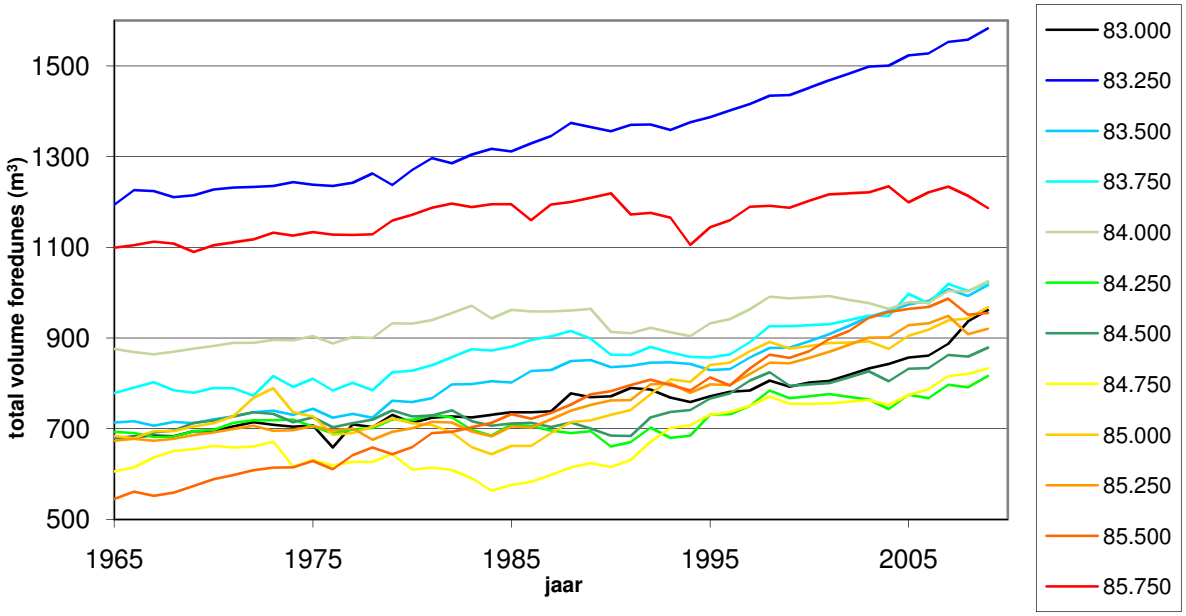
Heemskerk (RSP 48.50-51.00)



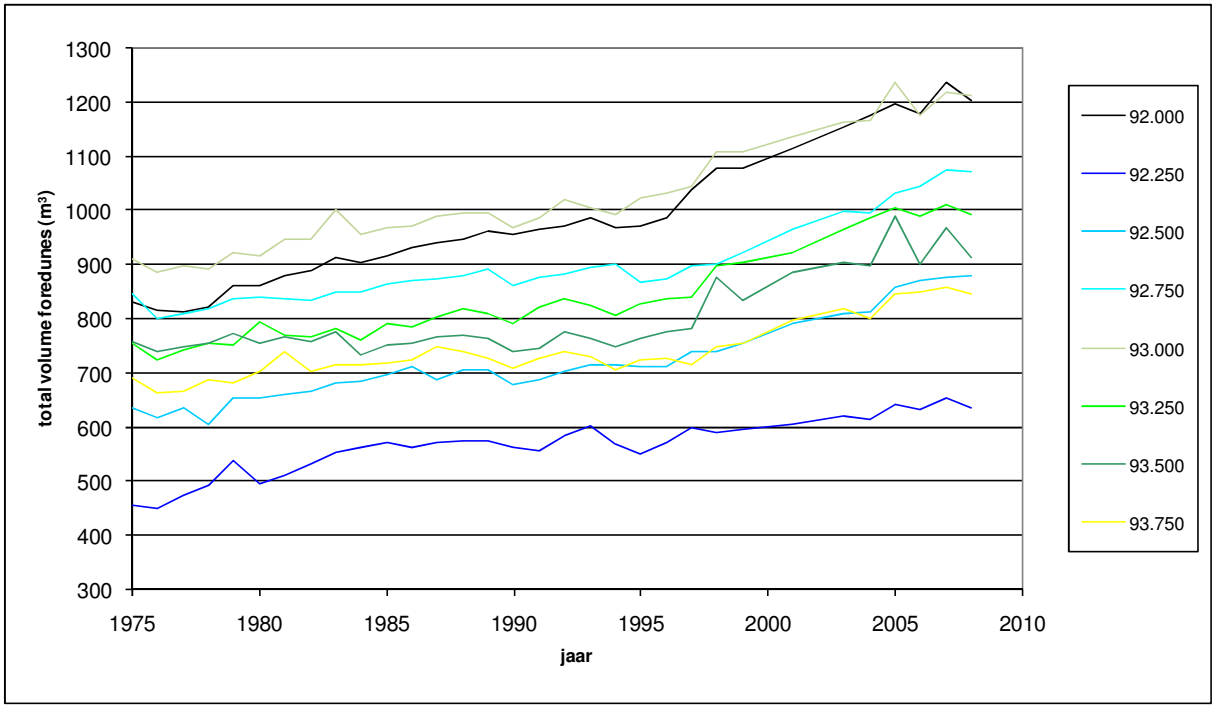
Langeveld (RSP 74.50-76.50)

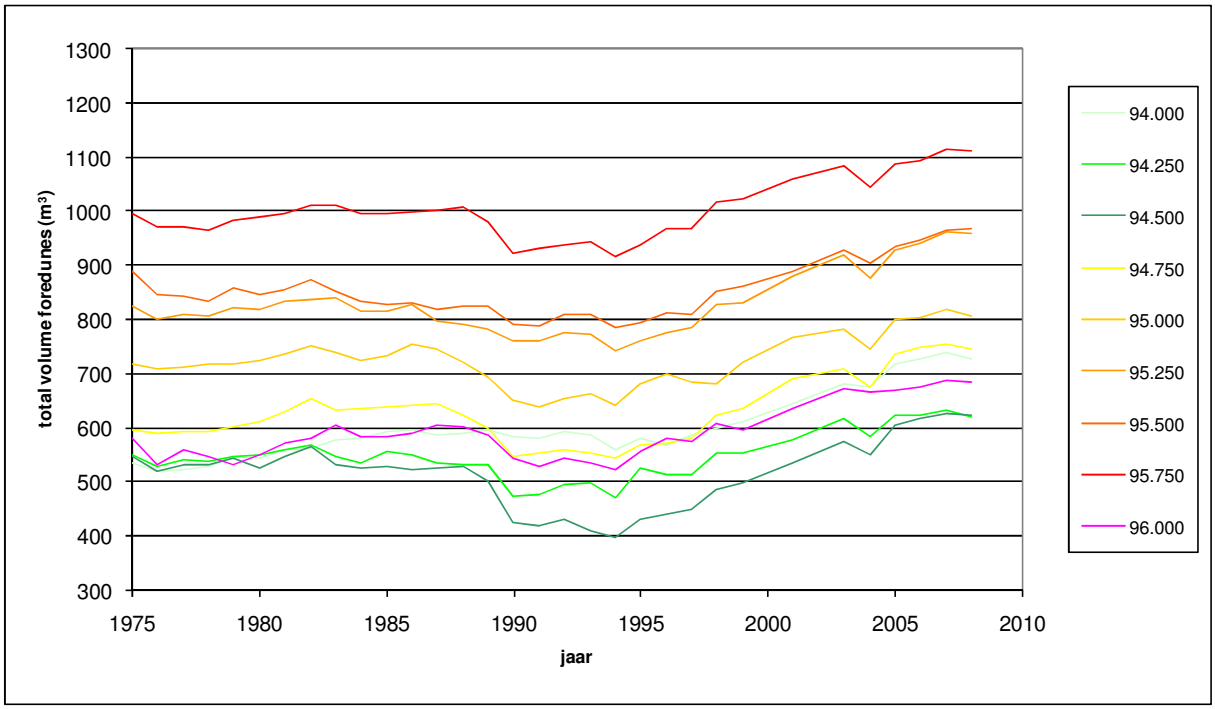


Coepelduynen (RSP 83.00-86.00)

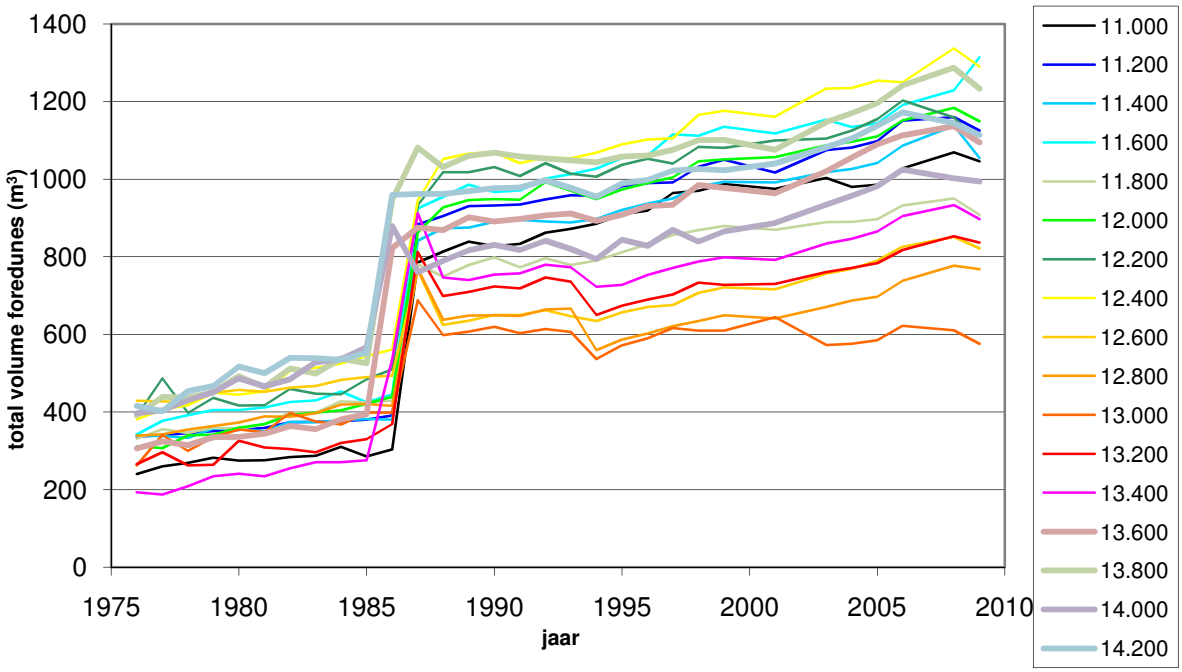


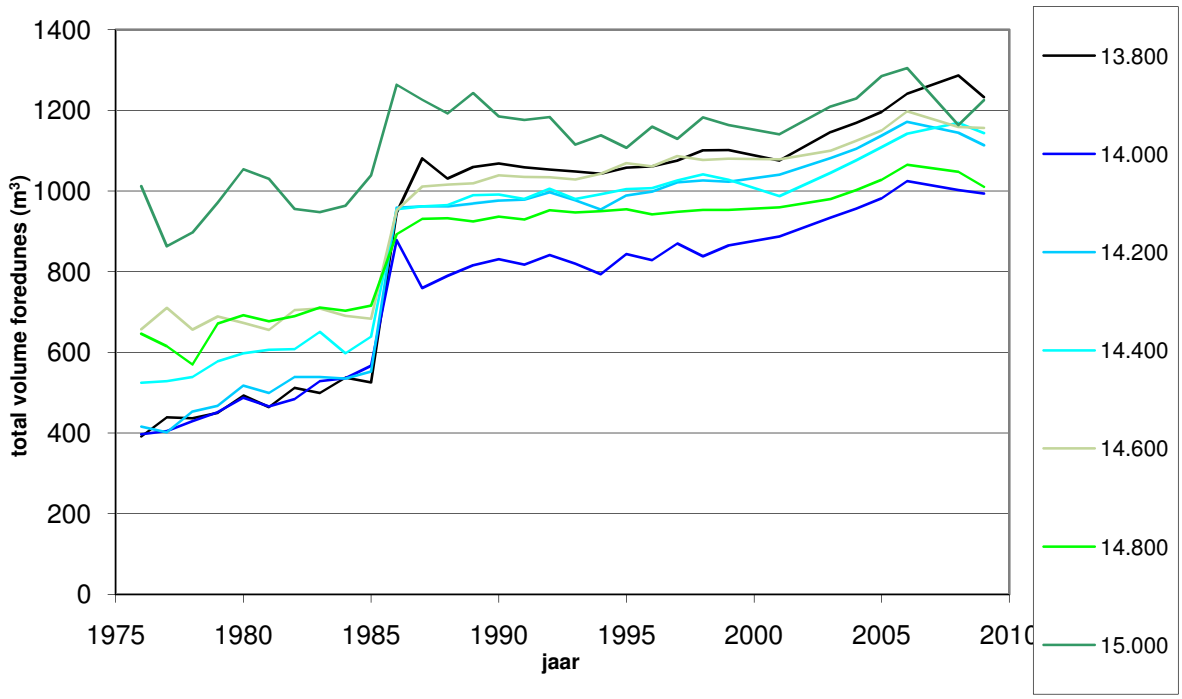
Wassenaar (RSP 92.00-96.00)



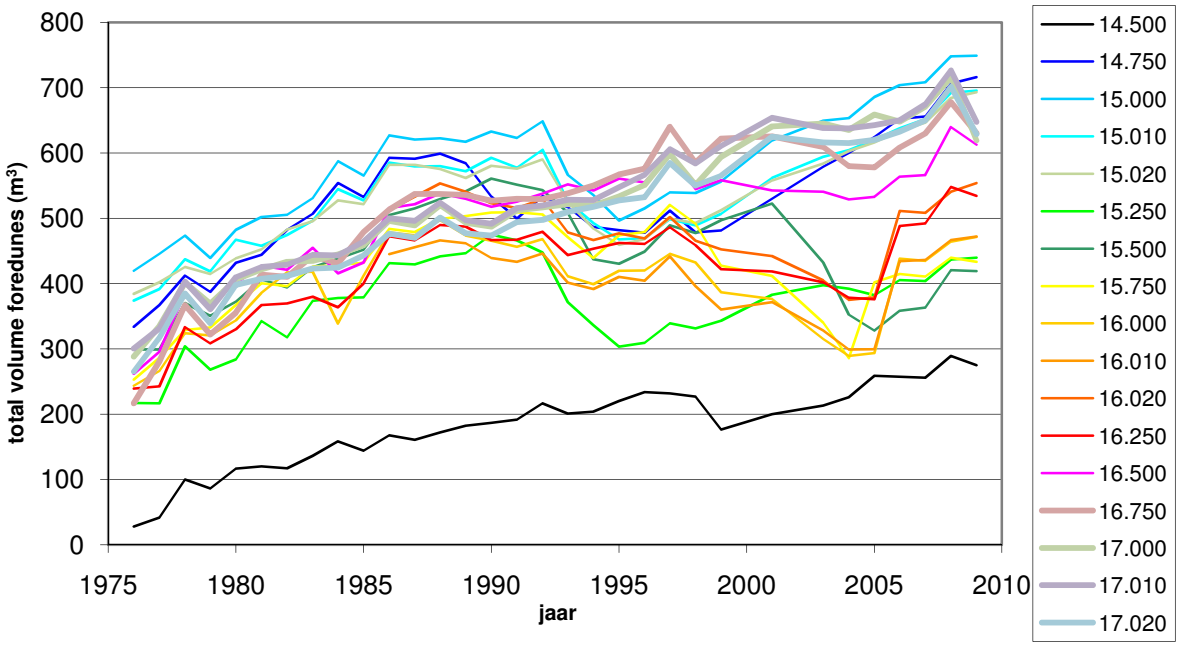


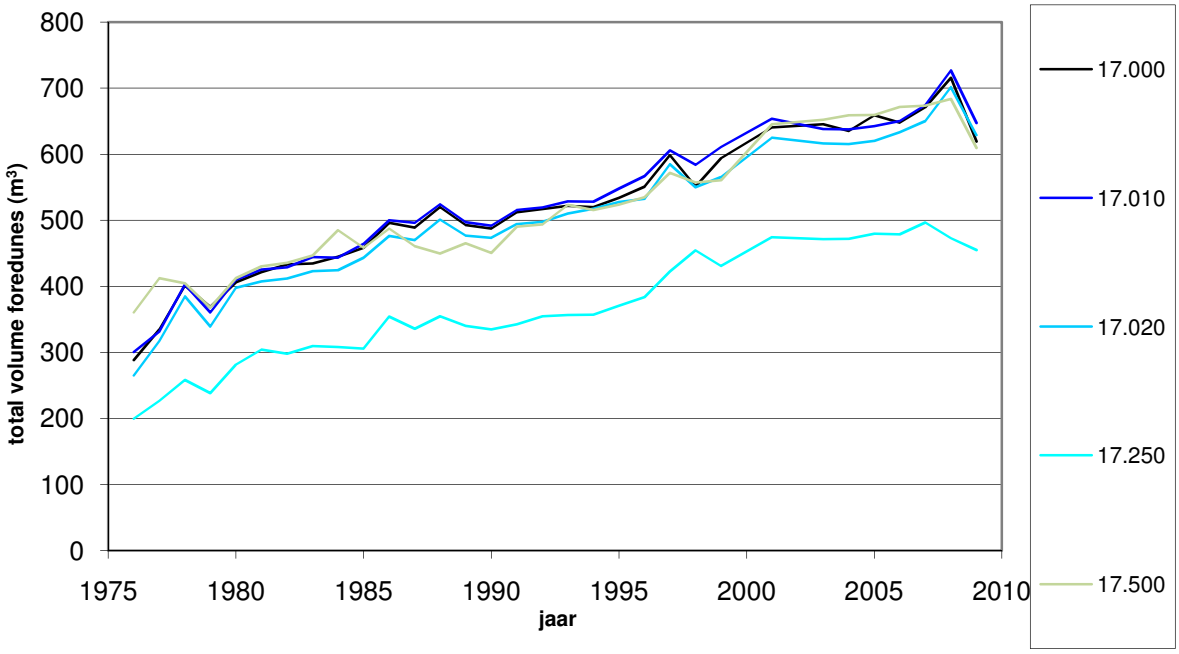
Voorne (RSP 11.00-15.00)



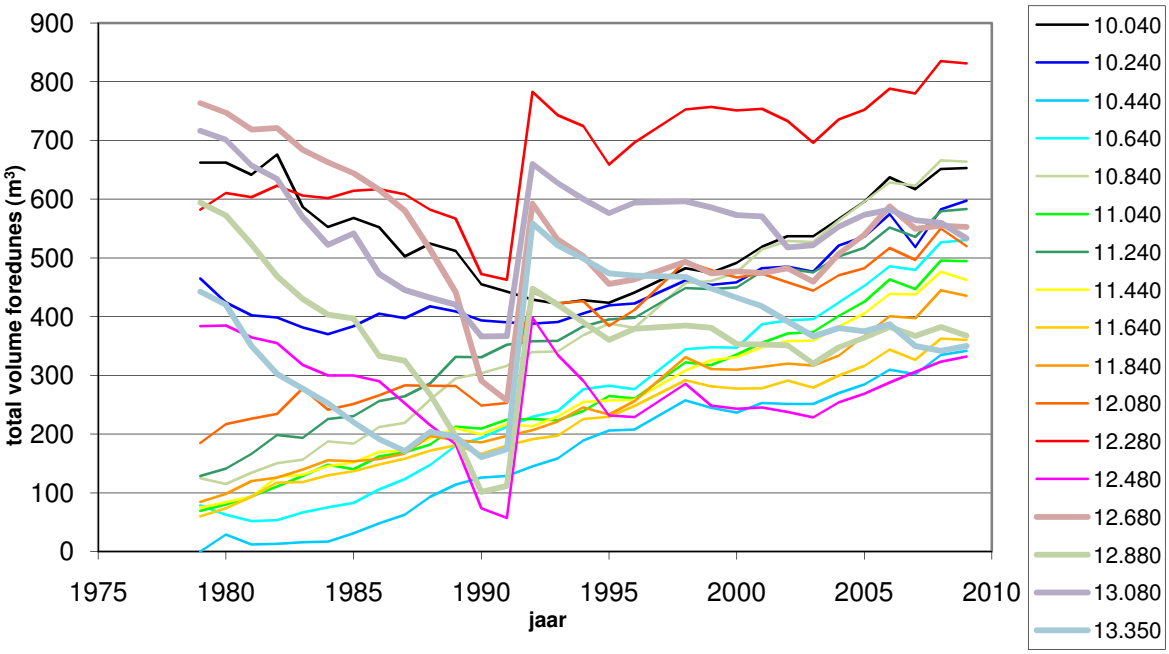


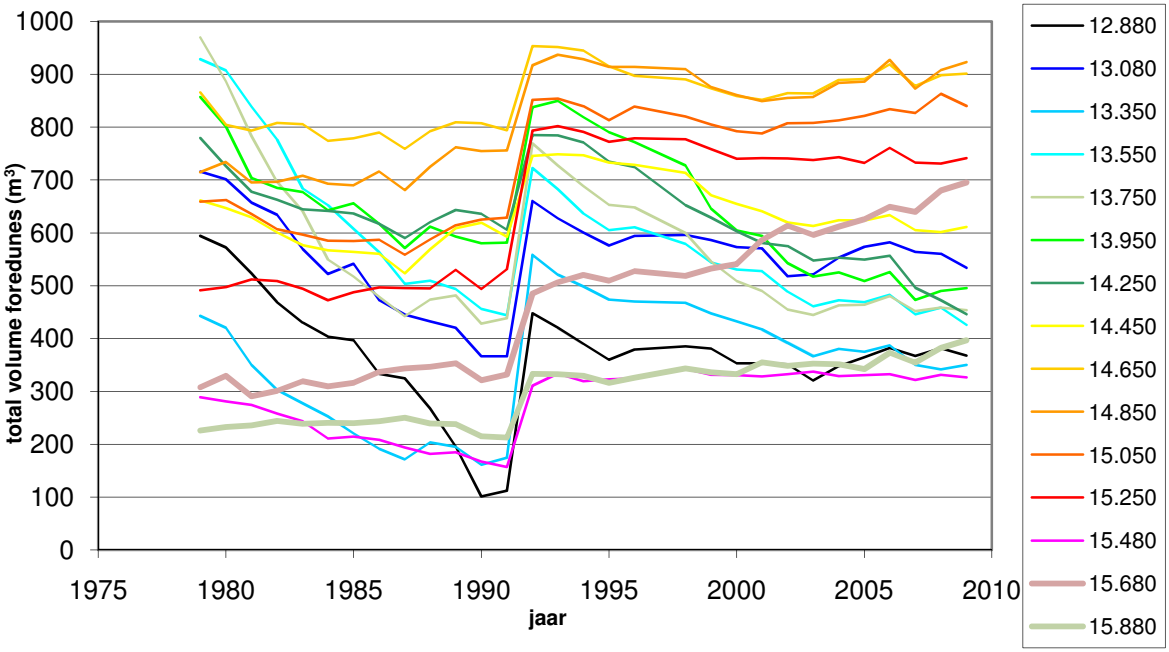
Goeree (RSP 14-50-17.50)



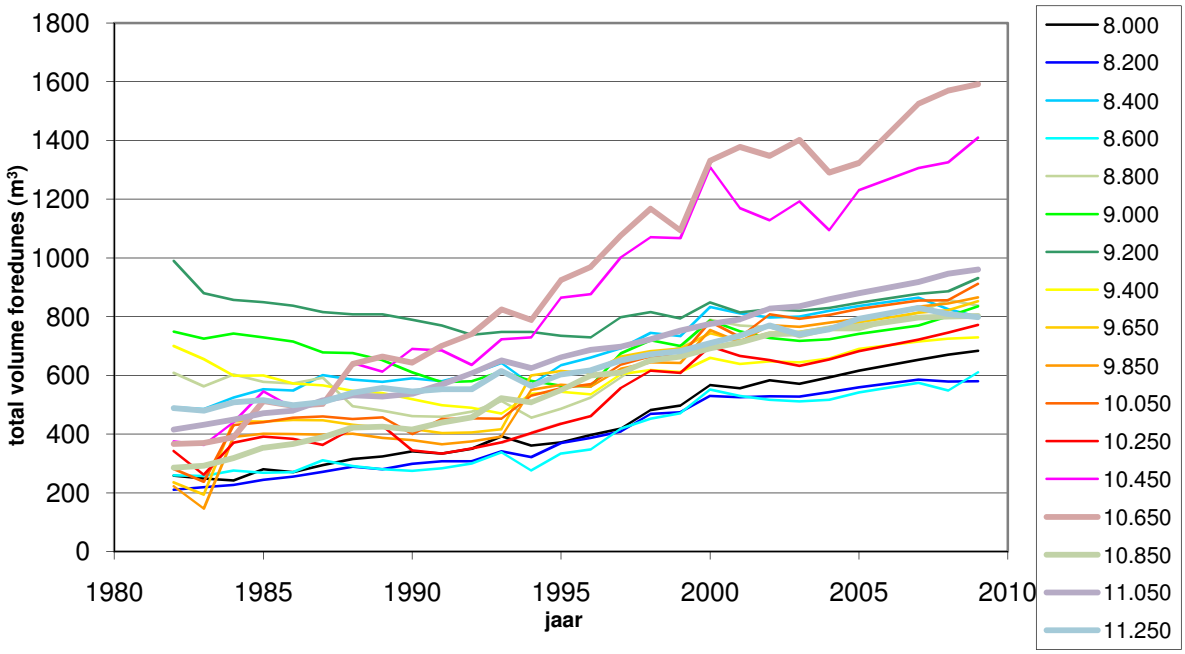


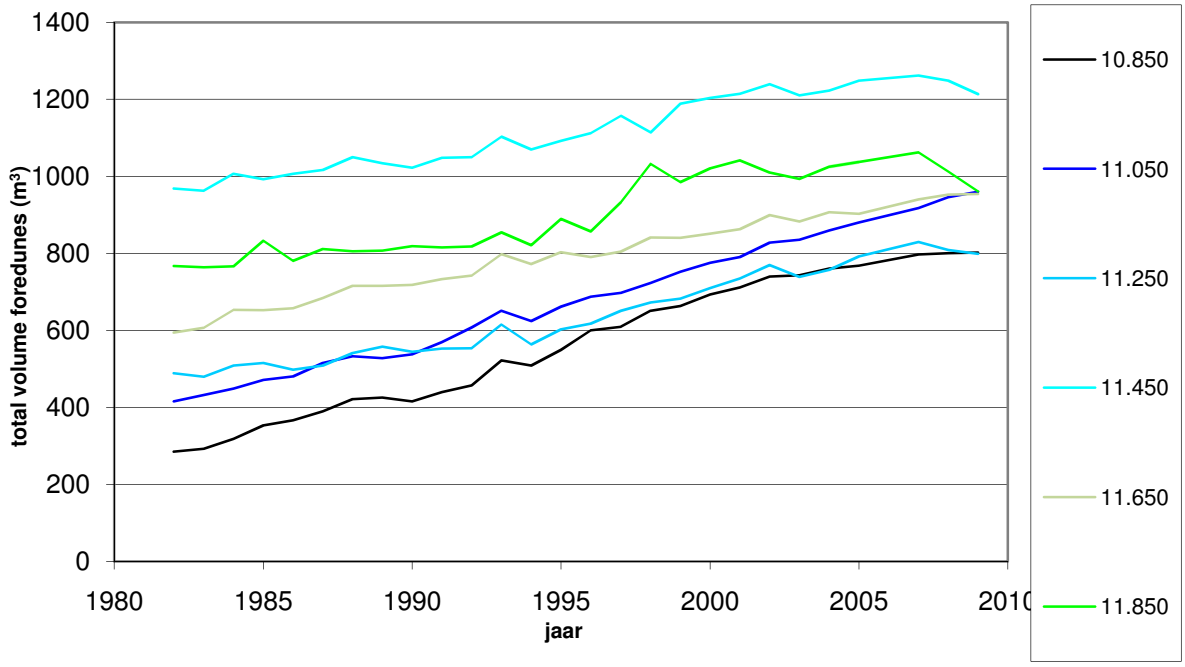
Schouwen (RSP 10.04-15.88)



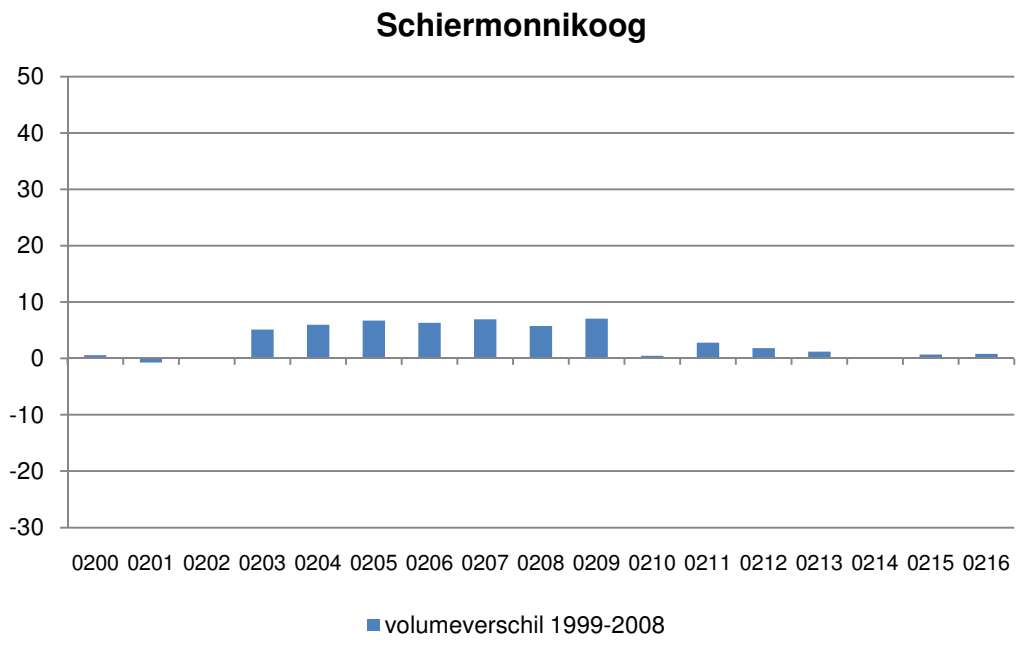


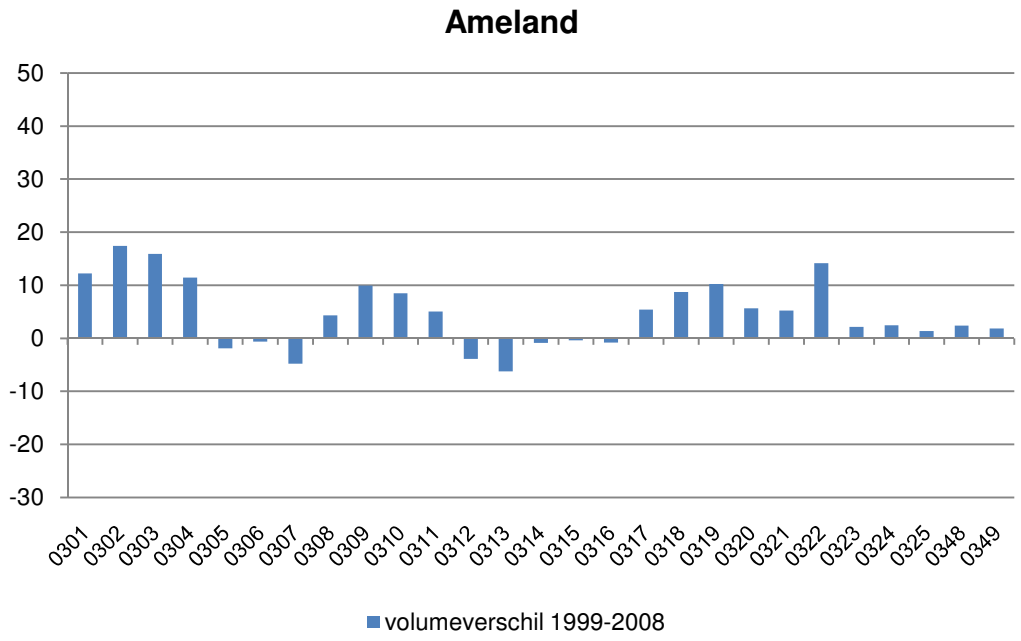
Walcheren (RSP 8.00-11.85)



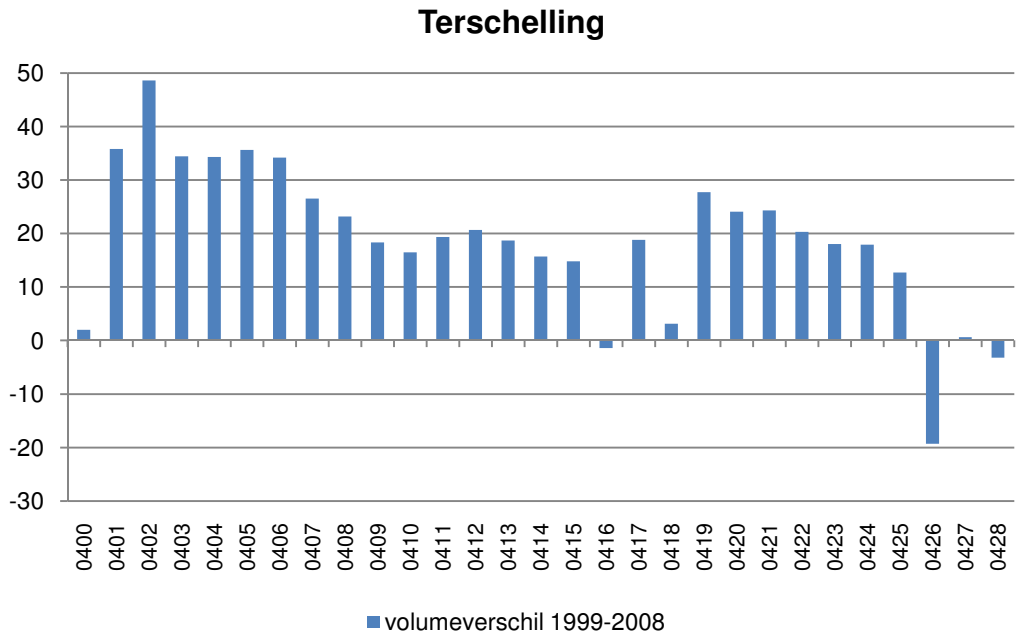


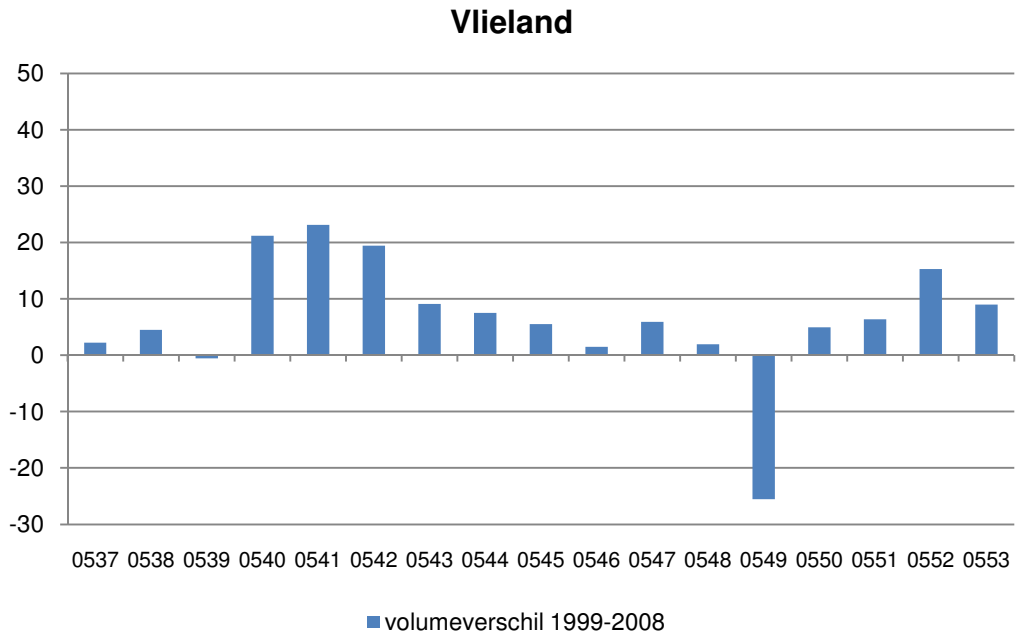
Bijlage 2 Resultaten volumeberekeningen 1999-2008



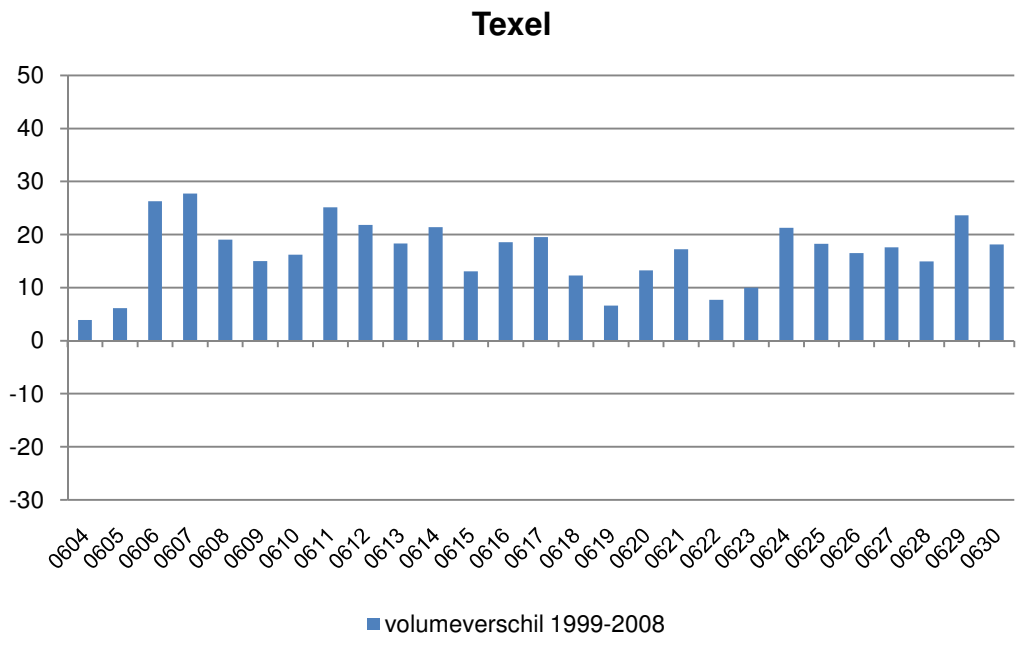


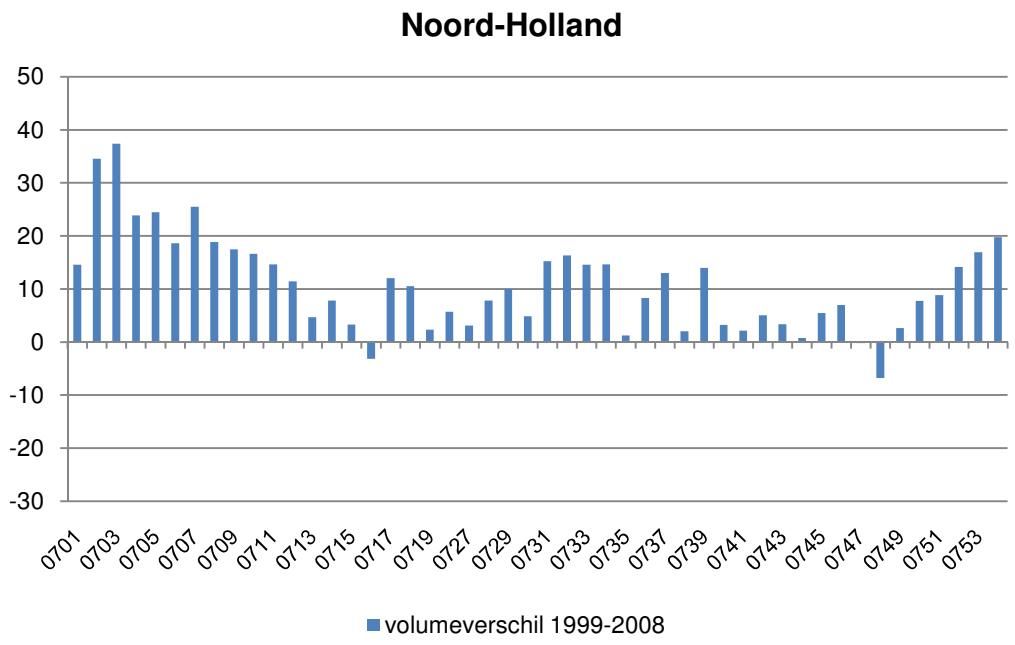
Alle resultaten zijn weergegeven in m^3/m.jaar



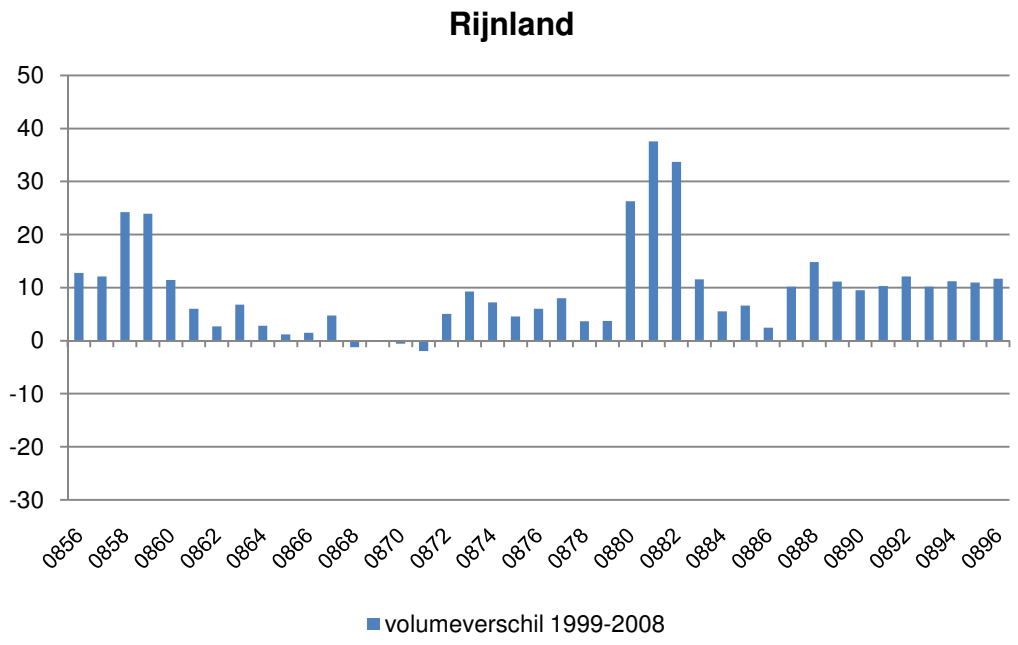


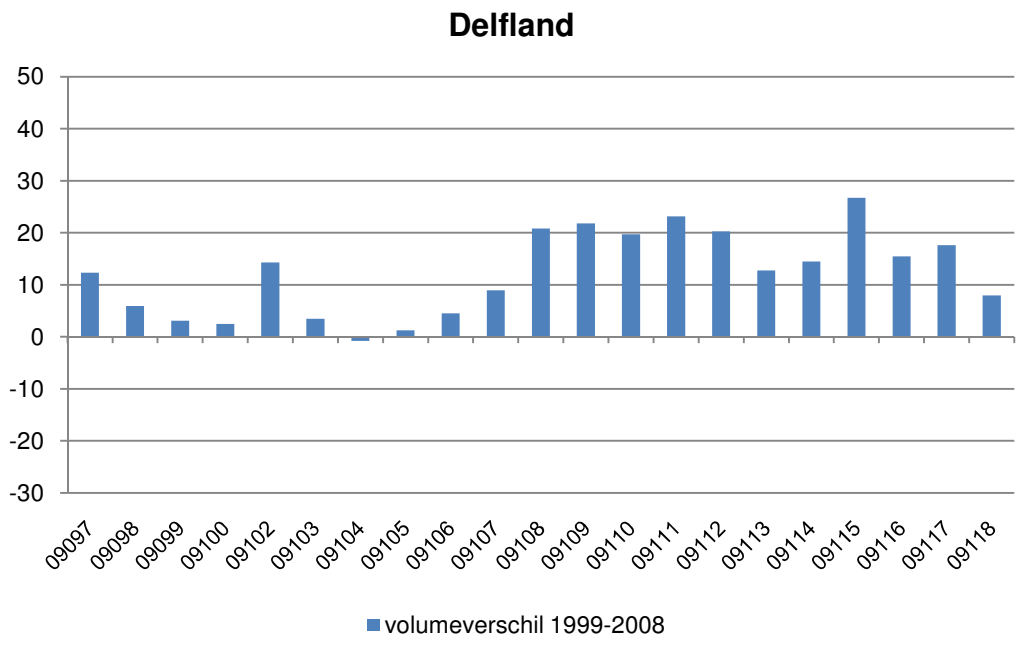
Alle resultaten zijn weergegeven in m^3/m.jaar



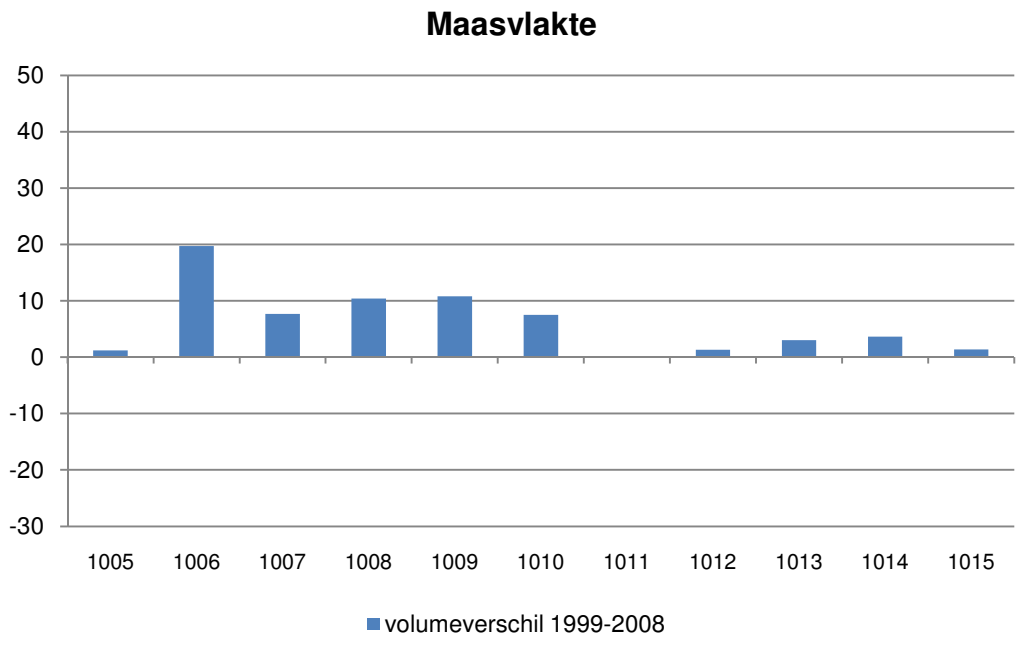


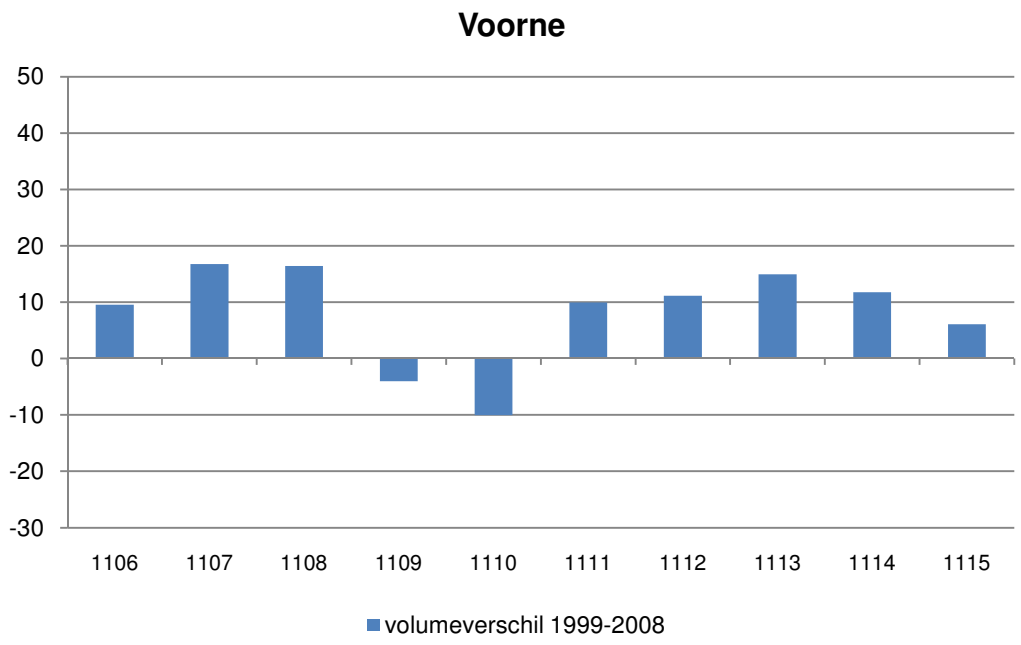
Alle resultaten zijn weergegeven in m^3/m.jaar



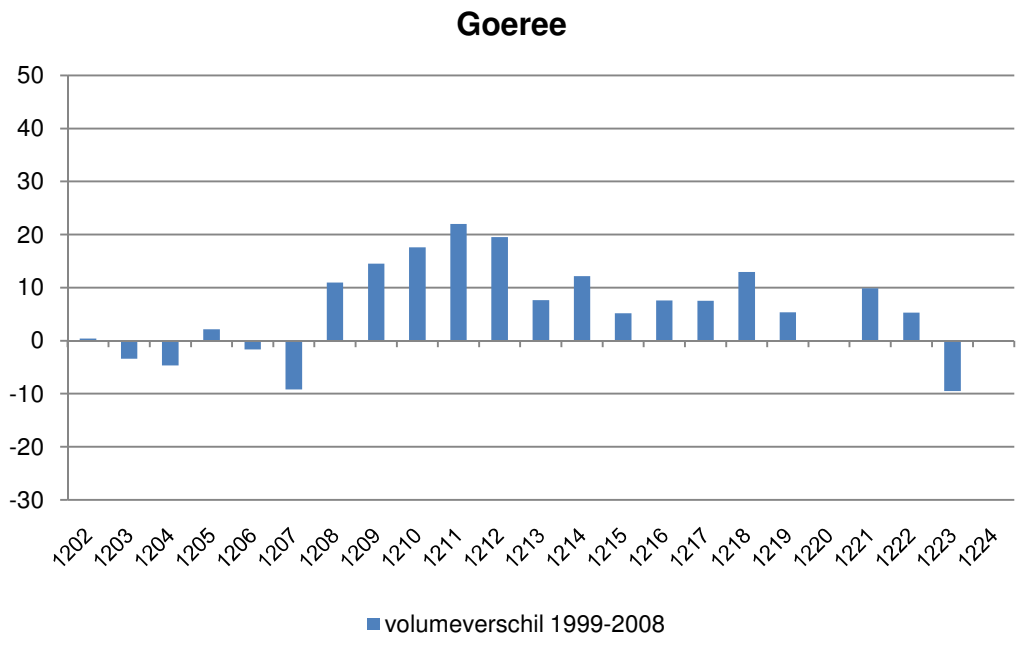


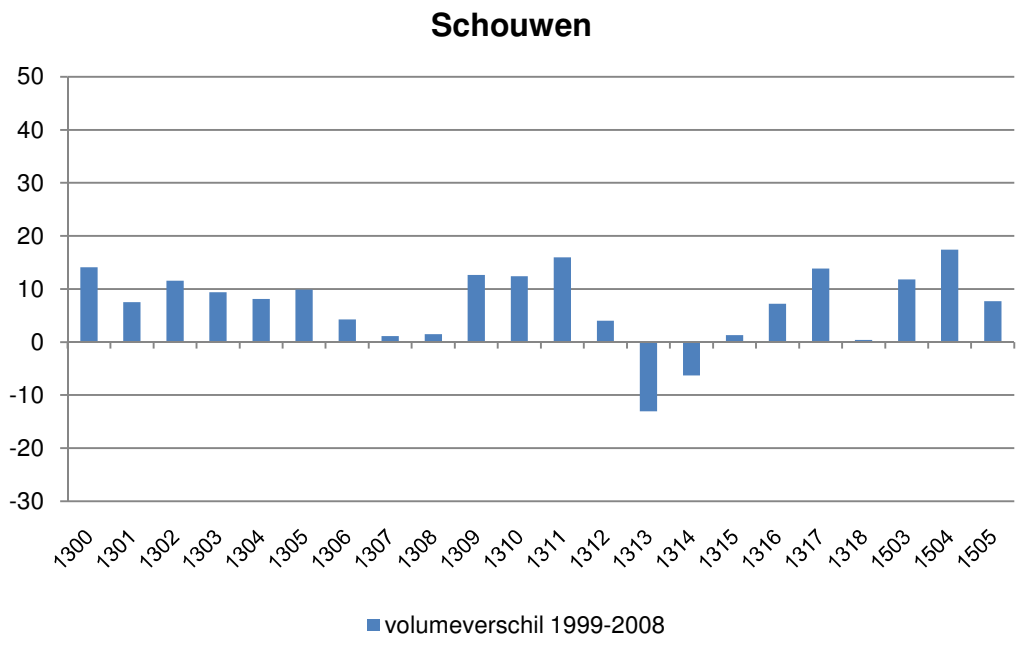
Alle resultaten zijn weergegeven in m^3/m.jaar



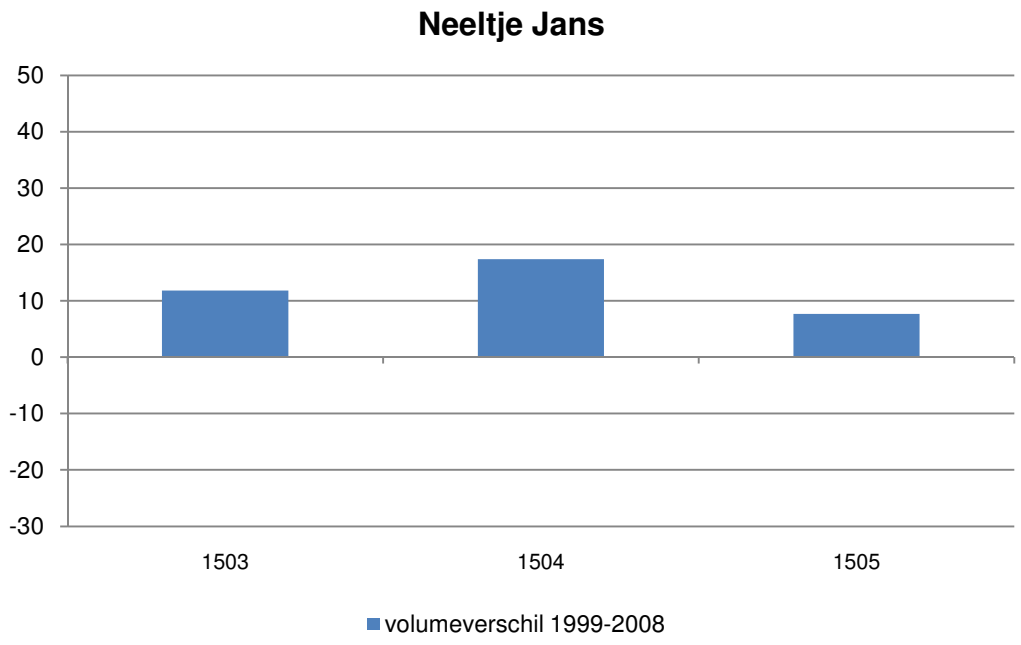


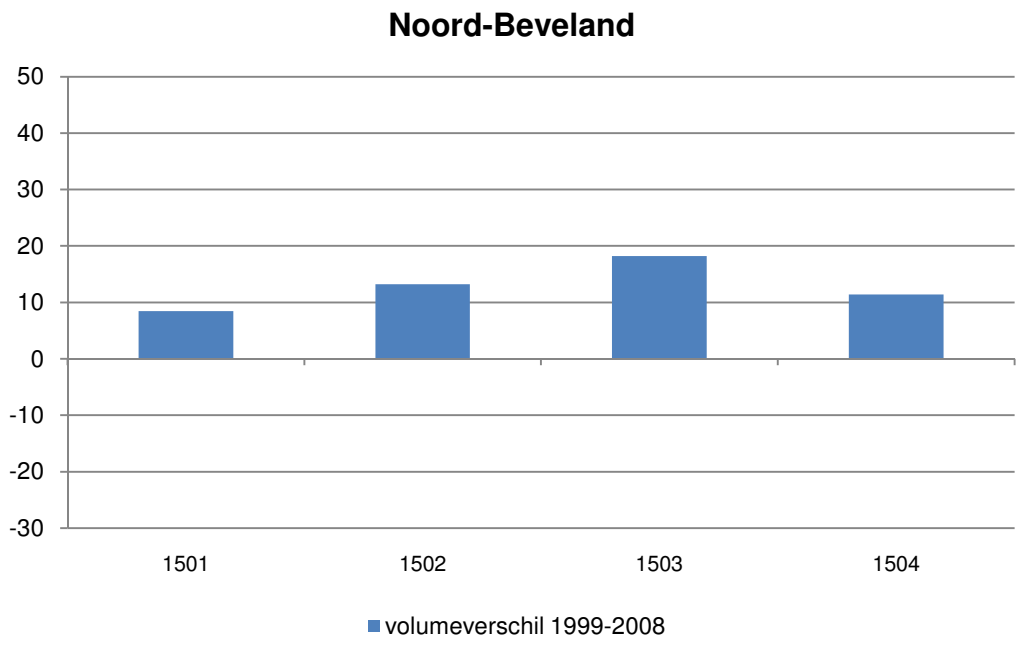
Alle resultaten zijn weergegeven in m^3/m.jaar



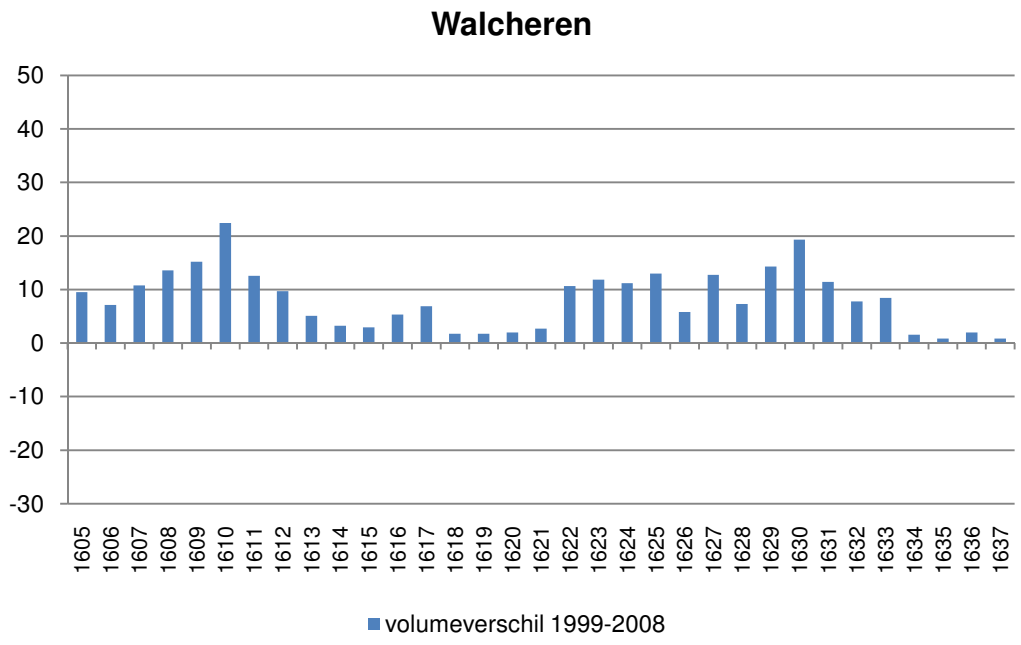


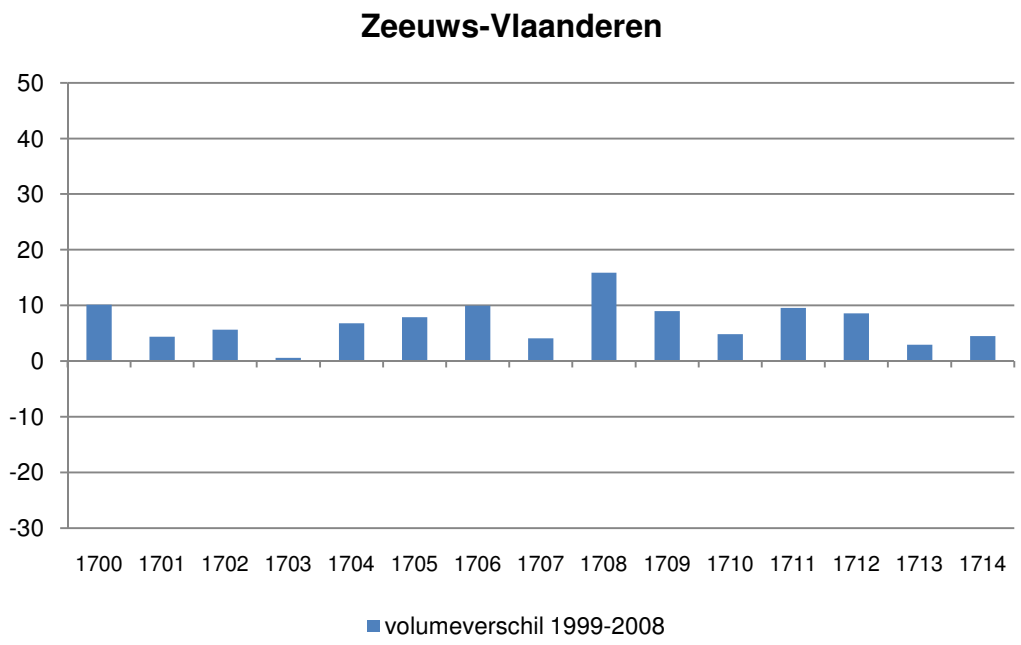
Alle resultaten zijn weergegeven in m^3/m.jaar





Alle resultaten zijn weergegeven in m^3/m.jaar





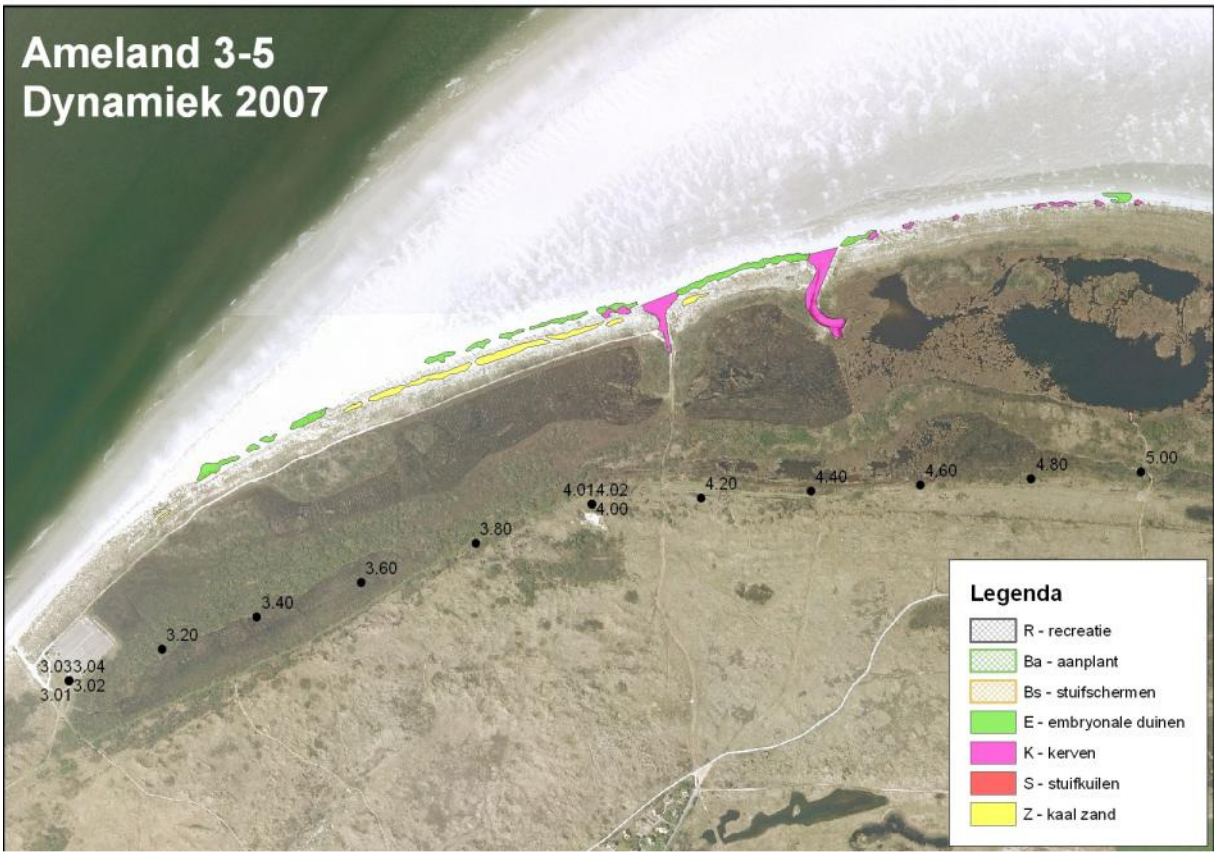
Alle resultaten zijn weergegeven in m^3/m.jaar

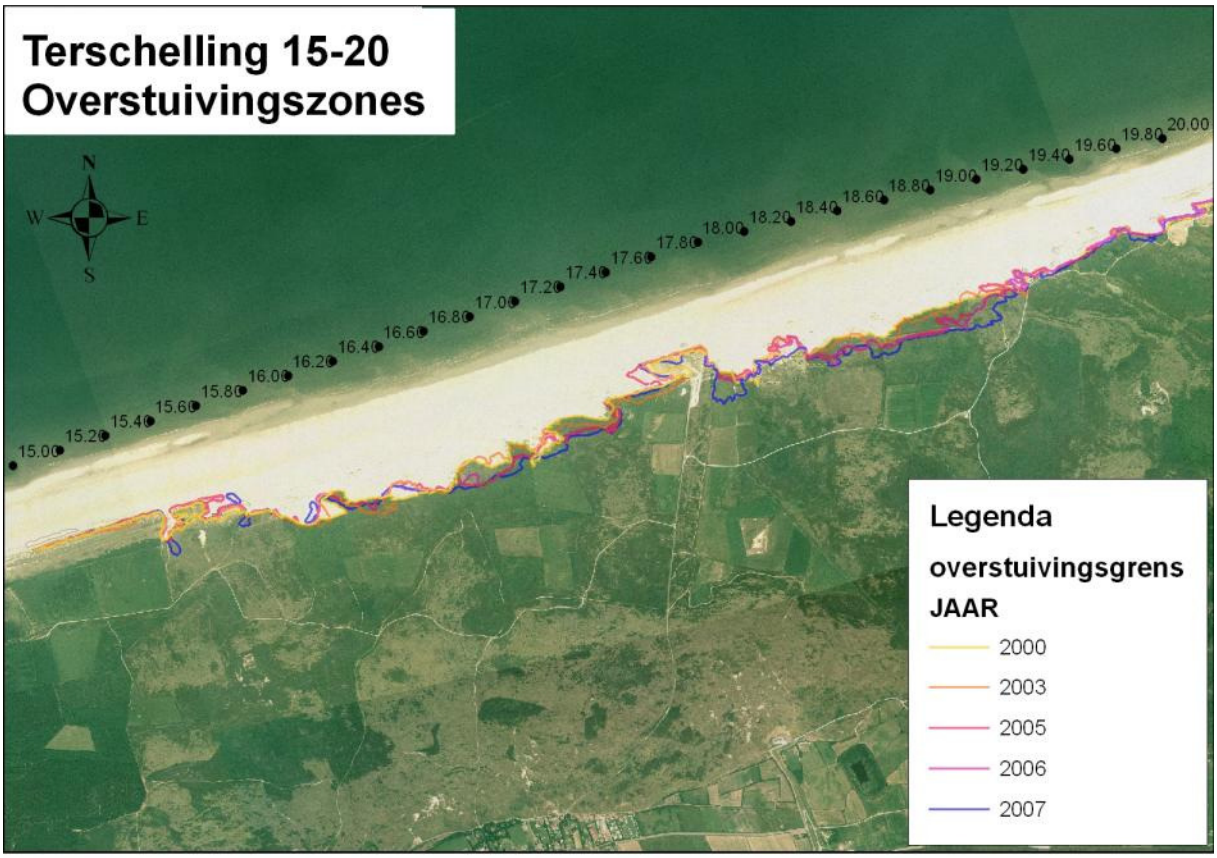
Bijlage 3 Resultaten Dynamiekkarteringen

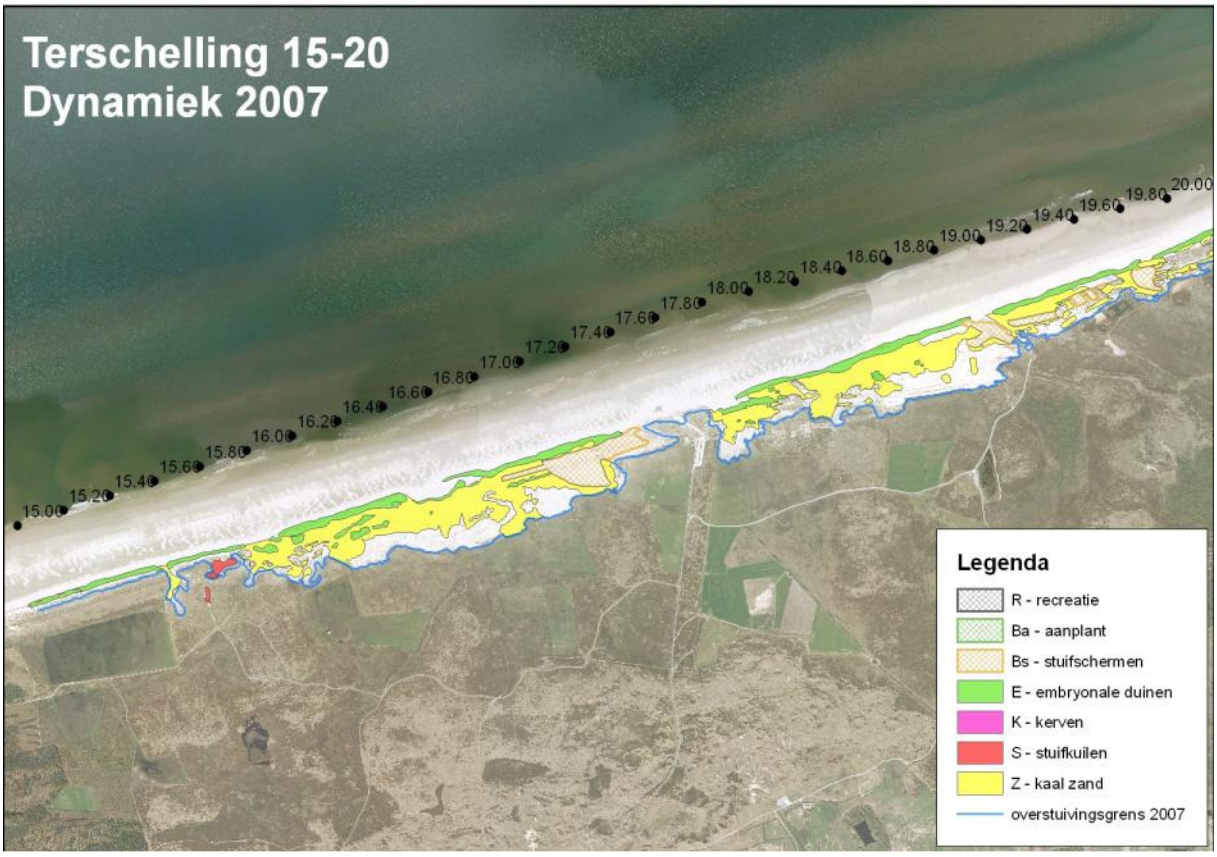
Ameland 17-20
Dynamiek 1996
17.00
17.20
17.40
17.60
17.80
18.00
18.20
18.40
18.60
18.80
19.00
19.20
19.40
19.60
19.80
20.00

Ameland 17-20
Dynamiek 2007
N
W
E
S
17.00
17.20
17.40
17.60
17.80
18.00
18.20
18.40
18.60
18.80
19.00
19.20
19.40
19.60
19.80
20.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

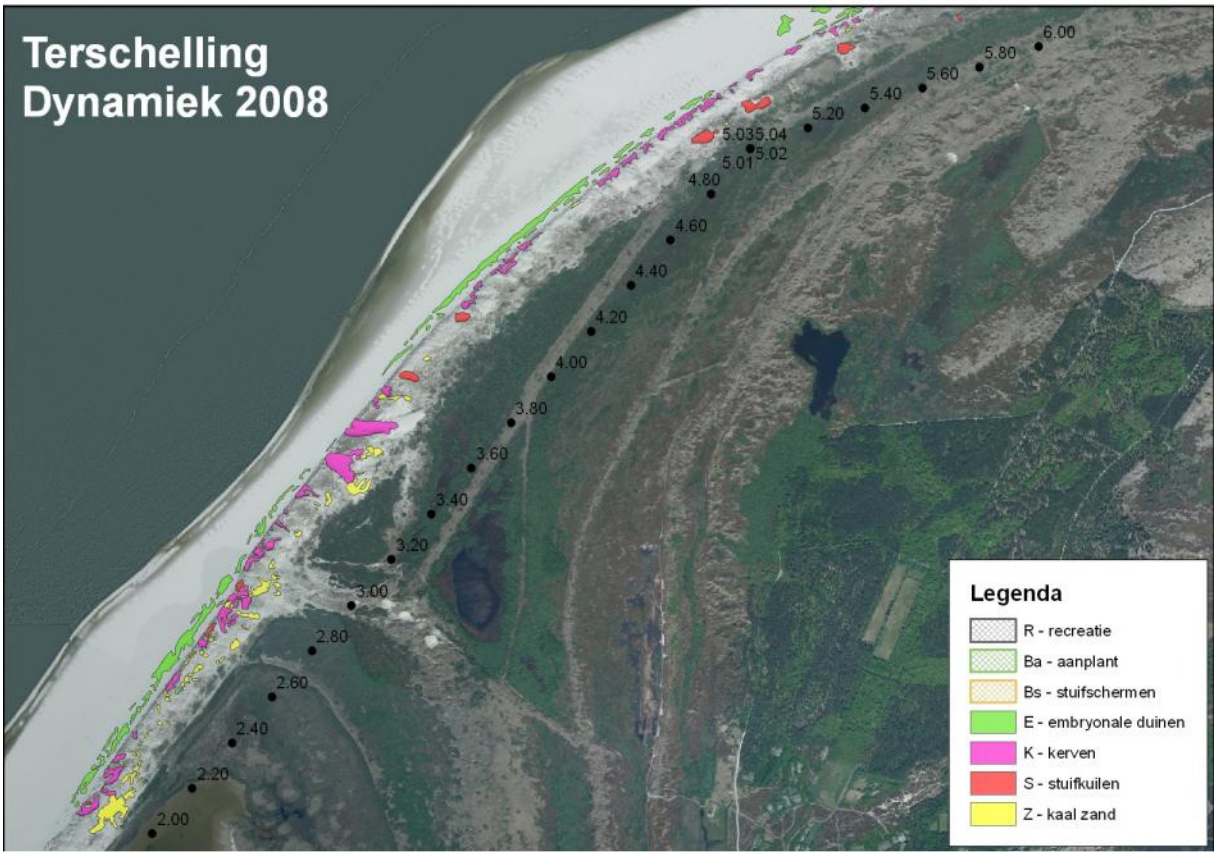
N
W
E
S
3.01
3.02
3.03
3.04
3.20
3.40
3.60
3.80
4.01
4.02
4.00
4.20
4.40
4.60
4.80
5.00
Ameland 3-5
Dynamiek 1996


Ameland 3-5
Dynamiek 2007
3.01
3.02
3.03
3.04
3.20
3.40
3.60
3.80
4.01
4.02
4.00
4.20
4.40
4.60
4.80
5.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand


Terschelling 15-20
Overstuivingszones
N
W
E
S
15.00
15.20
15.40
15.60
15.80
16.00
16.20
16.40
16.60
16.80
17.00
17.20
17.40
17.60
17.80
18.00
18.20
18.40
18.60
18.80
19.00
19.20
19.40
19.60
19.80
20.00
Legenda
overstuivingsgrens
JAAR
2000
2003
2005
2006
2007


Terschelling 15-20
Dynamiek 2007
15.00
15.20
15.40
15.60
15.80
16.00
16.20
16.40
16.60
16.80
17.00
17.20
17.40
17.60
17.80
18.00
18.20
18.40
18.60
18.80
19.00
19.20
19.40
19.60
19.80
20.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand
overstuivingsgrens 2007

Terschelling 2-6
Dynamiek 2003
N
W
E
S
6.00
5.80
5.60
5.40
5.20
5.03
5.04
5.01
5.02
4.80
4.60
4.40
4.20
4.00
3.80
3.60
3.40
3.20
3.00
2.80
2.60
2.40
2.20
2.00


Terschelling
Dynamiek 2008
6.00
5.80
5.60
5.40
5.20
5.03
5.04
5.01
5.02
4.80
4.60
4.40
4.20
4.00
3.80
3.60
3.40
3.20
3.00
2.80
2.60
2.40
2.20
2.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

Texel 18-24
Dynamiek 1996
N
W
E
S
24.00
23.80
23.60
23.40
23.20
23.00
22.91
22.71
22.51
22.31
22.11
21.91
21.71
21.51
21.31
21.11
20.91
20.71
20.51
20.31
20.11
19.92
19.72
19.52
19.32
19.12
18.93
18.73
18.53
18.33
18.13

Texel 18-24
Dynamiek 2007
24.00
23.80
23.60
23.40
23.20
23.00
22.91
22.71
22.51
22.31
22.11
21.91
21.71
21.51
21.31
21.11
20.91
20.71
20.51
20.31
20.11
19.92
19.72
19.52
19.32
19.12
18.93
18.73
18.53
18.33
18.13
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

Texel 11-15
Dynamiek 1996
N
W
E
S
15.00
14.90
14.70
14.50
14.30
14.10
13.92
13.72
13.52
13.32
13.12
12.98
12.69
12.49
12.30
12.10
11.90
11.68
11.48
11.28
11.08

Texel 11-15
Dynamiek 2007
15.00
14.90
14.70
14.50
14.30
14.10
13.92
13.72
13.52
13.32
13.12
12.98
12.69
12.49
12.30
12.10
11.90
11.68
11.48
11.28
11.08
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

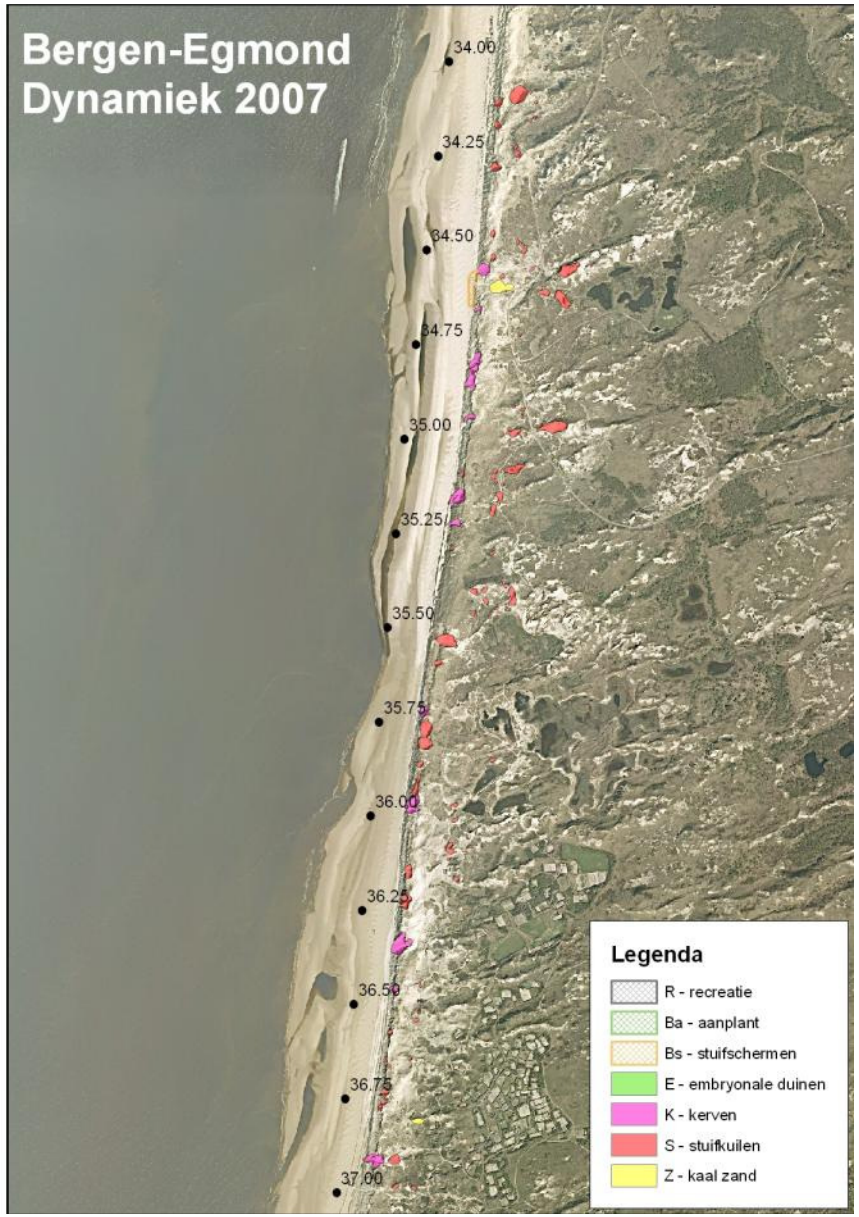
Groote Keeten
Dynamiek 1996
N
W
E
S
8.08
8.27
8.48
8.69
8.89
9.08
9.28
9.48
9.68
9.84
10.00

Groote Keeten
Dynamiek 2007
8.08
8.27
8.48
8.69
8.89
9.08
9.28
9.48
9.68
9.84
10.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

Schoorl
Dynamiek 1996
N
W
E
S
28.00
28.16
28.32
28.47
28.64
28.82
29.00
29.23
29.45
29.65
29.87
30.00
30.25
30.50
30.75
31.00
31.25
31.50

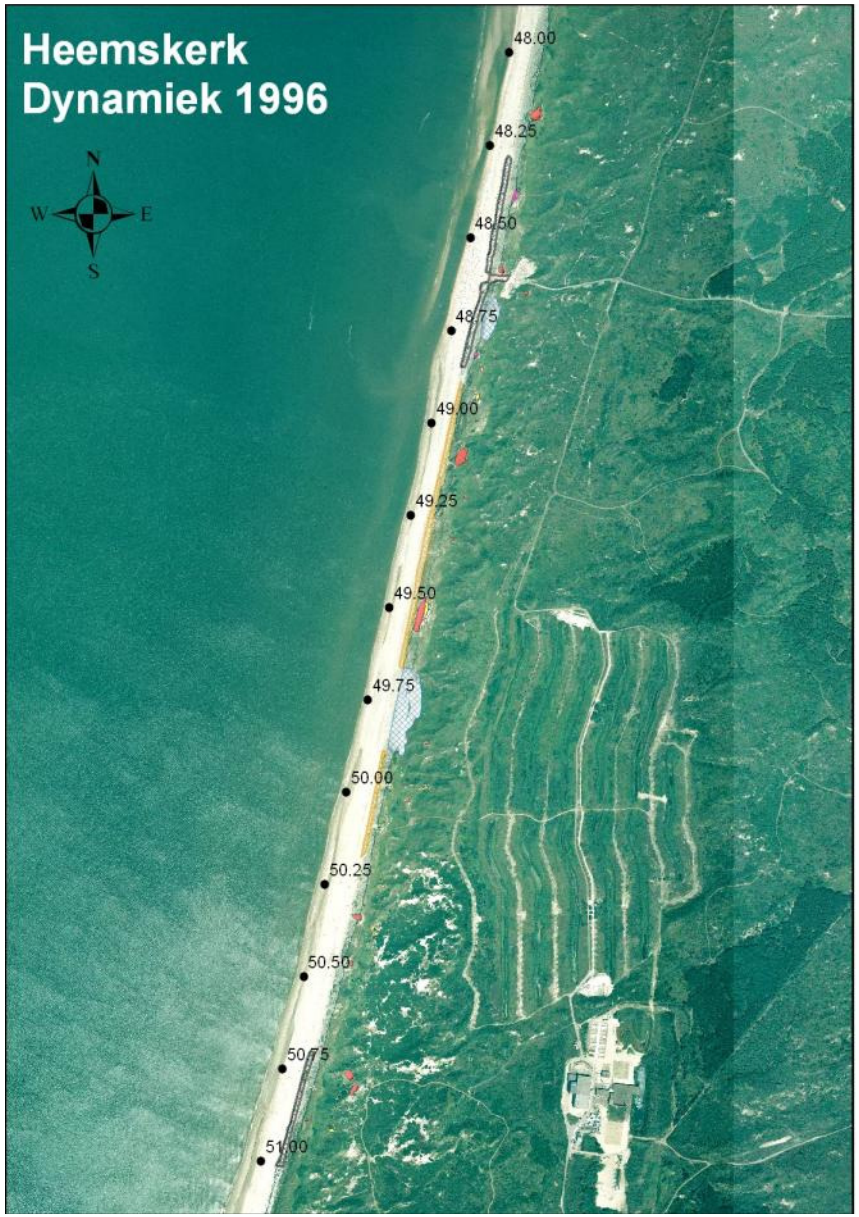
Schoorl
Dynamiek 2007
28.00
28.16
28.32
28.47
28.64
28.82
29.00
29.23
29.45
29.65
29.87
30.00
30.25
30.50
30.75
31.00
31.25
31.50
Legenda
Dynamiek_2007
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

Bergen-Egmond
Dynamiek 1996
N
W
E
S
34.00
34.25
34.50
34.75
35.00
35.25
35.50
35.75
36.00
36.25
36.50
36.75
37.00

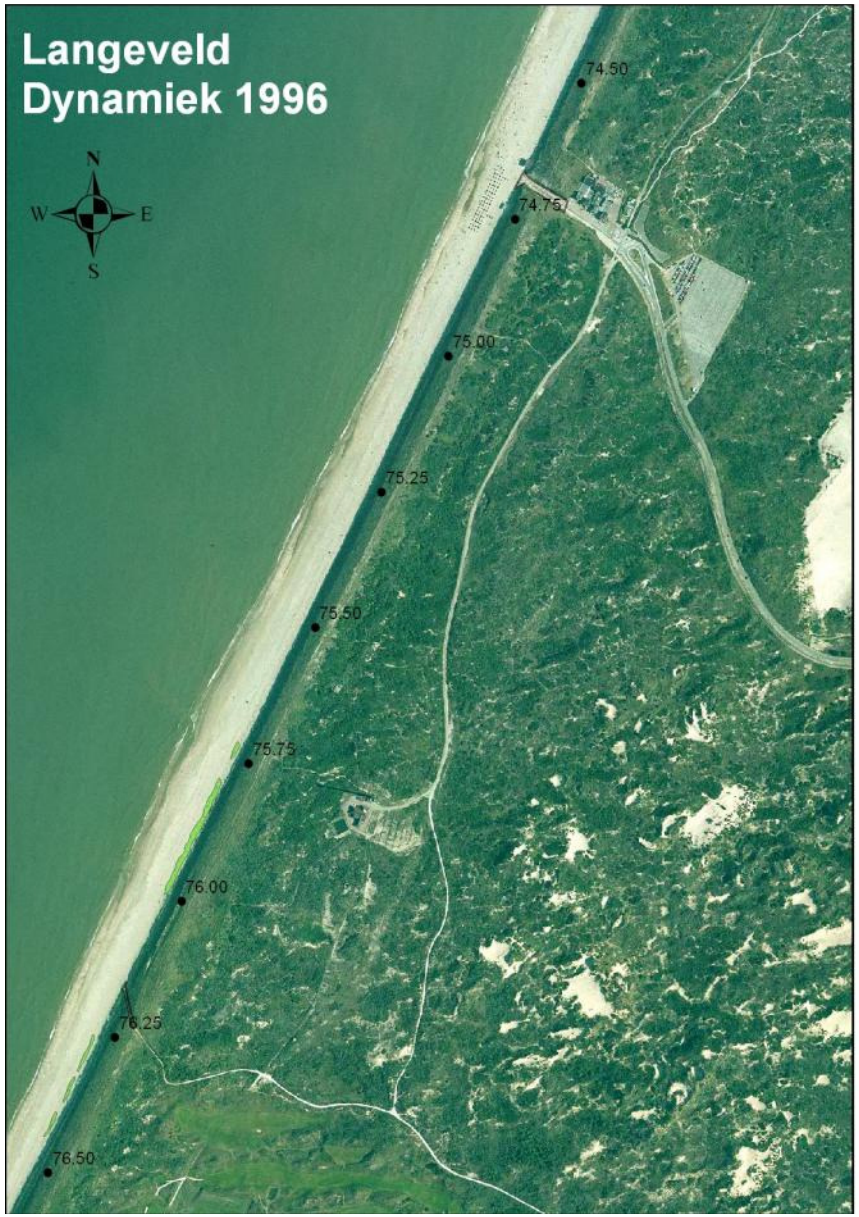

Bergen-Egmond
Dynamiek 2007
34.00
34.25
34.50
34.75
35.00
35.25
35.50
35.75
36.00
36.25
36.50
36.75
37.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

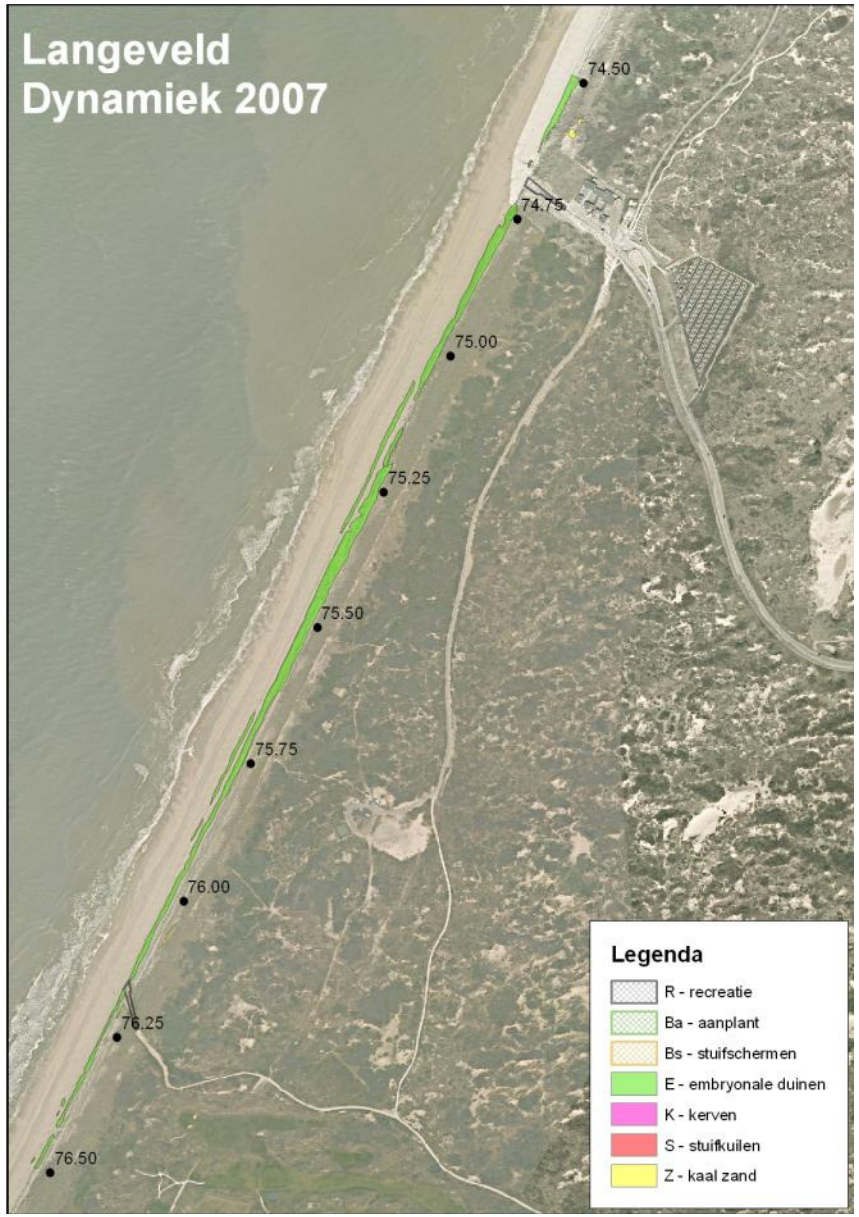
Castricum
Dynamiek 2000
N
W
E
S
45.00
45.25
45.50
45.75
46.00
46.25
46.50
46.75
47.00
47.25
47.50
47.75
48.00

Castricum
Dynamiek 2007
45.00
45.25
45.50
45.75
46.00
46.25
46.50
46.75
47.00
47.25
47.50
47.75
48.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand


Heemskerk
Dynamiek 1996
N
W
E
S
48.00
48.25
48.50
48.75
49.00
49.25
49.50
49.75
50.00
50.25
50.50
50.75
51.00

Heemskerk
Dynamiek 2007
48.00
48.25
48.50
48.75
49.00
49.25
49.50
49.75
50.00
50.25
50.50
50.75
51.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
Bp - profilering
E - embryoduinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand


Langeveld
Dynamiek 1996
N
W
E
S
74.50
74.75
75.00
75.25
75.50
75.75
76.00
76.25
76.50


Langeveld
Dynamiek 2007
74.50
74.75
75.00
75.25
75.50
75.75
76.00
76.25
76.50
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

Coepelduynen
Dynamiek 1996
N
W
E
S
83.00
83.25
83.50
83.75
84.00
84.25
84.50
84.75
85.00
85.25
85.50
85.75
86.00

Coepelduynen
Dynamiek 2007
83.00
83.25
83.50
83.75
84.00
84.25
84.50
84.75
85.00
85.25
85.50
85.75
86.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

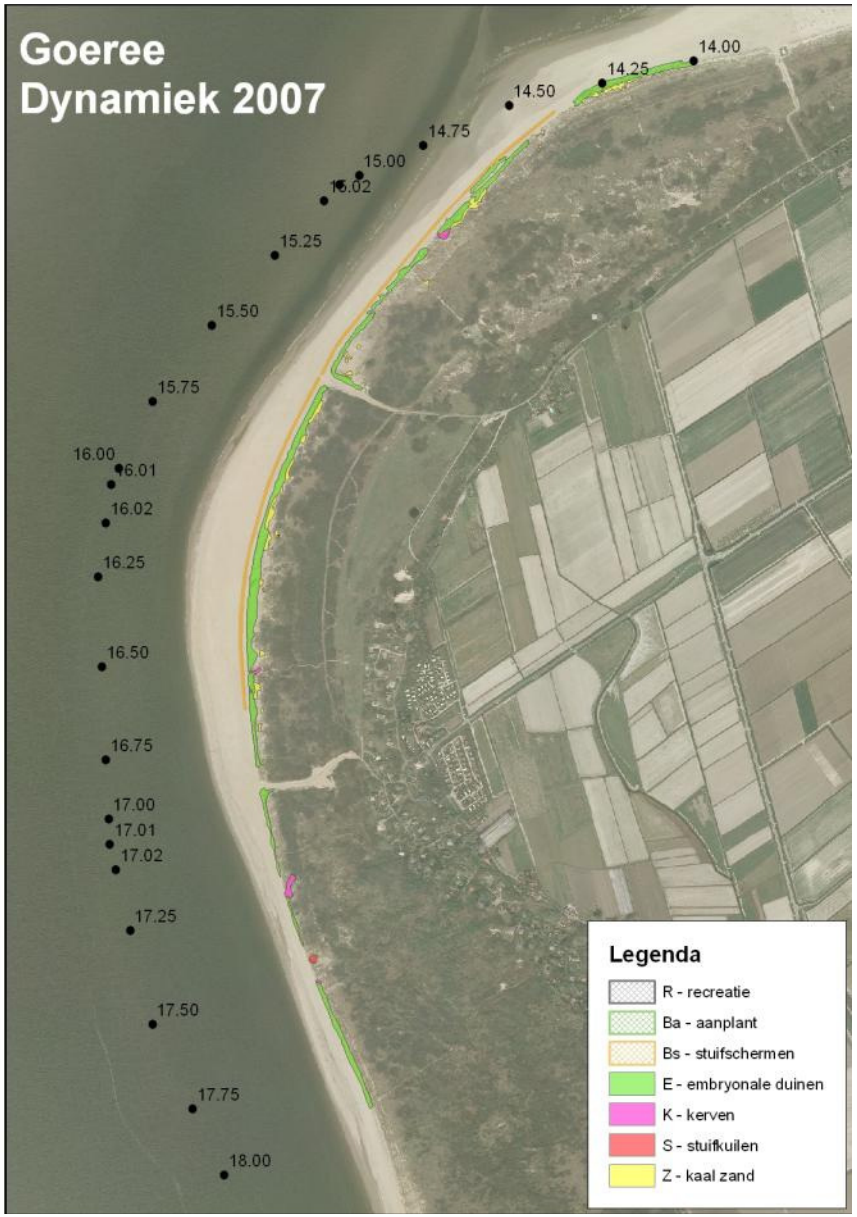
Wassenaar
Dynamiek 2000
N
W
E
S
92.00
92.25
92.50
92.75
93.00
93.25
93.50
93.75
94.00
94.25
94.50
94.75
95.00
95.25
95.50
95.75
96.00

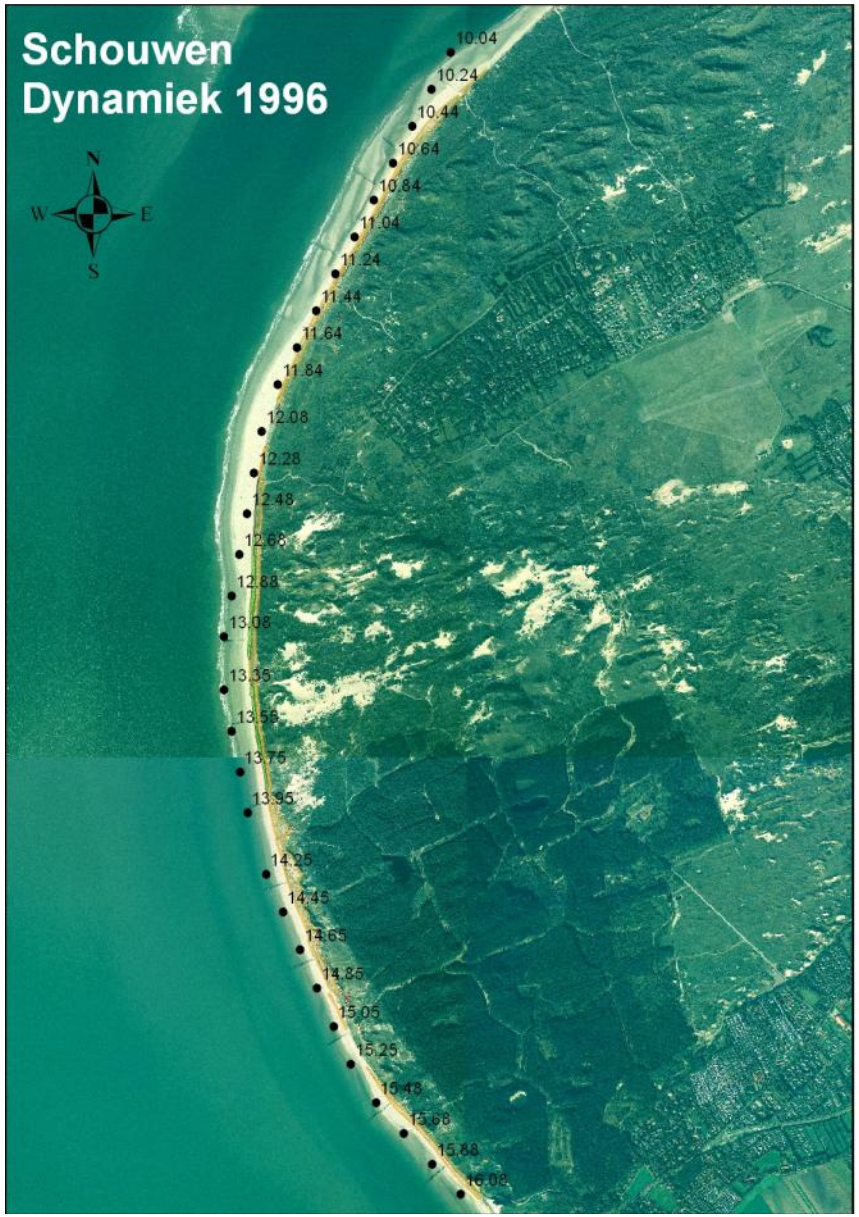
Wassenaar
Dynamiek 2007
92.00
92.25
92.50
92.75
93.00
93.25
93.50
93.75
94.00
94.25
94.50
94.75
95.00
95.25
95.50
95.75
96.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

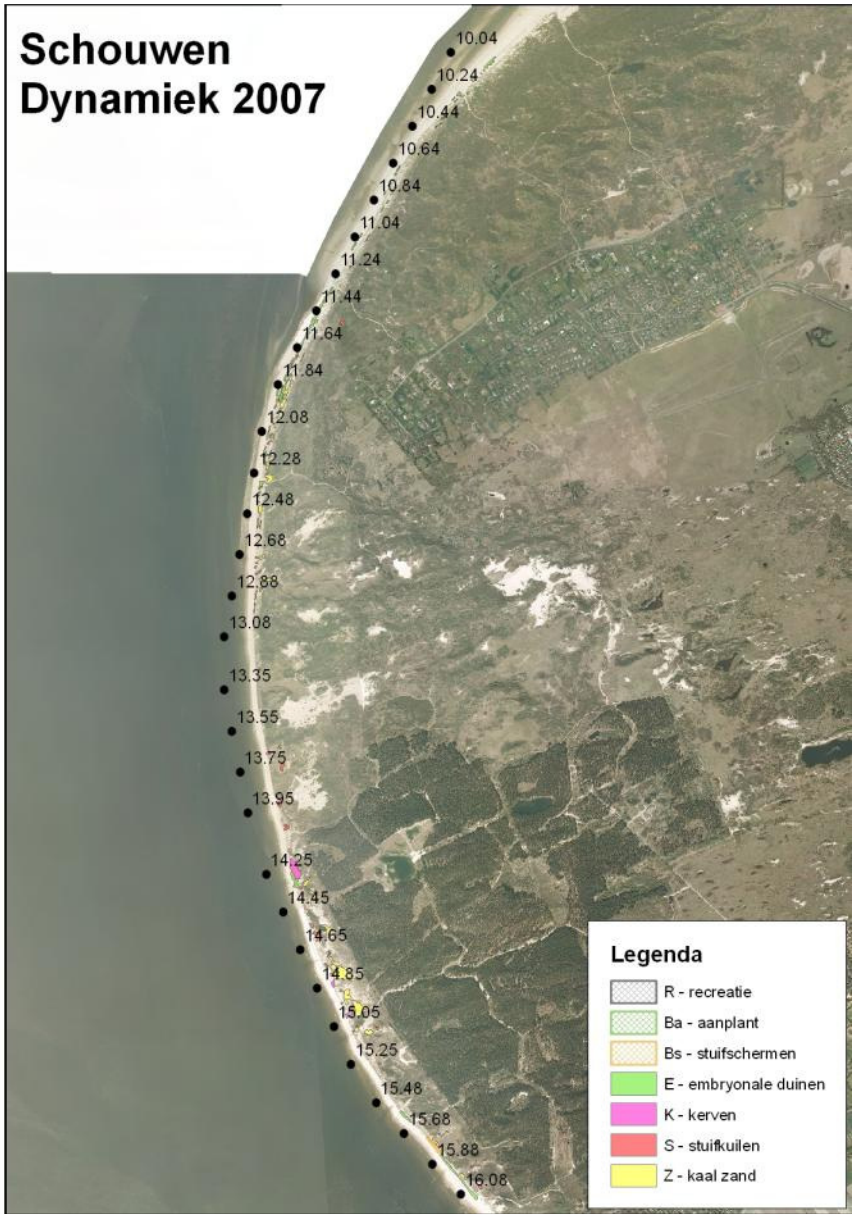
Voorne
Dynamiek 1996
11.00
11.20
11.40
11.60
11.80
12.00
12.20
12.40
12.60
12.80
13.00
13.20
13.40
13.60
13.80
14.00
14.20
14.40
14.60
14.80
15.00
N
W
E
S

Voorne
Dynamiek 2007
11.00
11.20
11.40
11.60
11.80
12.00
12.20
12.40
12.60
12.80
13.00
13.20
13.40
13.60
13.80
14.00
14.20
14.40
14.60
14.80
15.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

Goeree
Dynamiek 1996
N
W
E
S
14.00
14.25
14.50
14.75
15.00
15.02
15.25
15.50
15.75
16.00
16.01
16.02
16.25
16.50
16.75
17.00
17.01
17.02
17.25
17.50
17.75
18.00


Goeree
Dynamiek 2007
14.00
14.25
14.50
14.75
15.00
15.02
15.25
15.50
15.75
16.00
16.01
16.02
16.25
16.50
16.75
17.00
17.01
17.02
17.25
17.50
17.75
18.00
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand


Schouwen
Dynamiek 1996
N
W
E
S
10.04
10.24
10.44
10.64
10.84
11.04
11.24
11.44
11.64
11.84
12.08
12.28
12.48
12.68
12.88
13.08
13.35
13.55
13.75
13.95
14.25
14.45
14.65
14.85
15.05
15.25
15.48
15.68
15.88
16.08


Schouwen
Dynamiek 2007
10.04
10.24
10.44
10.64
10.84
11.04
11.24
11.44
11.64
11.84
12.08
12.28
12.48
12.68
12.88
13.08
13.35
13.55
13.75
13.95
14.25
14.45
14.65
14.85
15.05
15.25
15.48
15.68
15.88
16.08
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

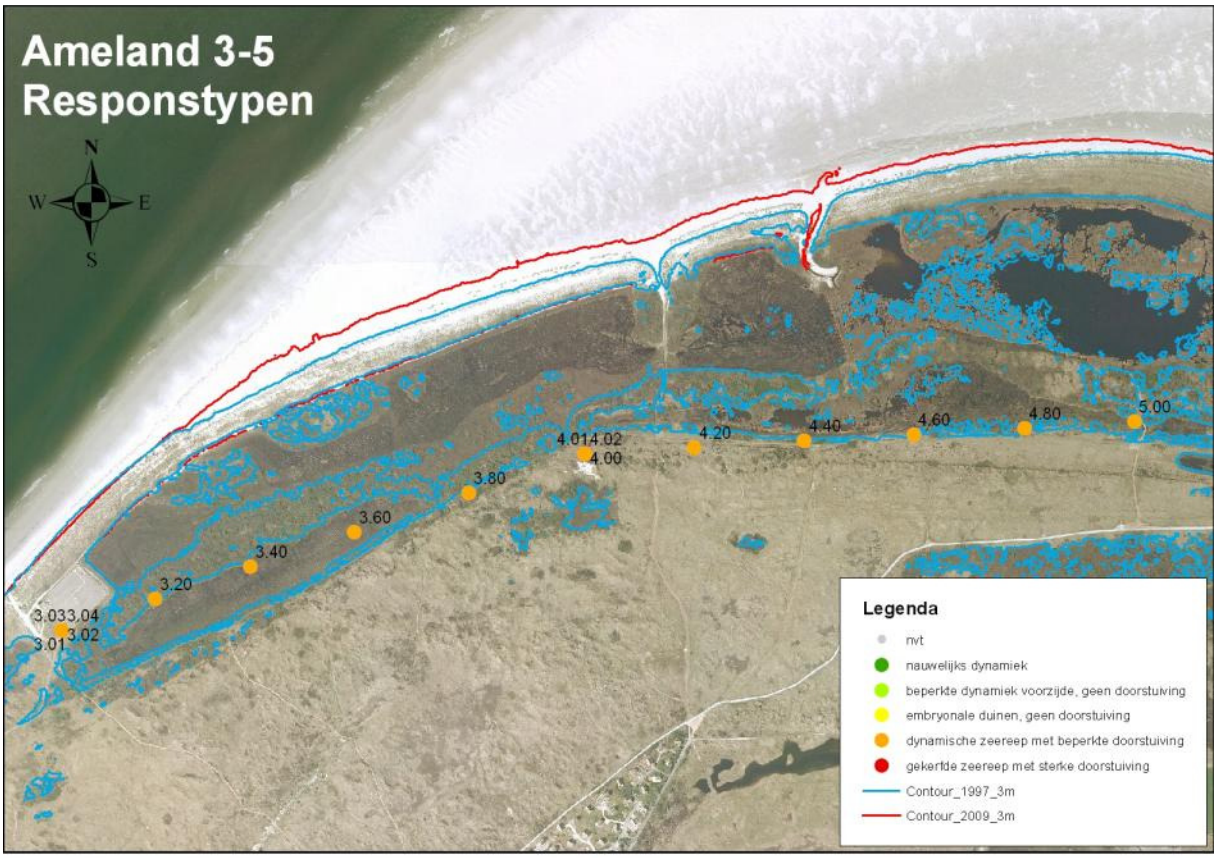
Walcheren
Dynamiek 1996
N
W
E
S
9.40
9.20
9.00
8.80
8.60
8.40
8.20
8.00
9.65
9.85
10.05
10.25
10.45
10.65
10.85
11.05
11.25
11.45
11.65

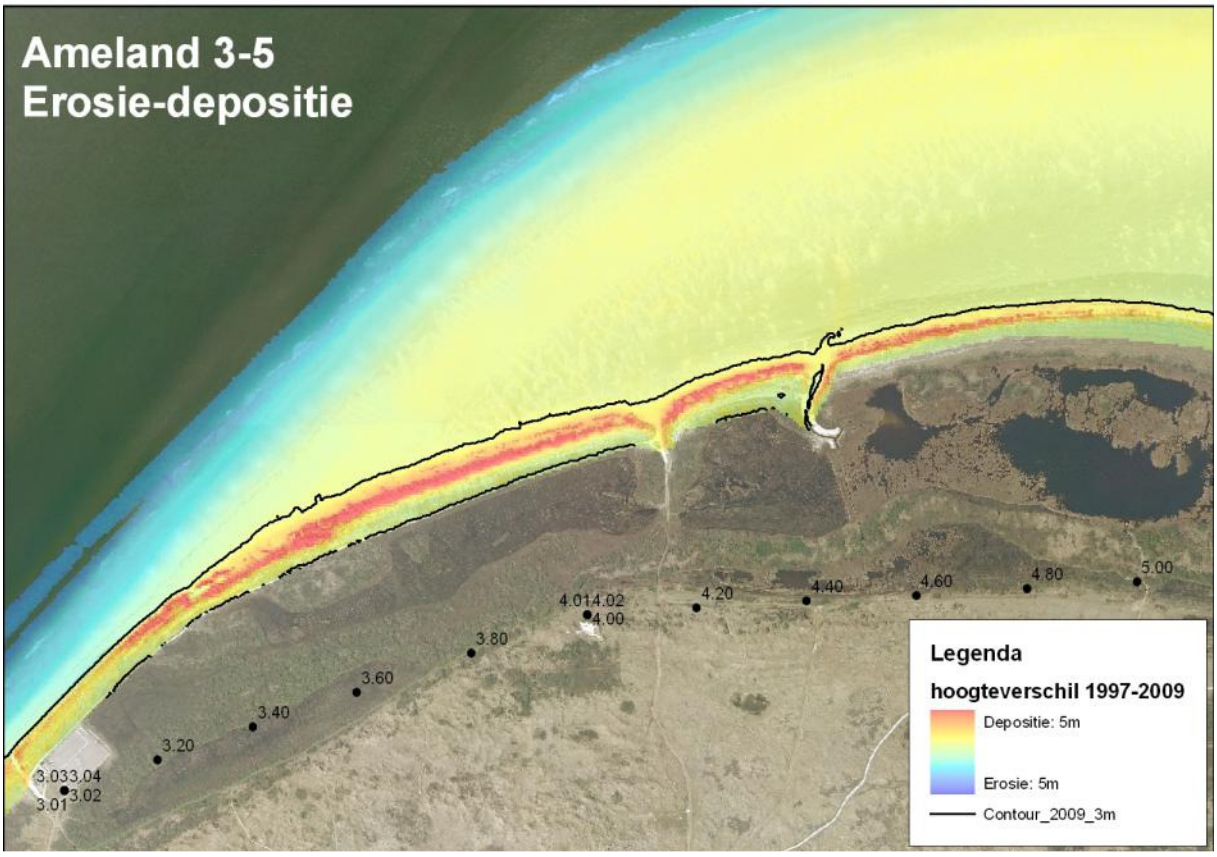
Walcheren
Dynamiek 2007
9.40
9.20
9.00
8.80
8.60
8.40
8.20
8.00
9.65
9.85
10.05
10.25
10.45
10.65
10.85
11.05
11.25
11.45
11.65
Legenda
R - recreatie
Ba - aanplant
Bs - stuifschermen
E - embryonale duinen
K - kerven
S - stuifkuilen
Z - kaal zand

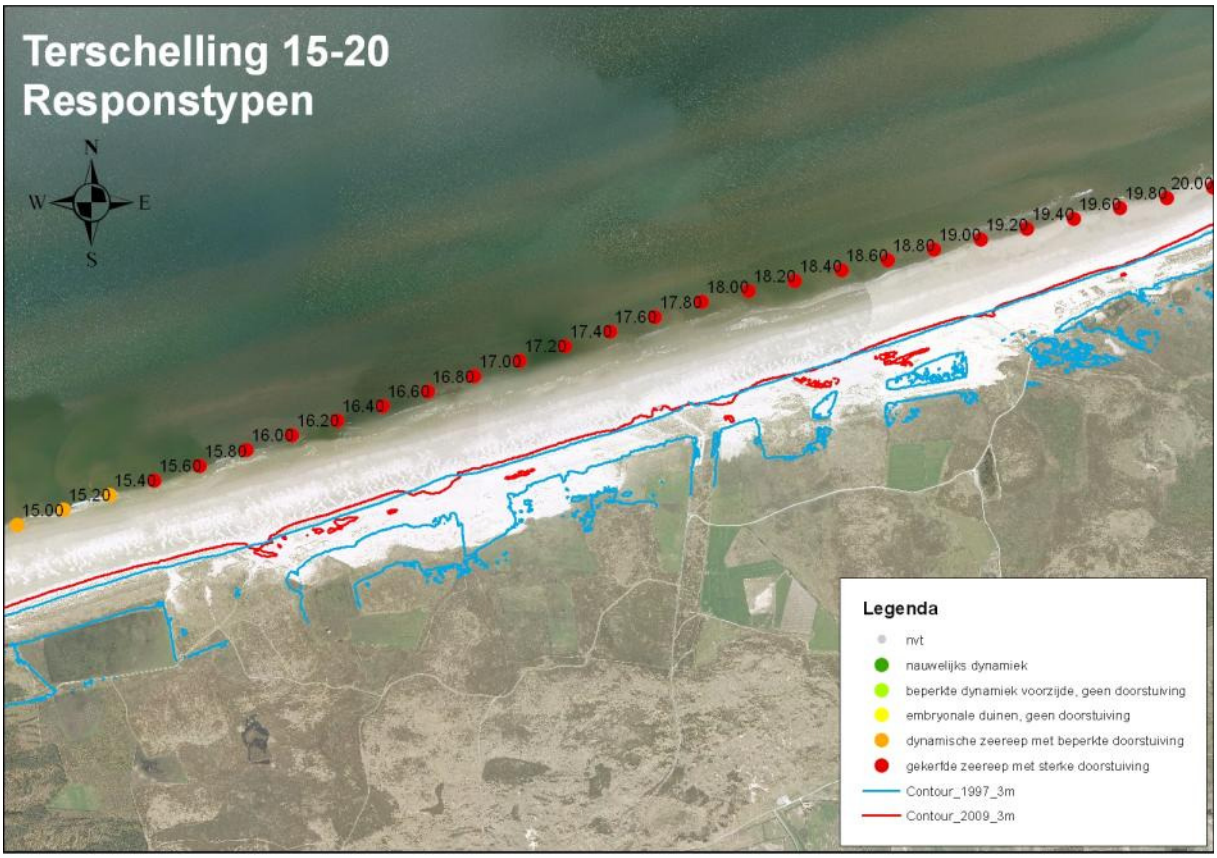
Bijlage 4 Responstypen en hoogteverschillen

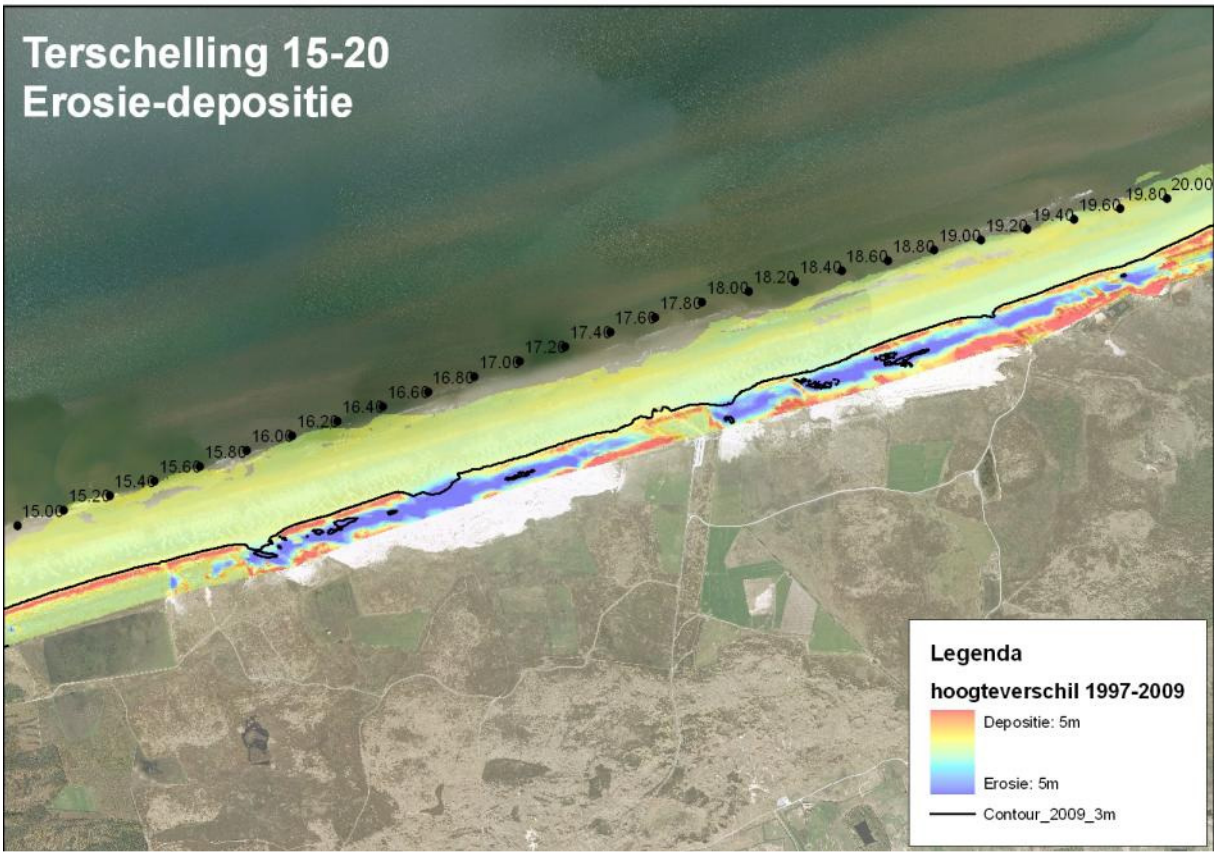
Ameland 17-20
Responstypen
17.00
17.20
17.40
17.60
17.80
18.00
18.20
18.40
18.60
18.80
19.00
19.20
19.40
19.60
19.80
20.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_1997_3m
Contour_2009_3m

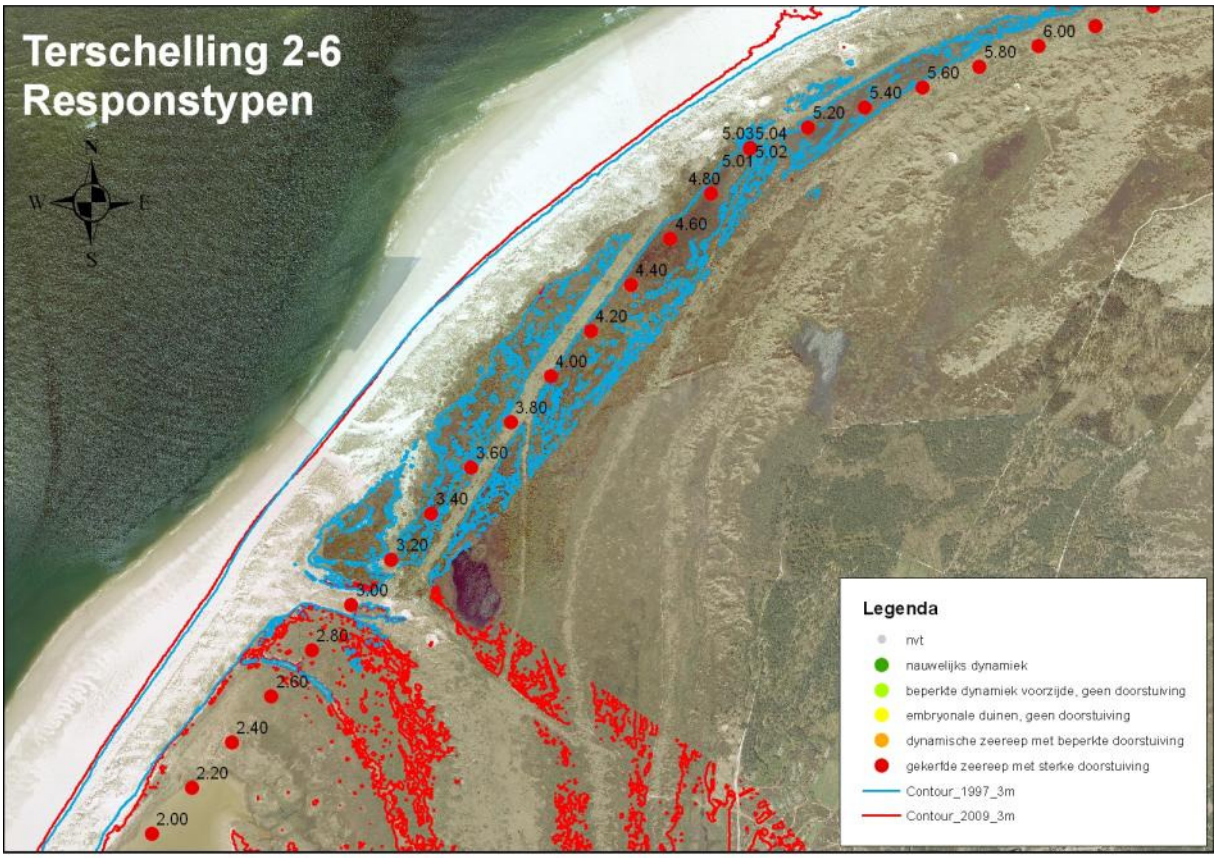
Ameland 17-20
Erosie-depositie
N
W
E
S
17.00
17.20
17.40
17.60
17.80
18.00
18.20
18.40
18.60
18.80
19.00
19.20
19.40
19.60
19.80
20.00
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

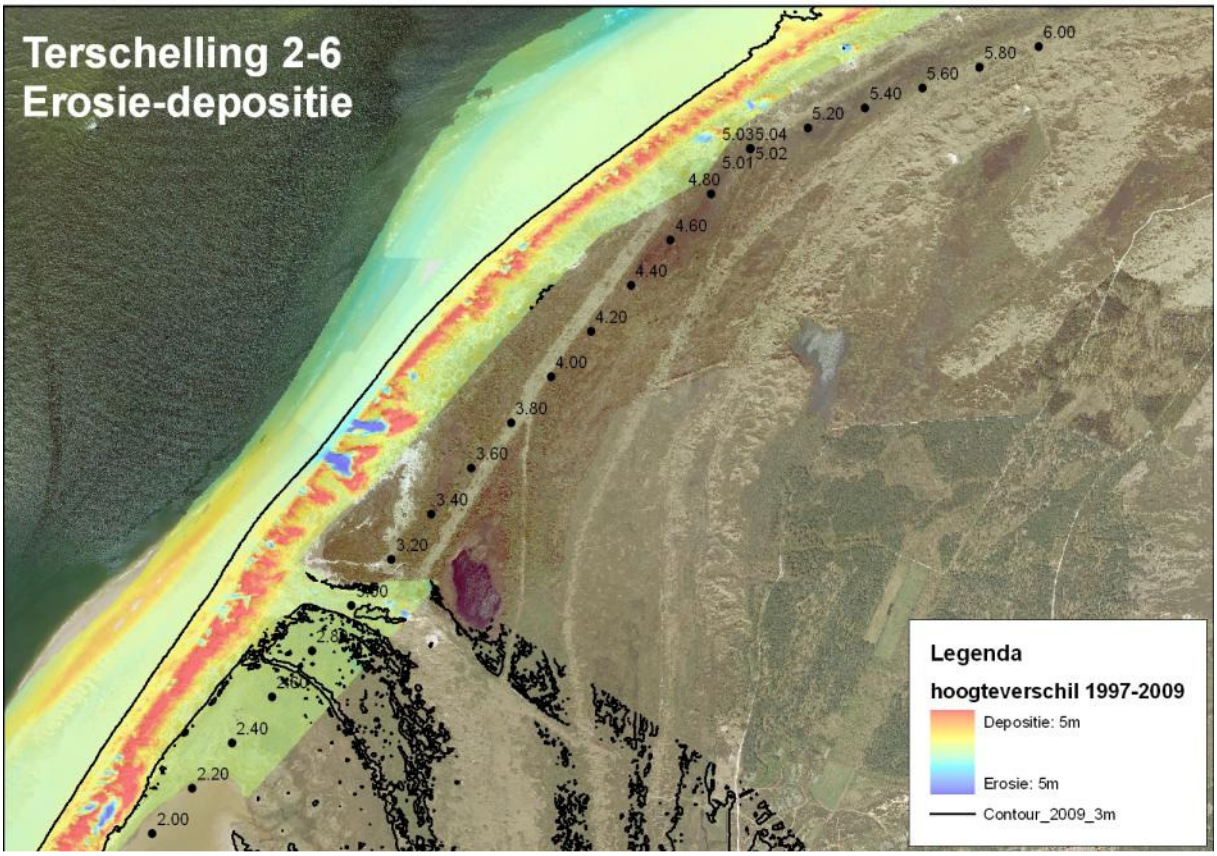

Ameland 3-5
Responstypen
N
W
E
S
3.033.04
3.01
3.02
3.20
3.40
3.60
3.80
4.014.02
4.00
4.20
4.40
4.60
4.80
5.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_1997_3m
Contour_2009_3m

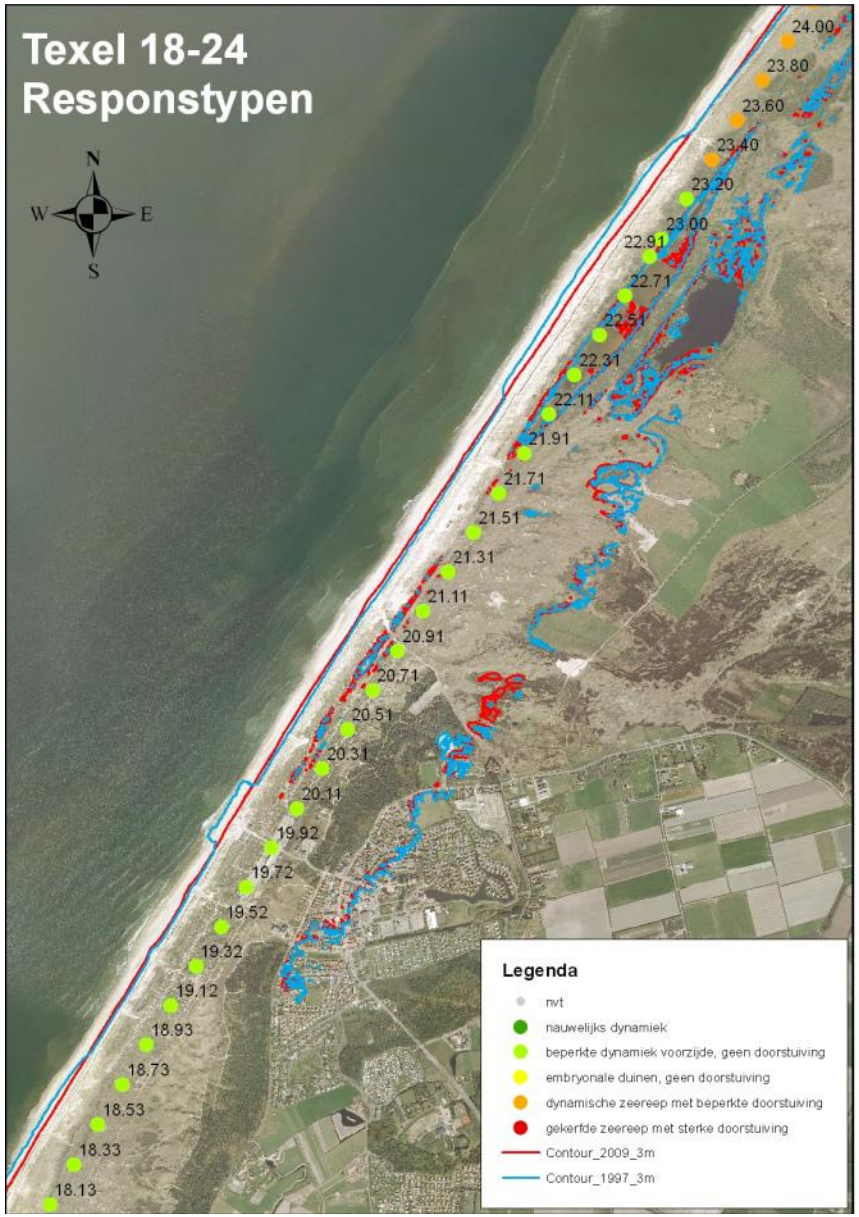

Ameland 3-5
Erosie-depositie
3.033.04
3.01
3.02
3.20
3.40
3.60
3.80
4.014.02
4.00
4.20
4.40
4.60
4.80
5.00
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

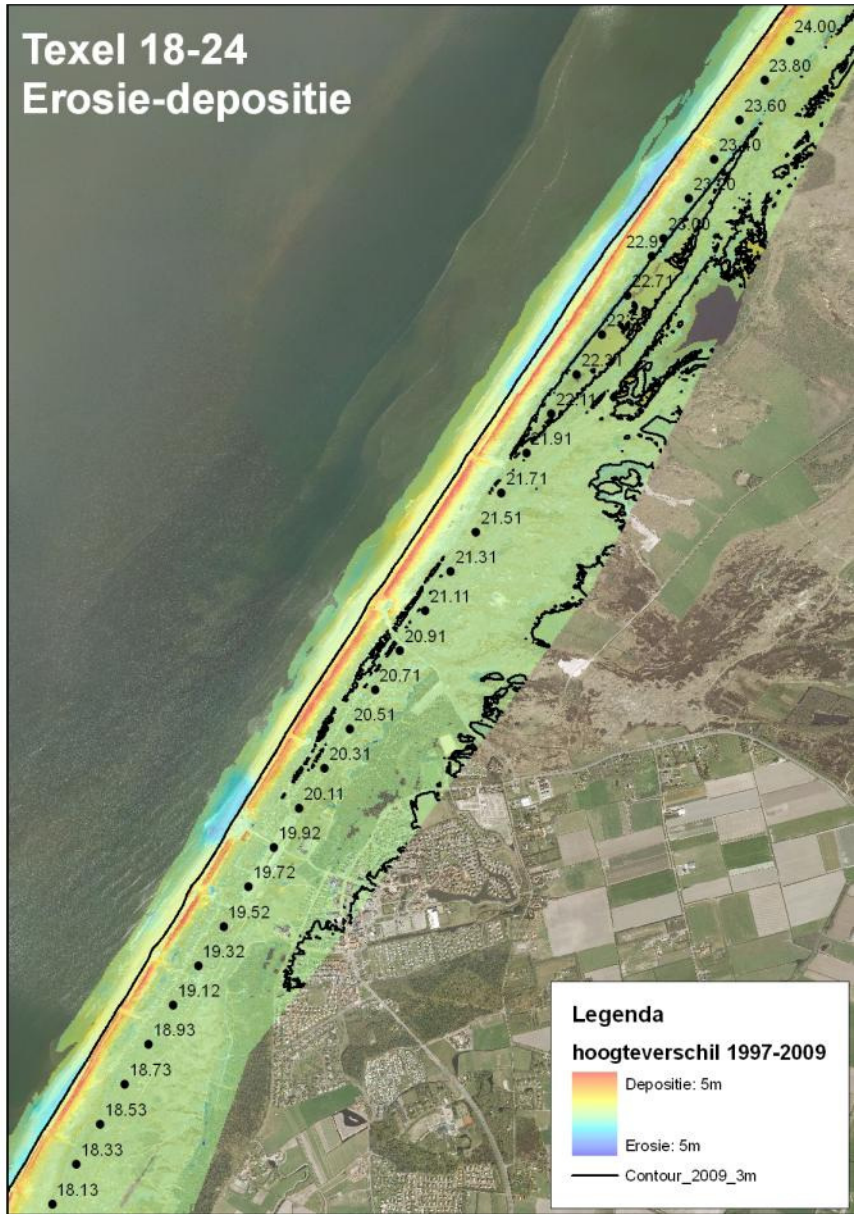

Terschelling 15-20
Responstypen
N
W
E
S
15.00
15.20
15.40
15.60
15.80
16.00
16.20
16.40
16.60
16.80
17.00
17.20
17.40
17.60
17.80
18.00
18.20
18.40
18.60
18.80
19.00
19.20
19.40
19.60
19.80
20.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_1997_3m
Contour_2009_3m

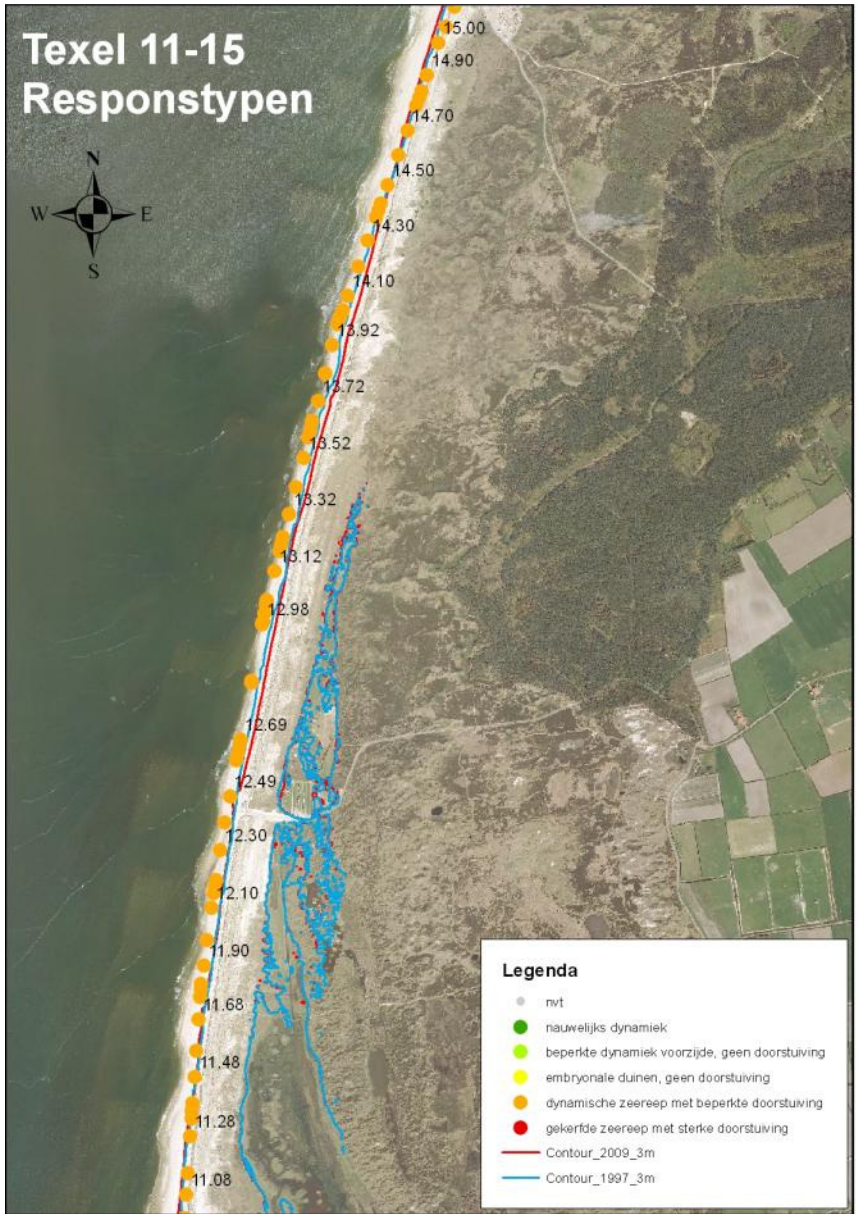

Terschelling 15-20
Erosie-depositie
15.00
15.20
15.40
15.60
15.80
16.00
16.20
16.40
16.60
16.80
17.00
17.20
17.40
17.60
17.80
18.00
18.20
18.40
18.60
18.80
19.00
19.20
19.40
19.60
19.80
20.00
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

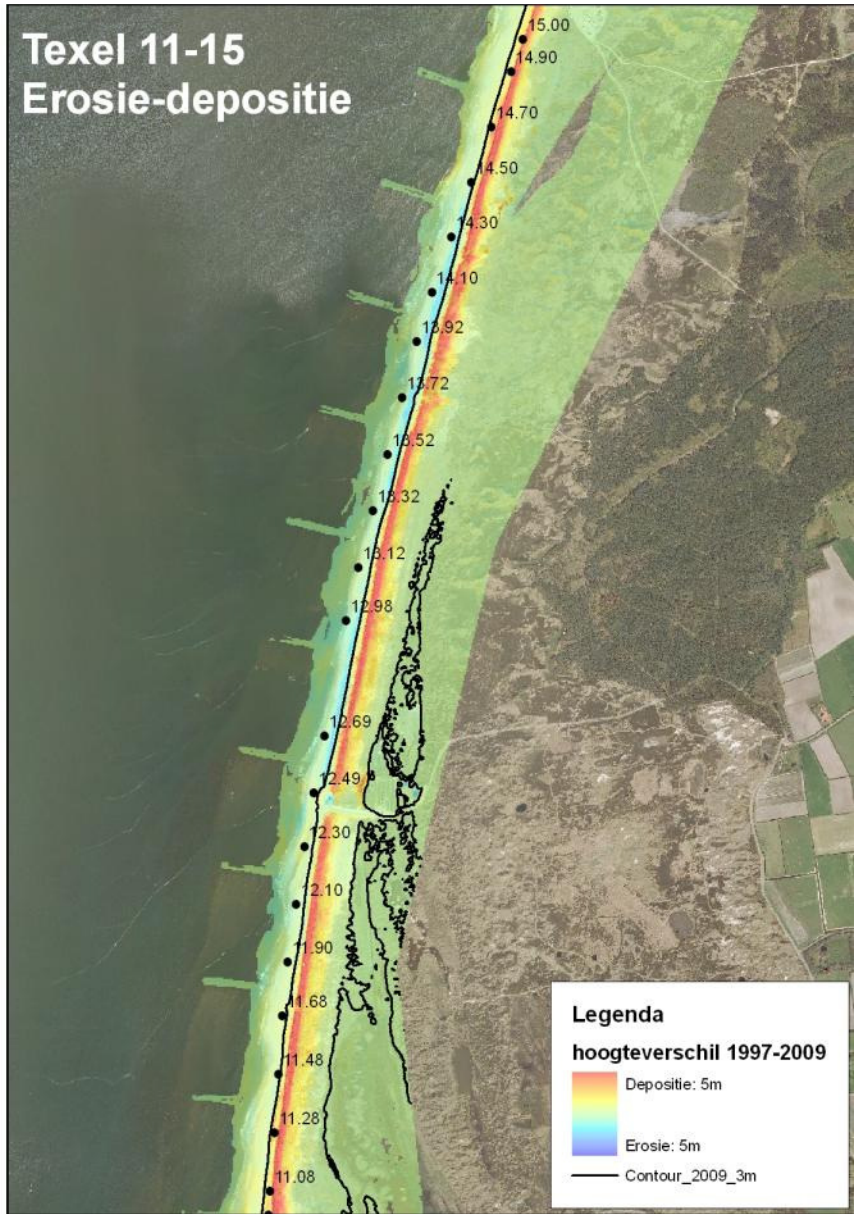

Terschelling 2-6
Responstypen
N
W
E
S
6.00
5.80
5.60
5.40
5.20
5.03
5.04
5.01
5.02
4.80
4.60
4.40
4.20
4.00
3.80
3.60
3.40
3.20
3.00
2.80
2.60
2.40
2.20
2.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_1997_3m
Contour_2009_3m

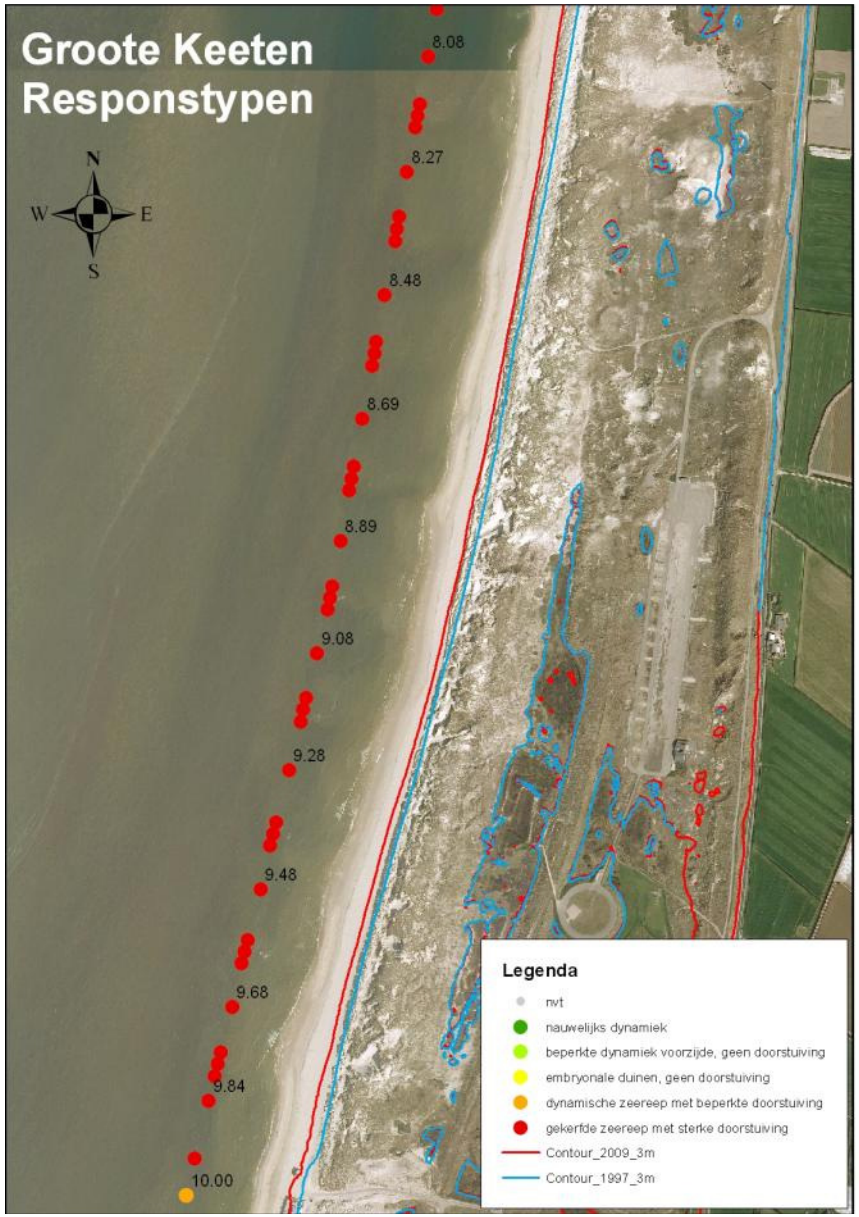

Terschelling 2-6
Erosie-depositie
6.00
5.80
5.60
5.40
5.20
5.03
5.04
5.01
5.02
4.80
4.60
4.40
4.20
4.00
3.80
3.60
3.40
3.20
3.00
2.80
2.60
2.40
2.20
2.00
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

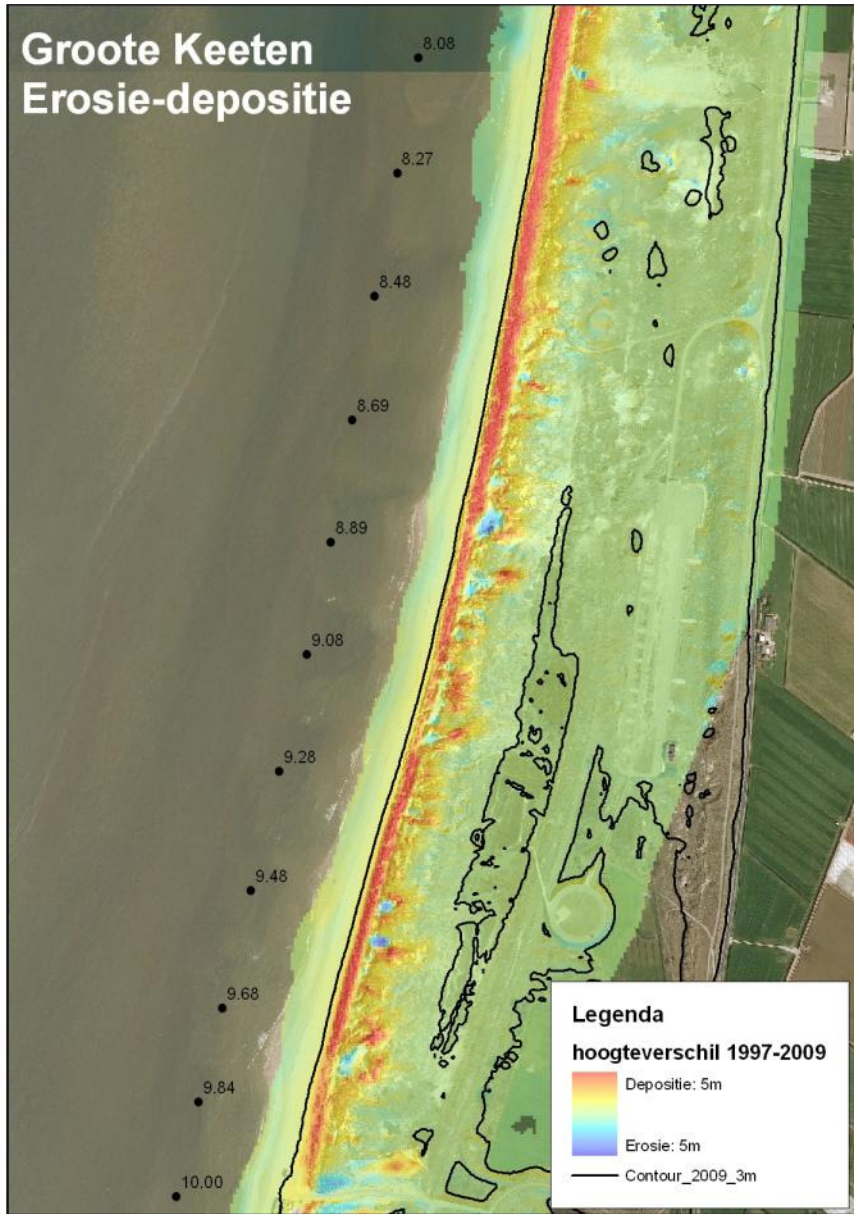

Texel 18-24
Responstypen
N
W
E
S
24.00
23.80
23.60
23.40
23.20
23.00
22.91
22.71
22.51
22.31
22.11
21.91
21.71
21.51
21.31
21.11
20.91
20.71
20.51
20.31
20.11
19.92
19.72
19.52
19.32
19.12
18.93
18.73
18.53
18.33
18.13
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1997_3m

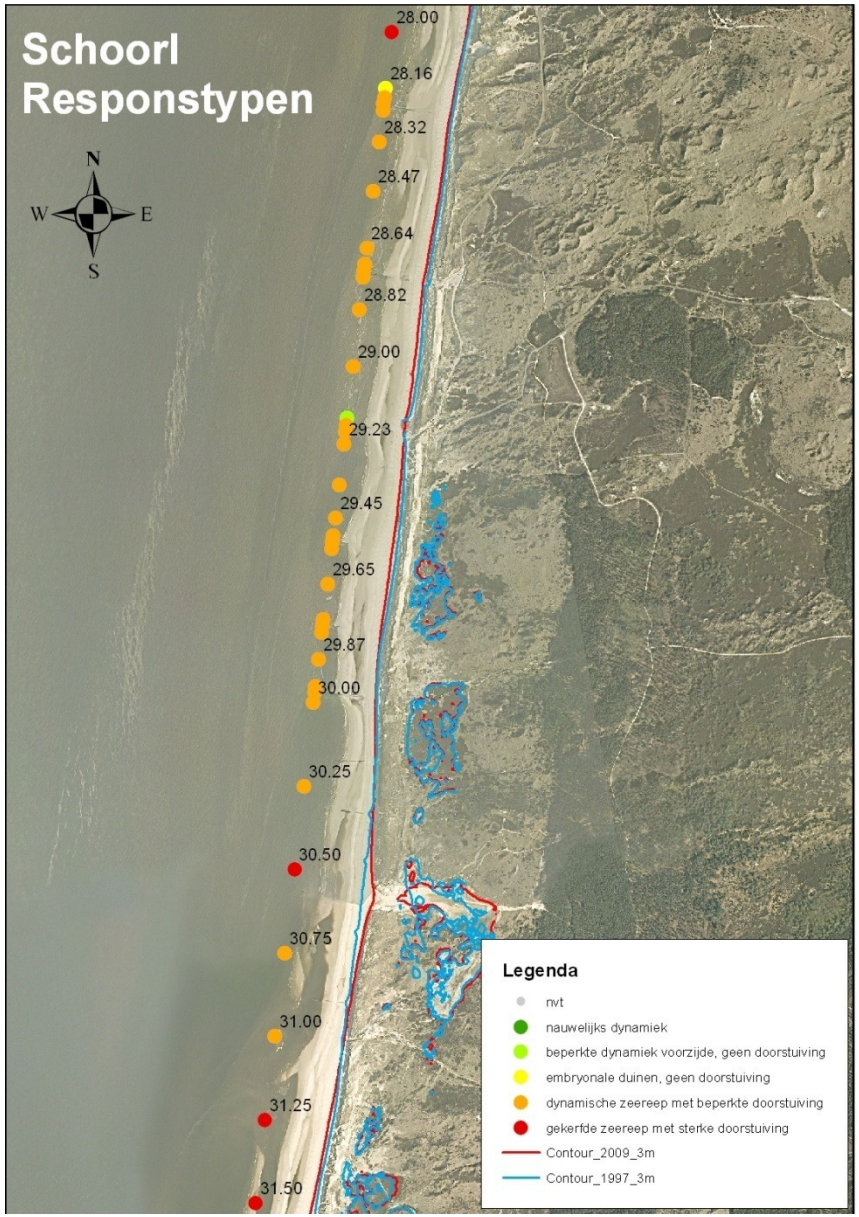

Texel 18-24
Erosie-depositie
24.00
23.80
23.60
21.71
21.51
21.31
21.11
20.91
20.71
20.51
20.31
20.11
19.92
19.72
19.52
19.32
19.12
18.93
18.73
18.53
18.33
18.13
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

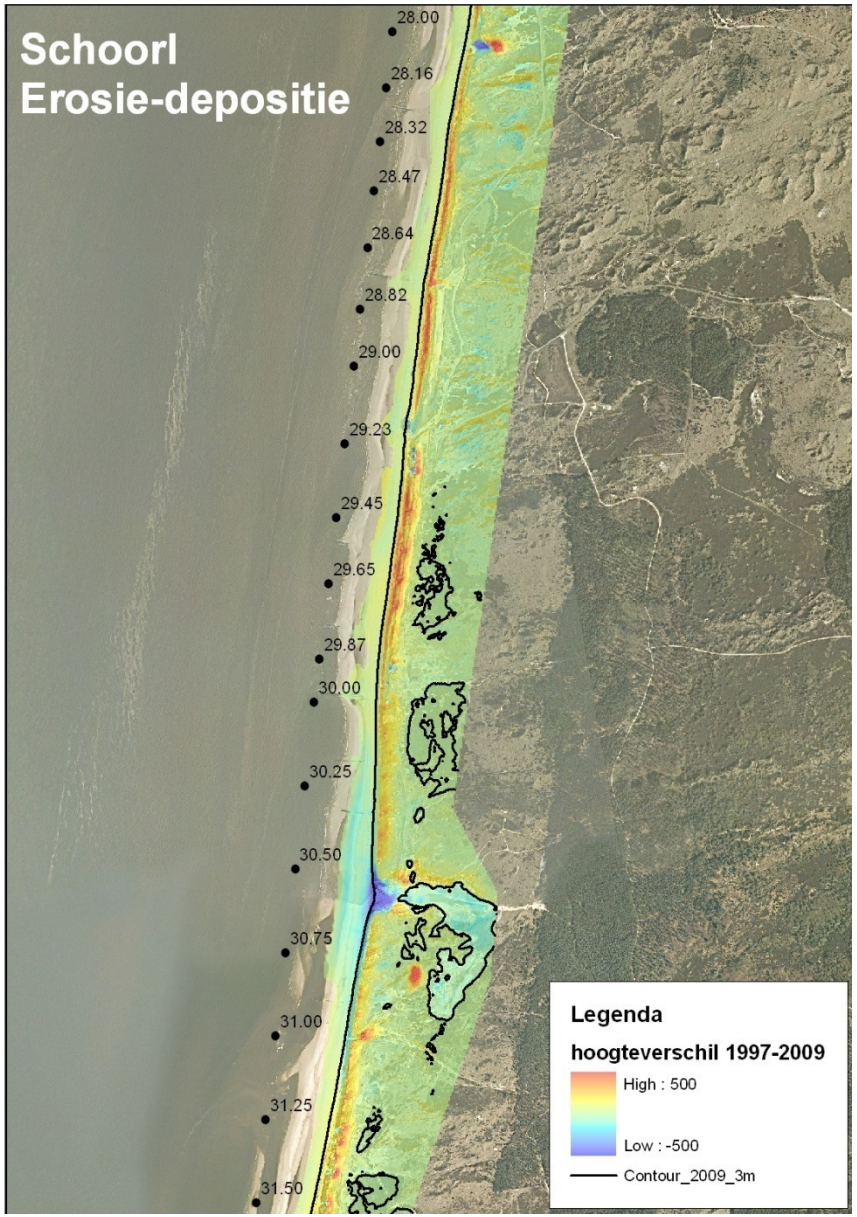

Texel 11-15
Responstypen
N
W
E
S
15.00
14.90
14.70
14.50
14.30
14.10
13.92
13.72
13.52
13.32
13.12
12.98
12.69
12.49
12.30
12.10
11.90
11.68
11.48
11.28
11.08
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1997_3m

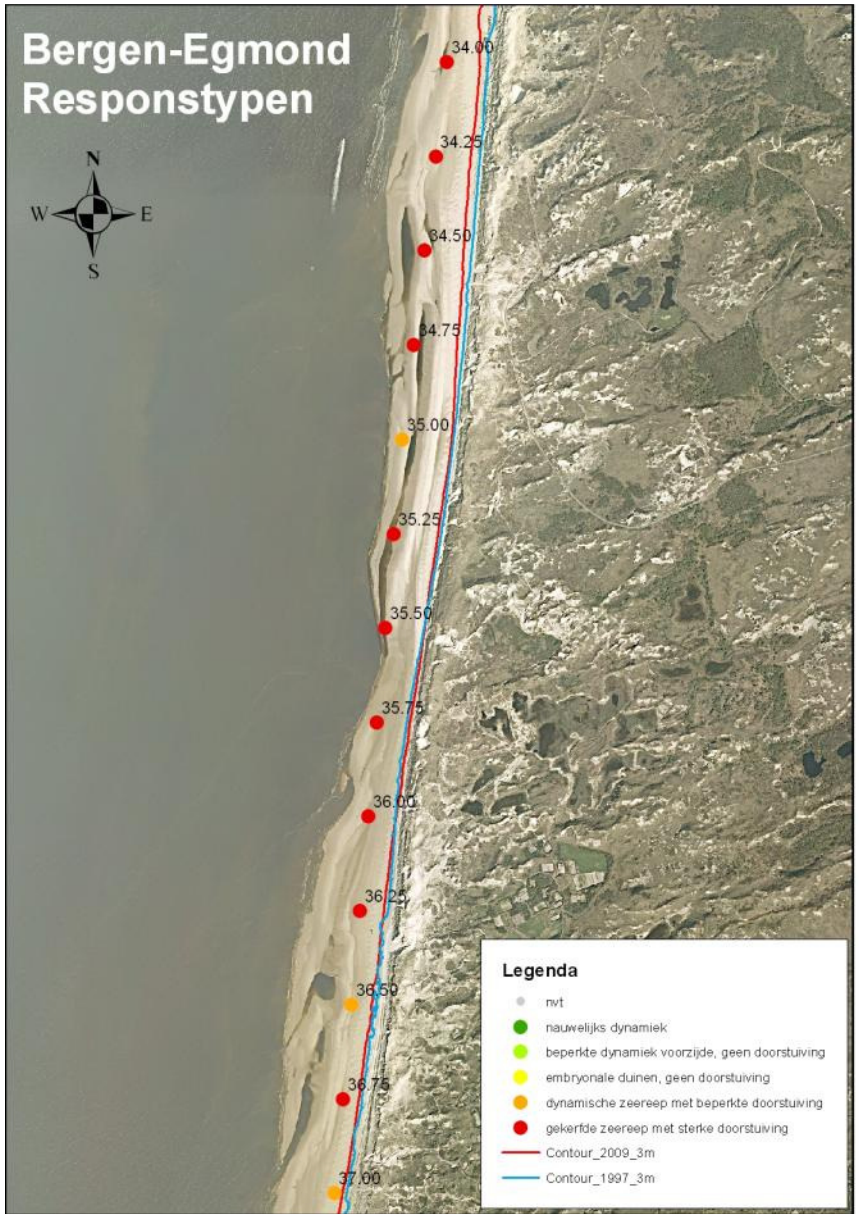

Texel 11-15
Erosie-depositie
15.00
14.90
14.70
14.50
14.30
14.10
13.92
13.72
13.52
13.32
13.12
12.98
12.69
12.49
12.30
12.10
11.90
11.68
11.48
11.28
11.08
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

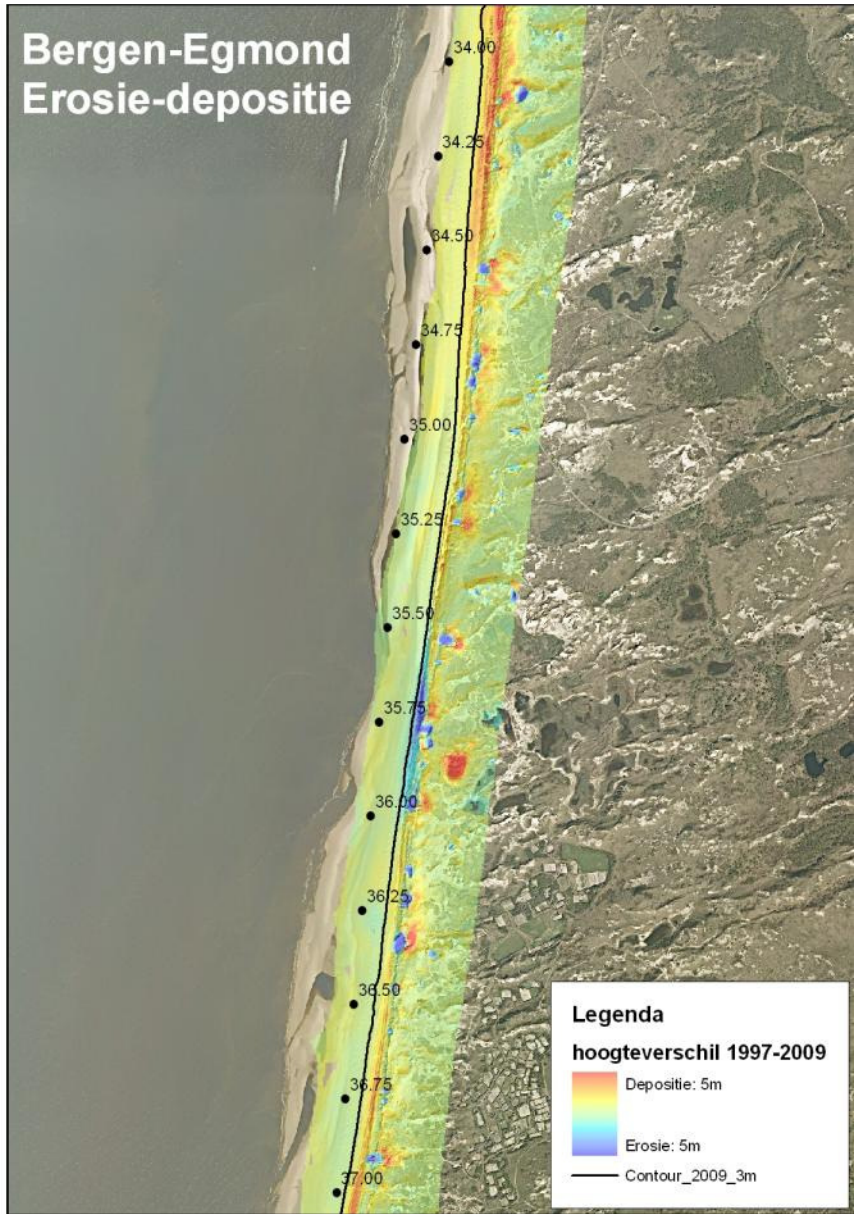

Groote Keeten
Responstypen
N
W
E
S
8.08
8.27
8.48
8.69
8.89
9.08
9.28
9.48
9.68
9.84
10.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1997_3m

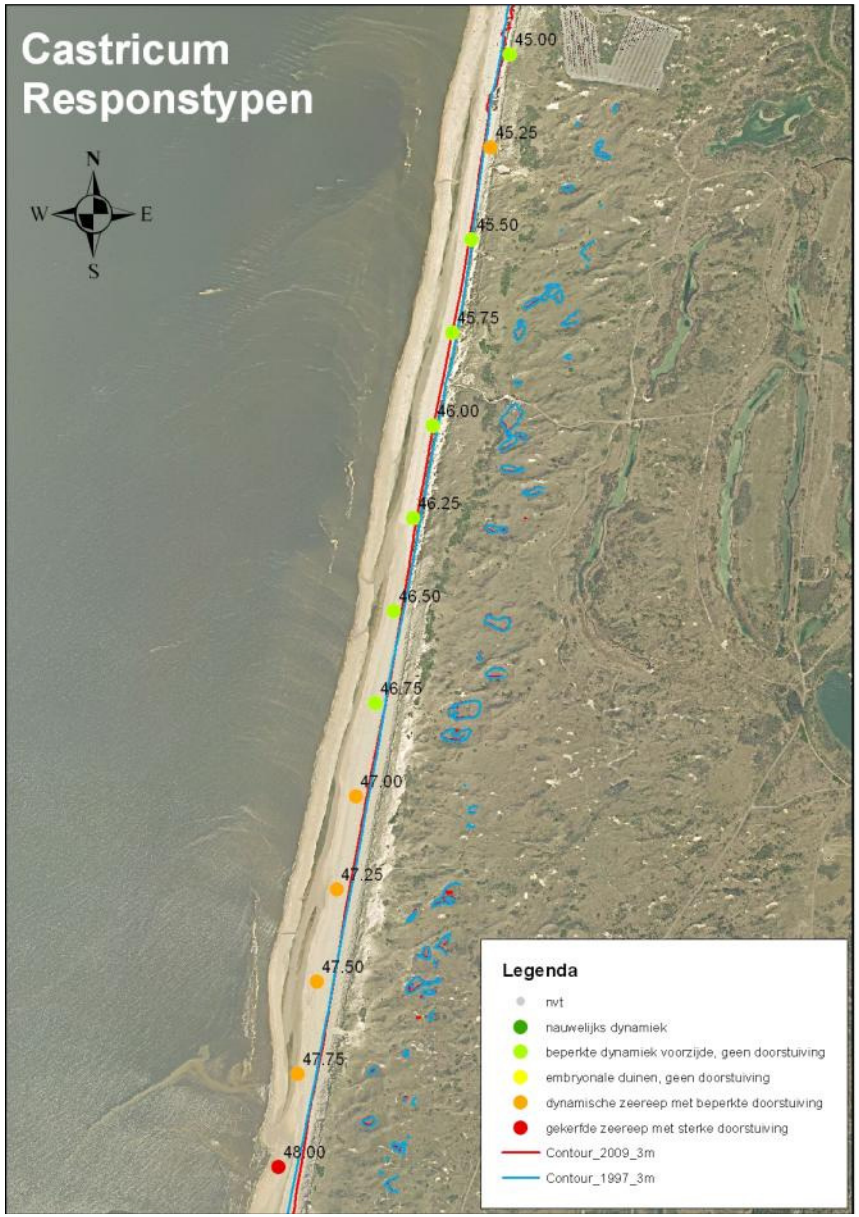

Groote Keeten
Erosie-depositie
8.08
8.27
8.48
8.69
8.89
9.08
9.28
9.48
9.68
9.84
10.00
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

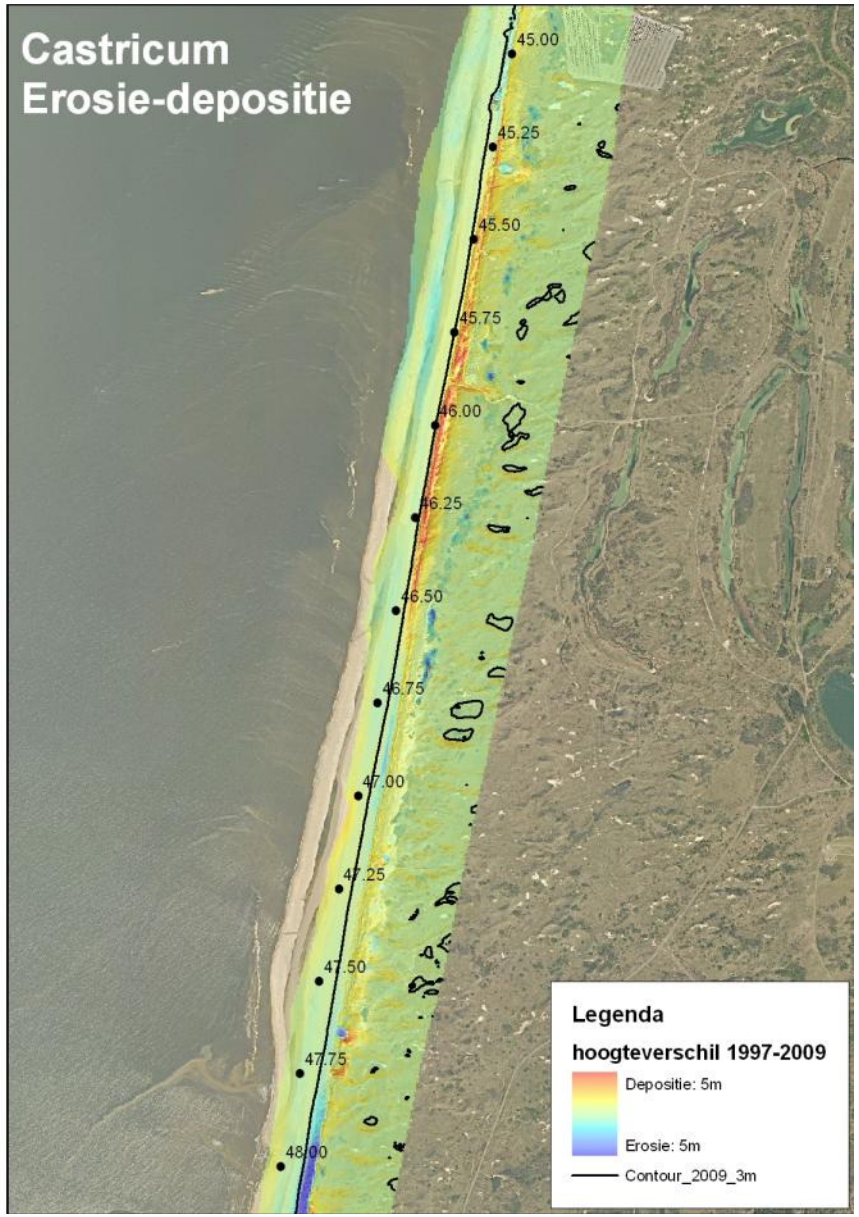

Schoorl
Responstypen
N
W
E
S
28.00
28.16
28.32
28.47
28.64
28.82
29.00
29.23
29.45
29.65
29.87
30.00
30.25
30.50
30.75
31.00
31.25
31.50
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1997_3m

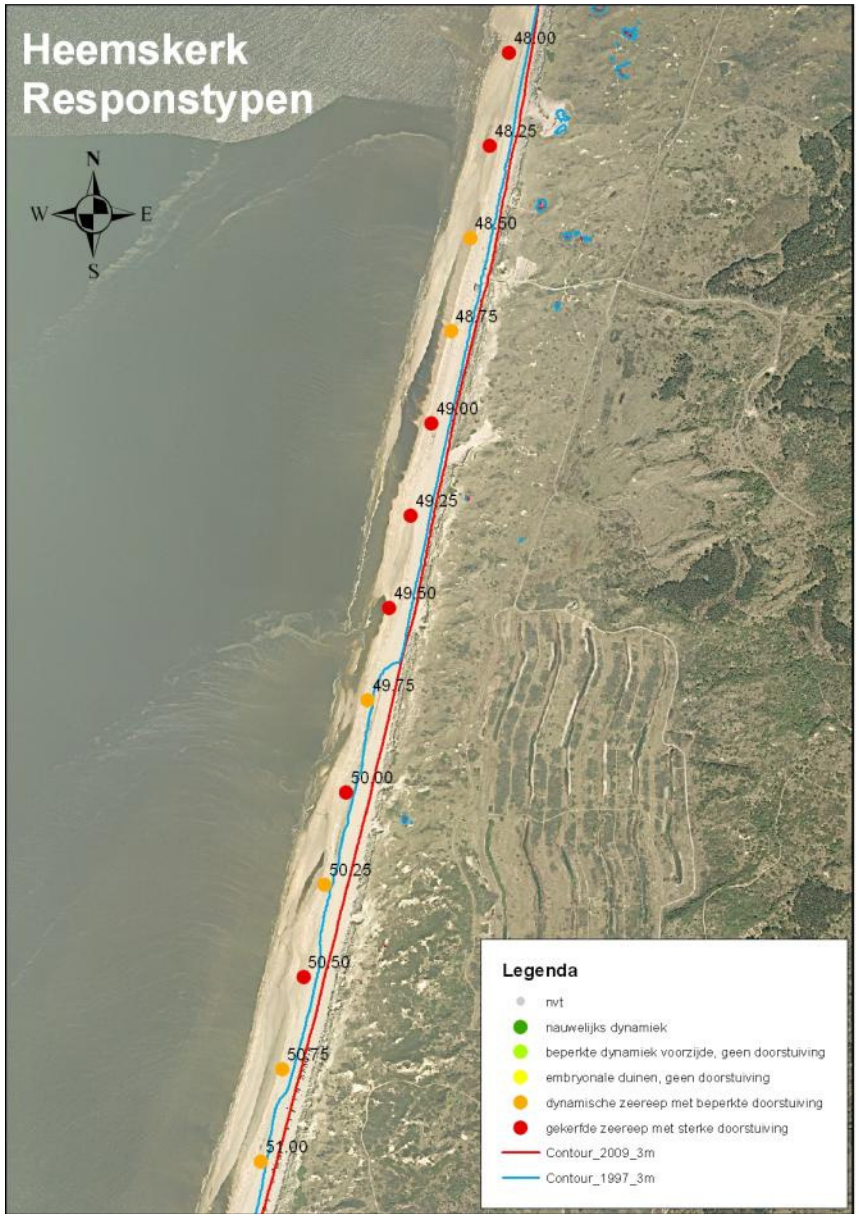

Schoorl
Erosie-depositie
28.00
28.16
28.32
28.47
28.64
28.82
29.00
29.23
29.45
29.65
29.87
30.00
30.25
30.50
30.75
31.00
31.25
31.50
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
High : 500
Low : -500
Contour_2009_3m

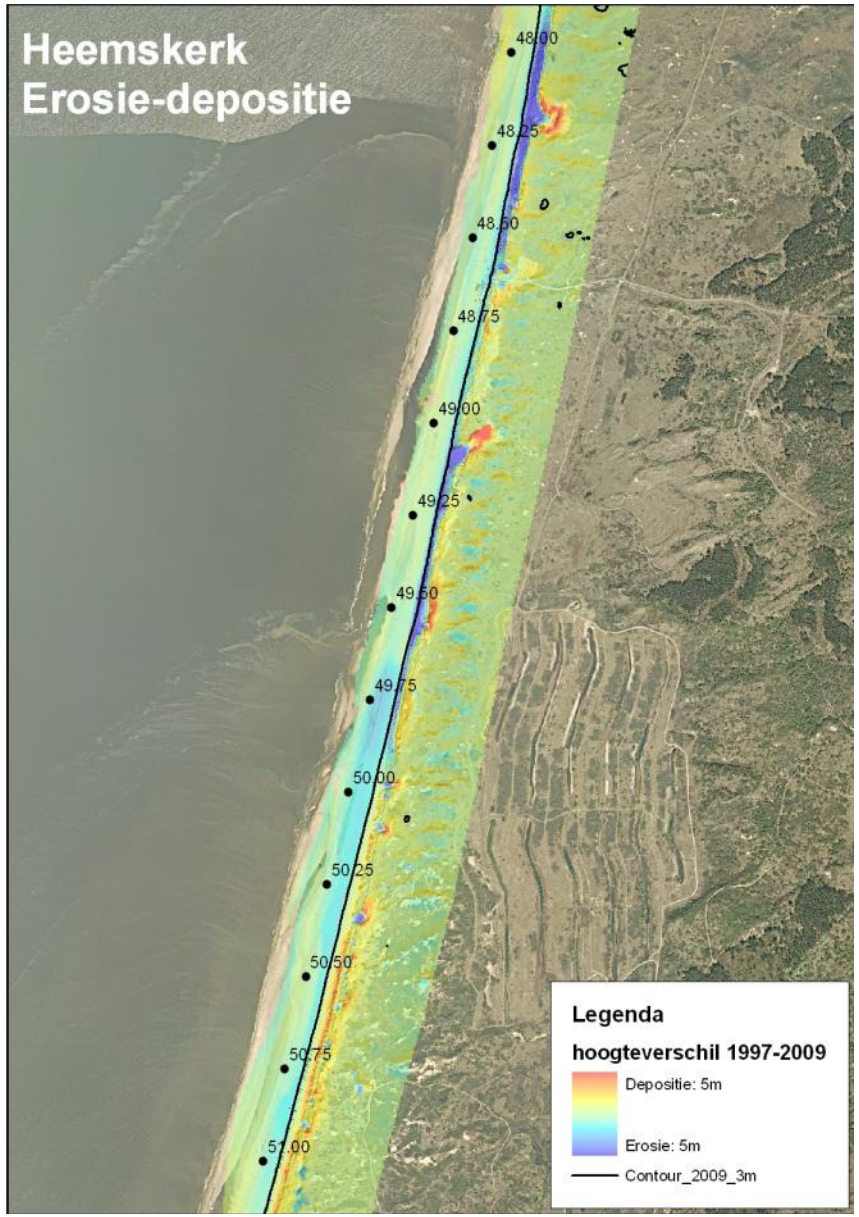

Bergen-Egmond
Responstypen
N
W
E
S
34.00
34.25
34.50
34.75
35.00
35.25
35.50
35.75
36.00
36.25
36.50
36.75
37.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1997_3m

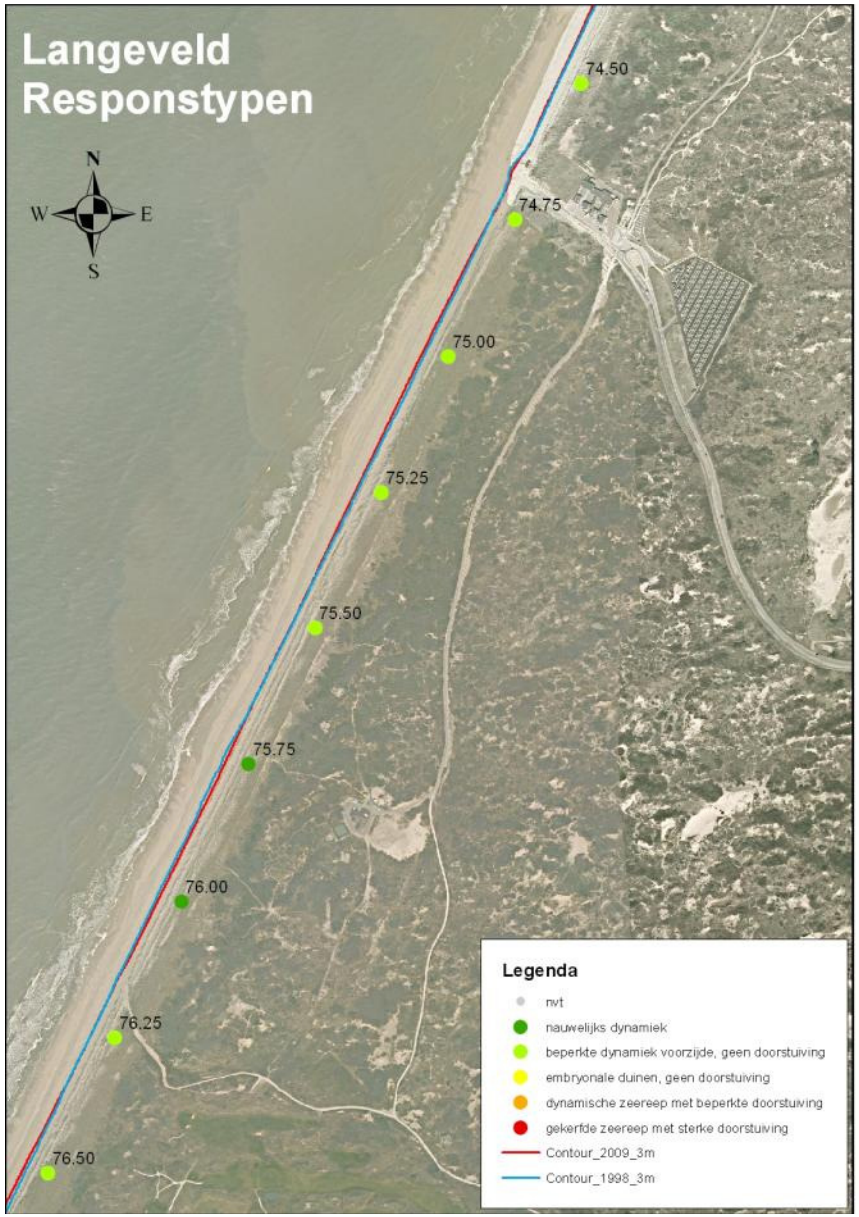

Bergen-Egmond
Erosie-depositie
34.00
34.25
34.50
34.75
35.00
35.25
35.50
35.75
36.00
36.25
36.50
36.75
37.00
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

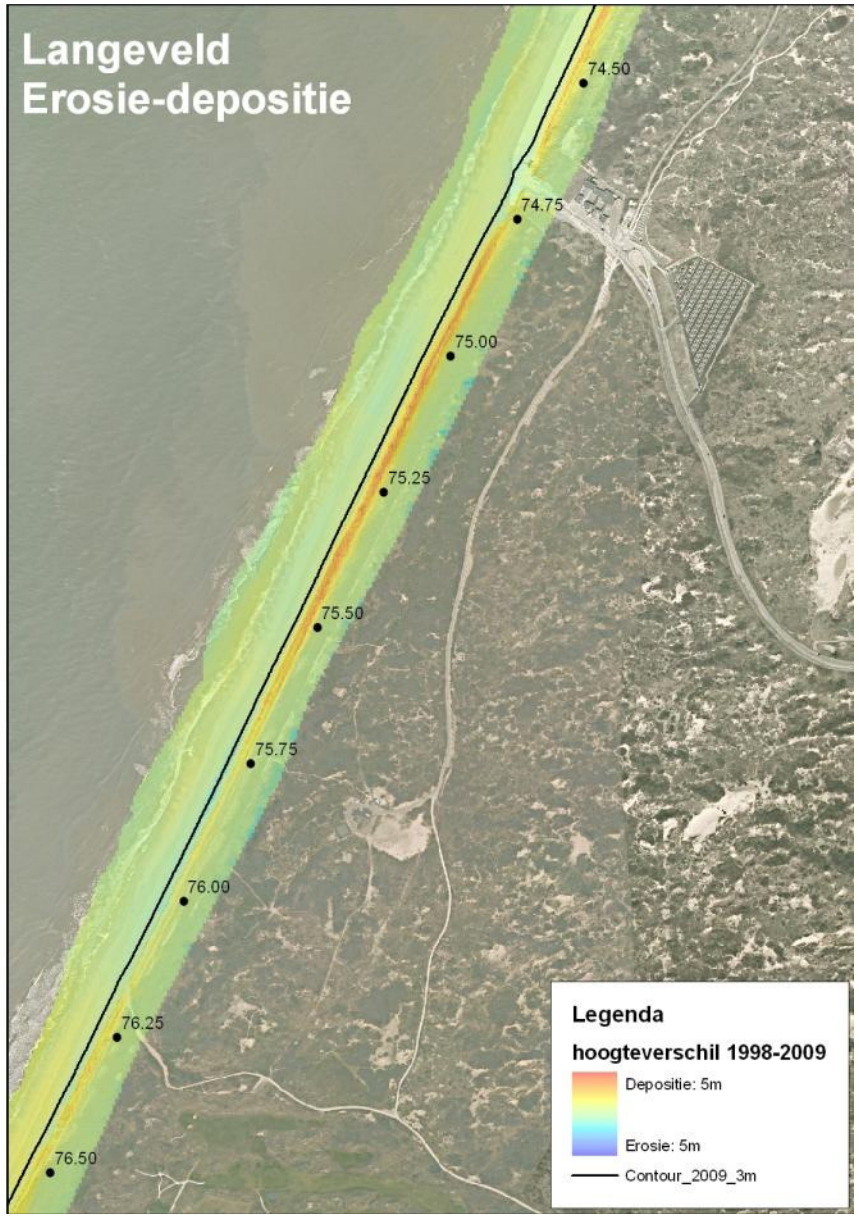

Castricum
Responstypen
N
W
E
S
45.00
45.25
45.50
45.75
46.00
46.25
46.50
46.75
47.00
47.25
47.50
47.75
48.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1997_3m

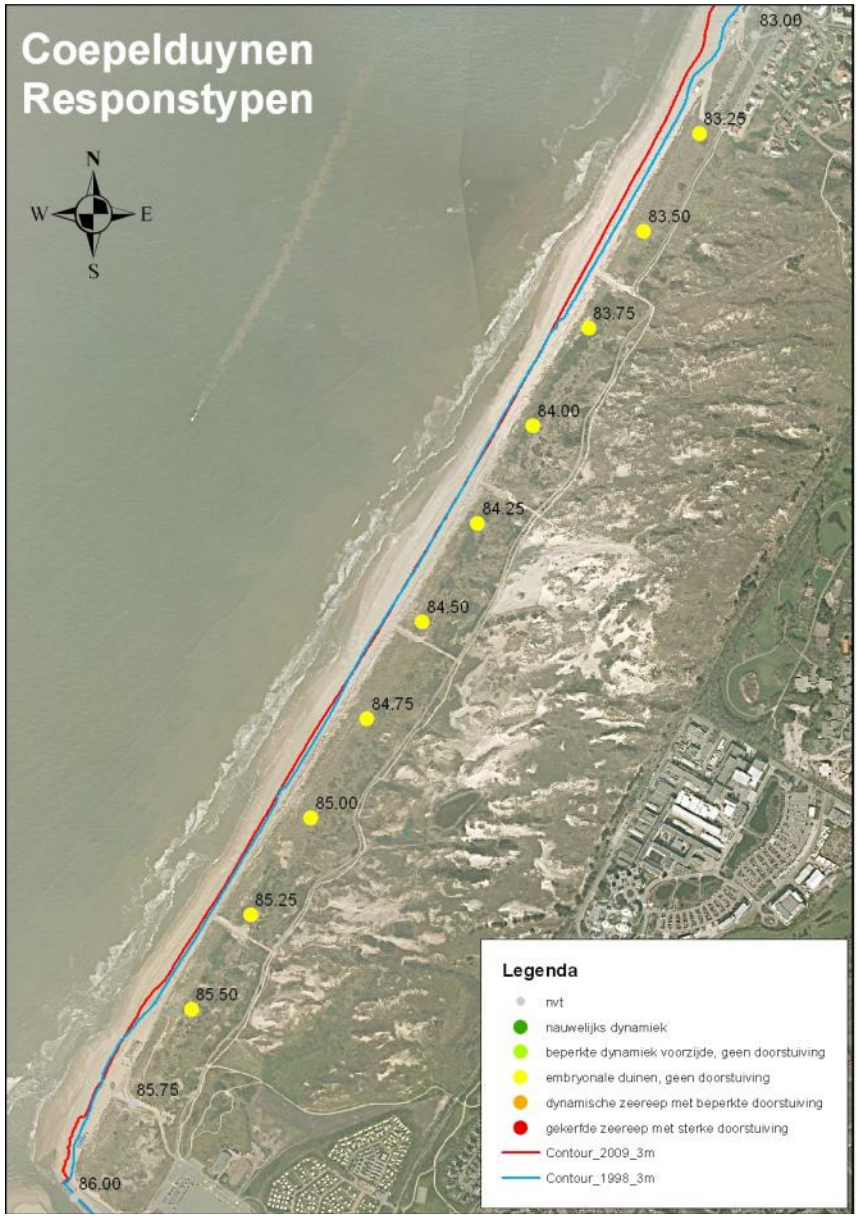

Castricum
Erosie-depositie
45.00
45.25
45.50
45.75
46.00
46.25
46.50
46.75
47.00
47.25
47.50
47.75
48.00
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

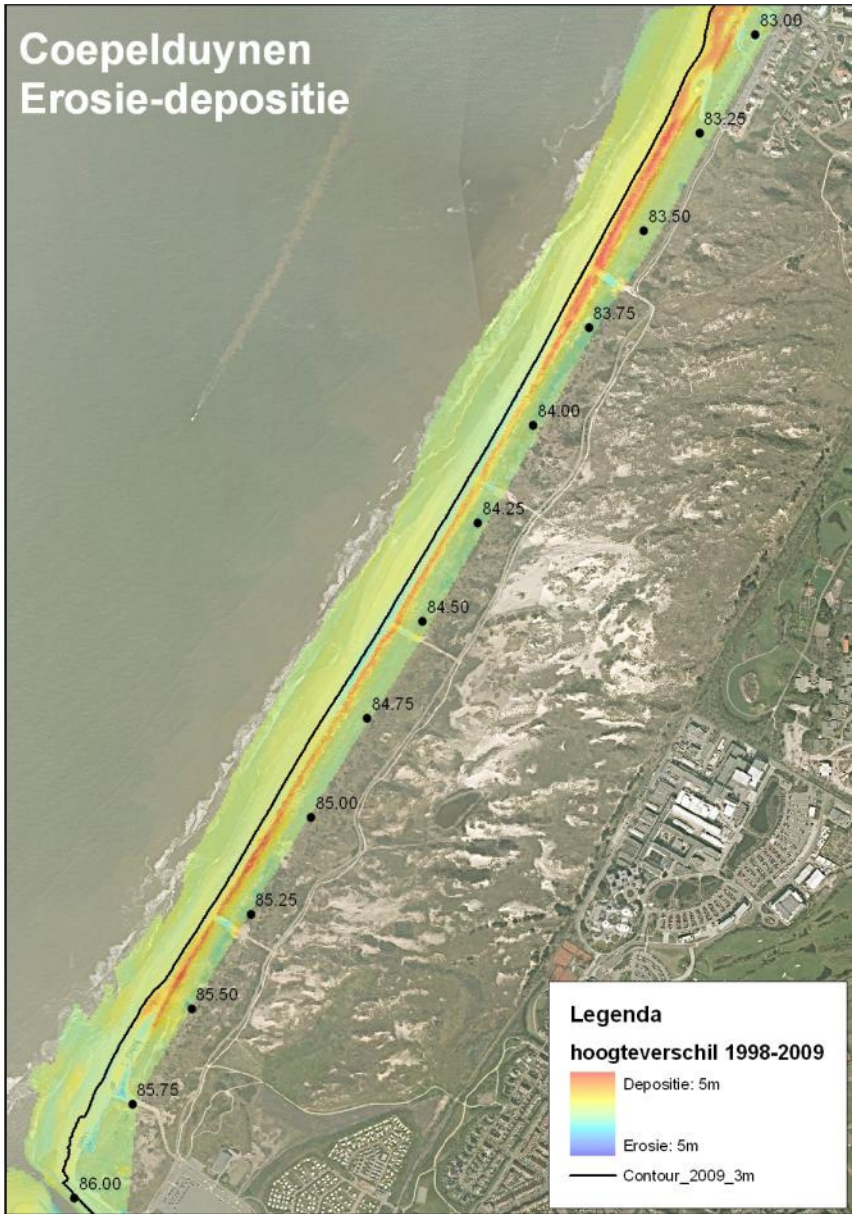

Heemskerk
Responstypen
N
W
E
S
48.00
48.25
48.50
48.75
49.00
49.25
49.50
49.75
50.00
50.25
50.50
50.75
51.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1997_3m


Heemskerk
Erosie-depositie
48.00
48.25
48.50
48.75
49.00
49.25
49.50
49.75
50.00
50.25
50.50
50.75
51.00
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m


Langeveld
Responstypen
N
W
E
S
74.50
74.75
75.00
75.25
75.50
75.75
76.00
76.25
76.50
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1998_3m


Langeveld
Erosie-depositie
74.50
74.75
75.00
75.25
75.50
75.75
76.00
76.25
76.50
Legenda
hoogteverschil 1998-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m


Coepelduynen
Responstypen
N
W
E
S
83.00
83.25
83.50
83.75
84.00
84.25
84.50
84.75
85.00
85.25
85.50
85.75
86.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1998_3m

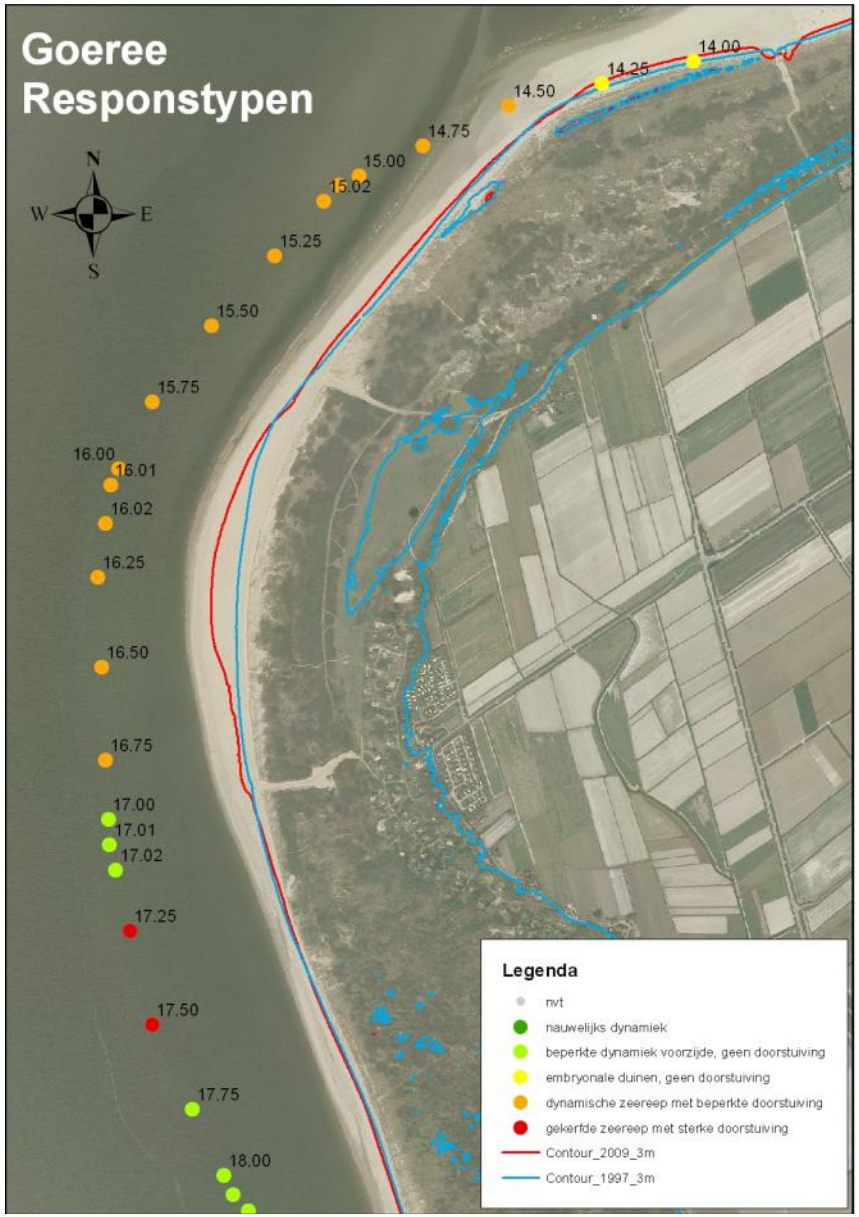

Coepelduynen
Erosie-depositie
83.00
83.25
83.50
83.75
84.00
84.25
84.50
84.75
85.00
85.25
85.50
85.75
86.00
Legenda
hoogteverschil 1998-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

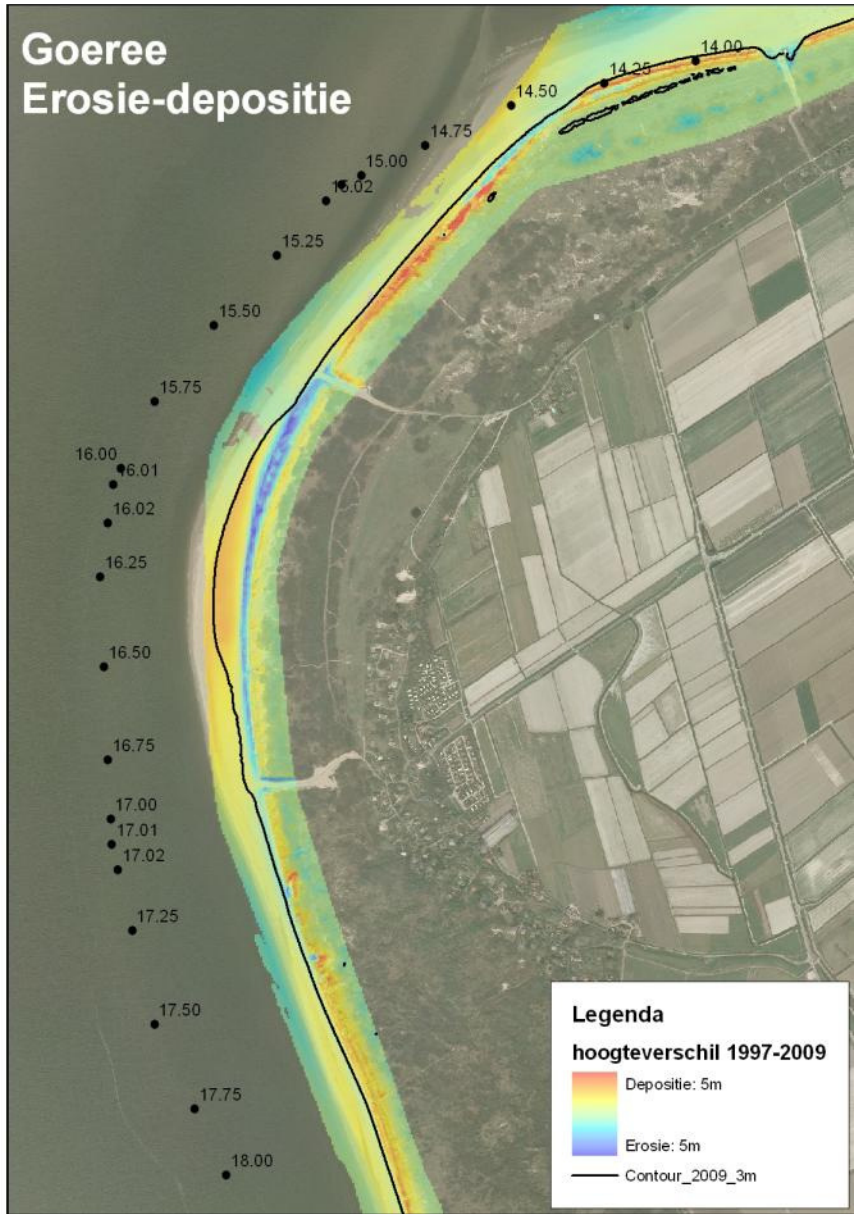
Wassenaar
Responstypen
N
W
E
S
92.00
92.25
92.50
92.75
93.00
93.25
93.50
93.75
94.00
94.25
94.50
94.75
95.00
95.25
95.50
95.75
96.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1998_3m

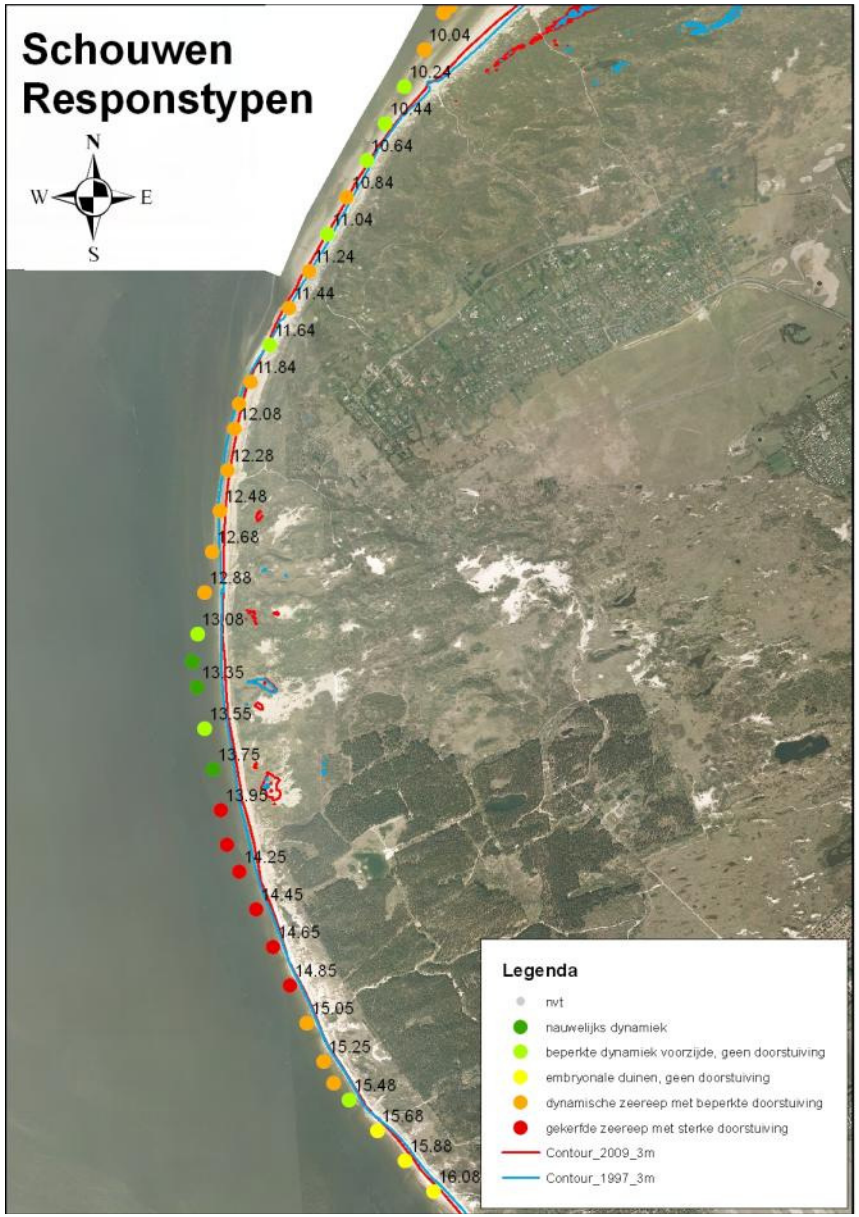
Wassenaar
Erosie-depositie
92.00
92.25
92.50
92.75
93.00
93.25
93.50
93.75
94.00
94.25
94.50
94.75
95.00
95.25
95.50
95.75
96.00
Legenda
hoogteverschil 1998-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

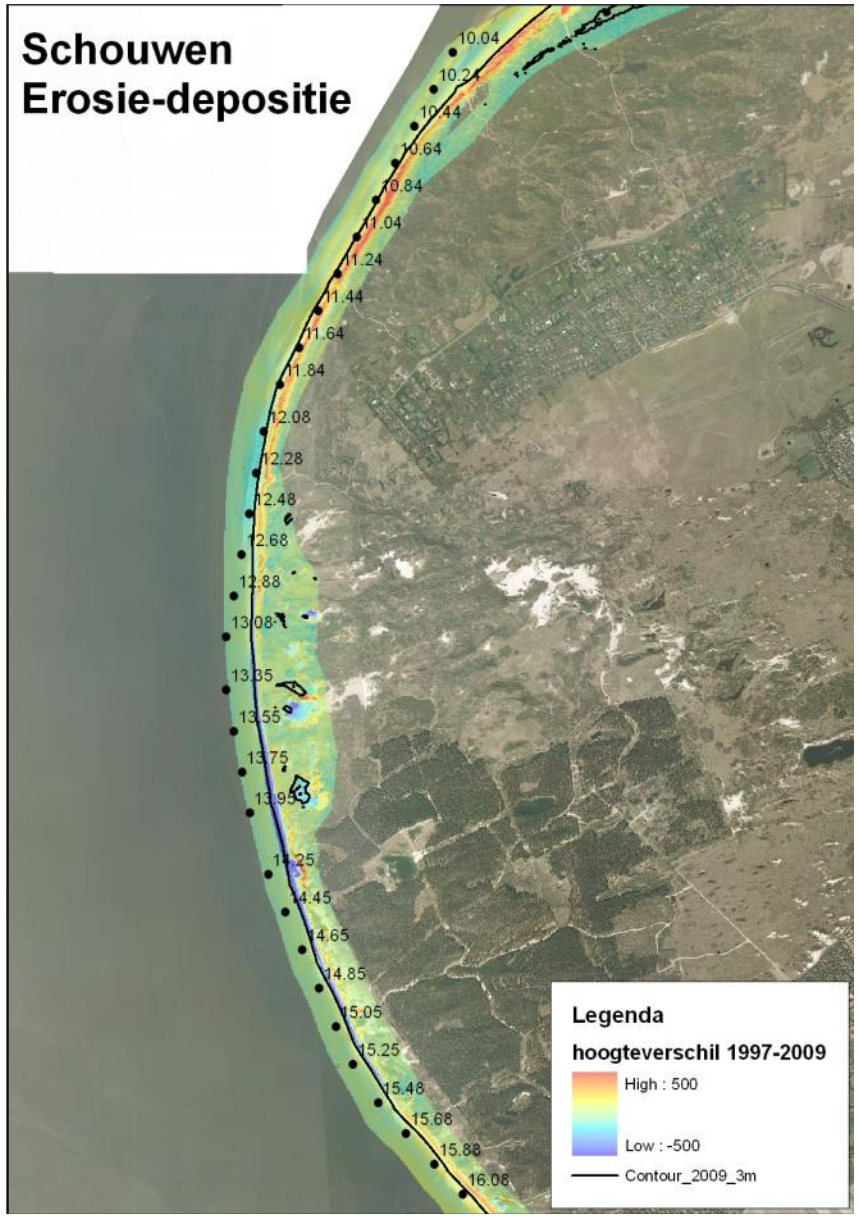
Voorne
Responstypen
11.00
11.20
11.40
11.60
11.80
12.00
12.20
12.40
12.60
12.80
13.00
13.20
13.40
13.60
13.80
14.00
14.20
14.40
14.60
14.80
15.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1997_3m
N
W
E
S

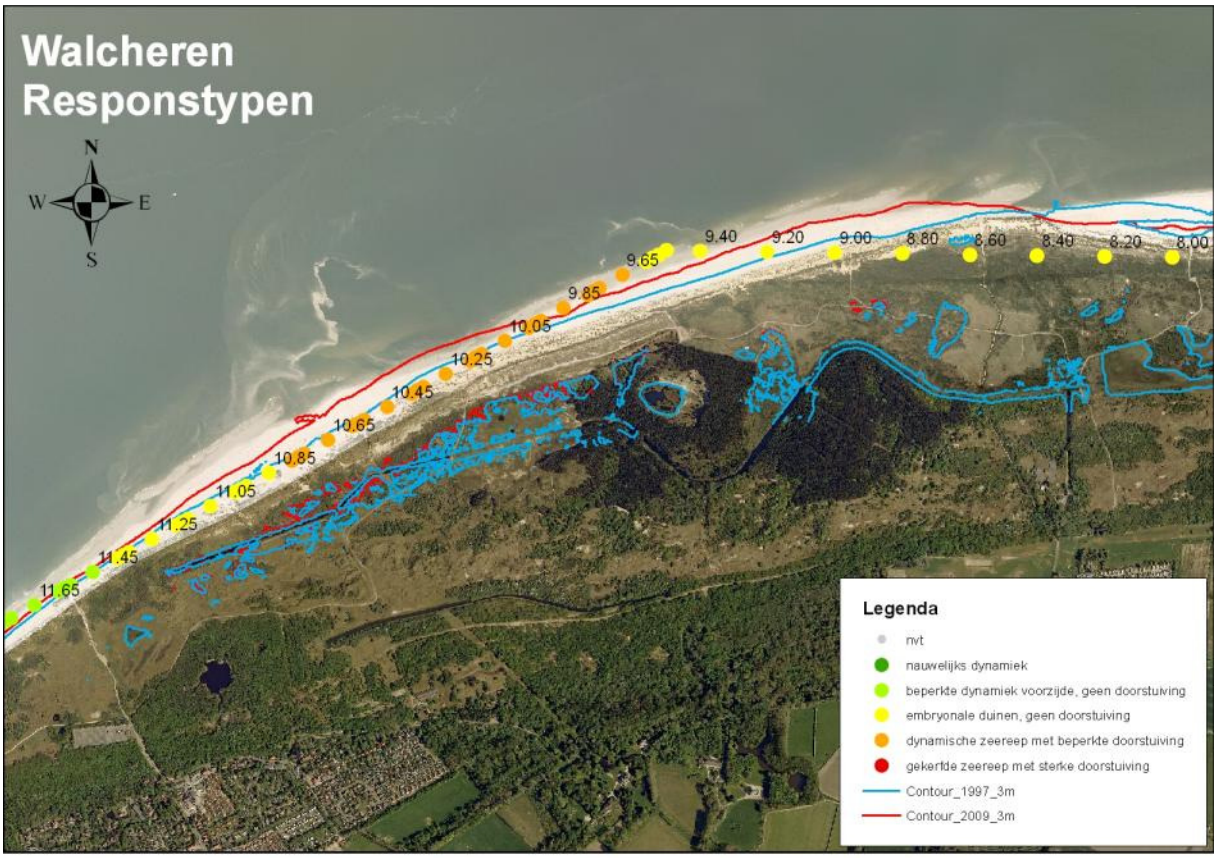
Voorne
Erosie-depositie
11.00
11.20
11.40
11.60
11.80
12.00
12.20
12.40
12.60
12.80
13.00
13.20
13.40
13.60
13.80
14.00
14.20
14.40
14.60
14.80
15.00
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

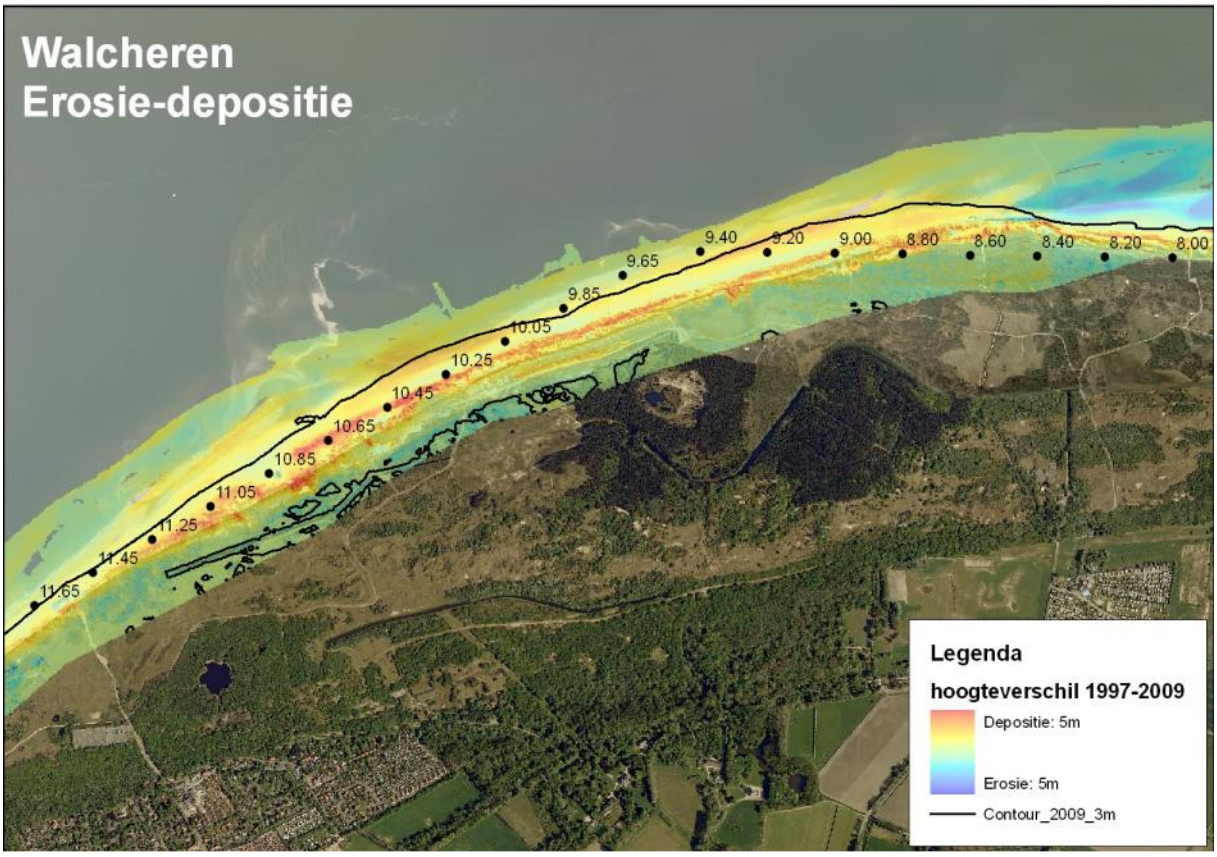

Goeree
Responstypen
N
W
E
S
14.00
14.25
14.50
14.75
15.00
15.02
15.25
15.50
15.75
16.00
16.01
16.02
16.25
16.50
16.75
17.00
17.01
17.02
17.25
17.50
17.75
18.00
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1997_3m


Goeree
Erosie-depositie
14.00
14.25
14.50
14.75
15.00
15.02
15.25
15.50
15.75
16.00
16.01
16.02
16.25
16.50
16.75
17.00
17.01
17.02
17.25
17.50
17.75
18.00
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m


Schouwen
Responstypen
N
W
E
S
10.04
10.24
10.44
10.64
10.84
11.04
11.24
11.44
11.64
11.84
12.08
12.28
12.48
12.68
12.88
13.08
13.35
13.55
13.75
13.95
14.25
14.45
14.65
14.85
15.05
15.25
15.48
15.68
15.88
16.08
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_2009_3m
Contour_1997_3m

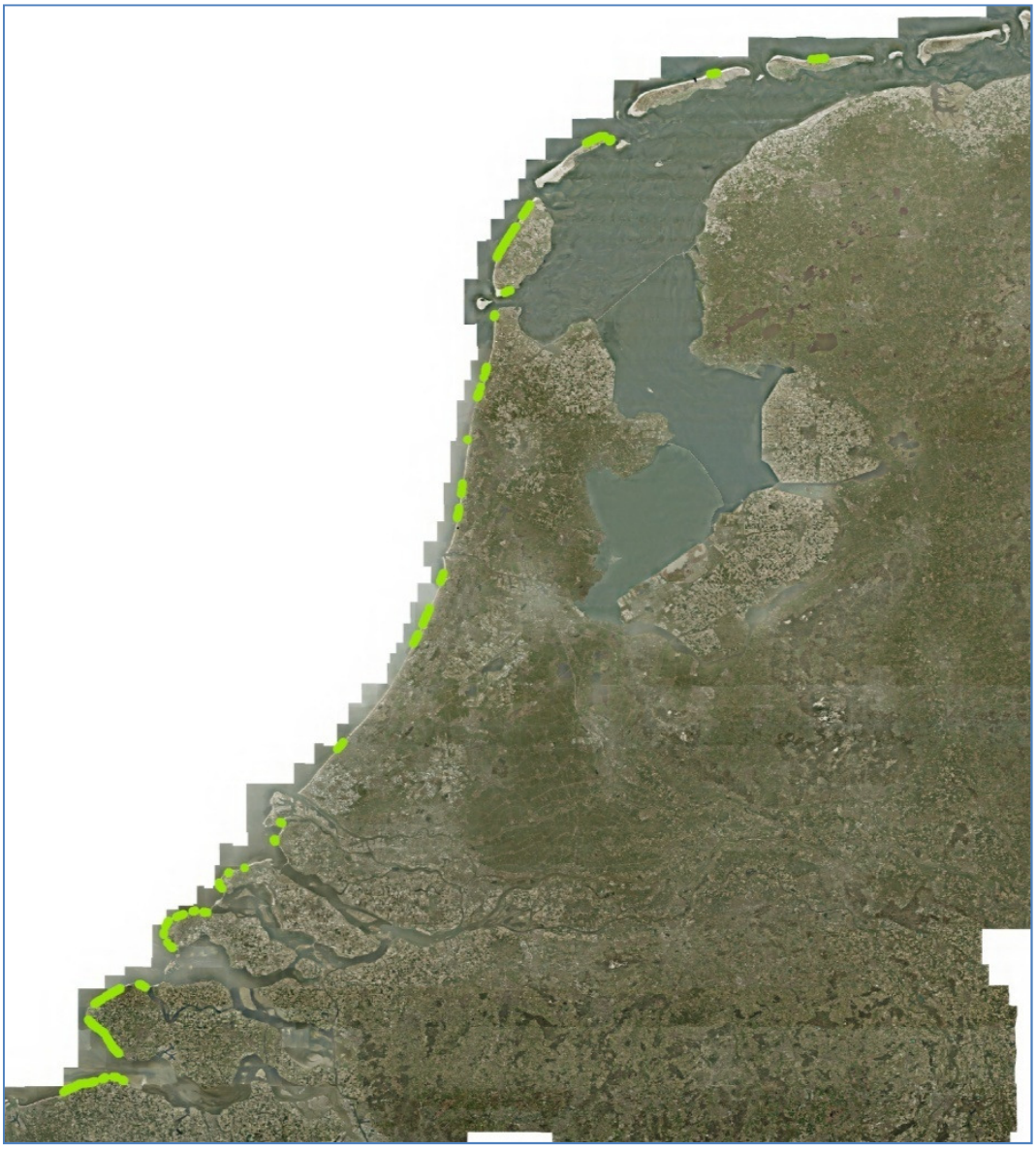

Schouwen
Erosie-depositie
10.04
10.24
10.44
10.64
10.84
11.04
11.24
11.44
11.64
11.84
12.08
12.28
12.48
12.68
12.88
13.08
13.35
13.55
13.75
13.95
14.25
14.45
14.65
14.85
15.05
15.25
15.48
15.68
15.88
16.08
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
High : 500
Low : -500
Contour_2009_3m


Walcheren
Responstypen
N
W
E
S
9.40
9.20
9.00
8.80
8.60
8.40
8.20
8.00
9.65
9.85
10.05
10.25
10.45
10.65
10.85
11.05
11.25
11.45
11.65
Legenda
nvt
nauwelijks dynamiek
beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving
embryonale duinen, geen doorstuiving
dynamische zeereep met beperkte doorstuiving
gekerfde zeereep met sterke doorstuiving
Contour_1997_3m
Contour_2009_3m

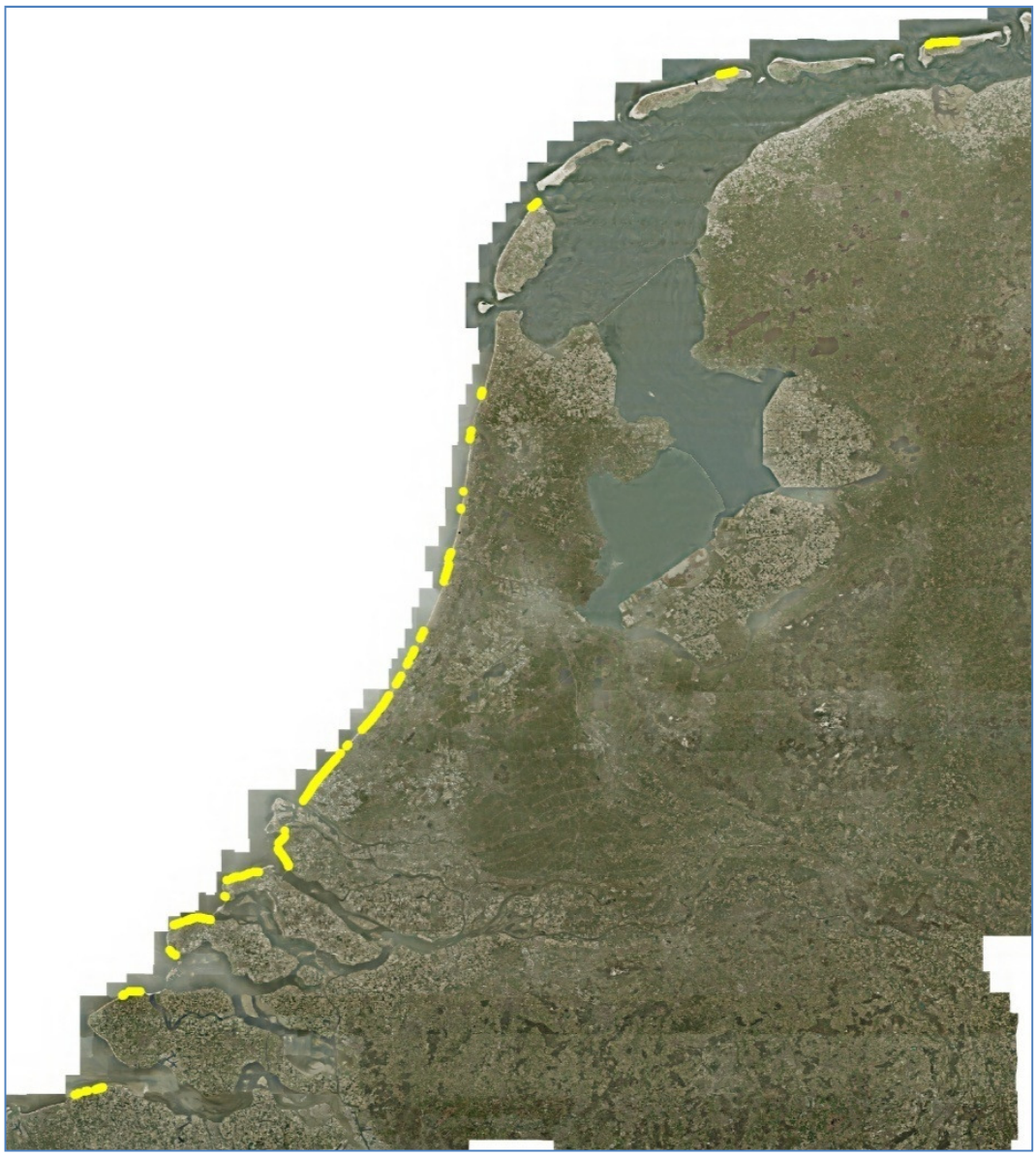

Walcheren
Erosie-depositie
9.40
9.20
9.00
8.80
8.60
8.40
8.20
8.00
9.65
9.85
10.05
10.25
10.45
10.65
10.85
11.05
11.25
11.45
11.65
Legenda
hoogteverschil 1997-2009
Depositie: 5m
Erosie: 5m
Contour_2009_3m

Bijlage 5 Responstypen zeereep

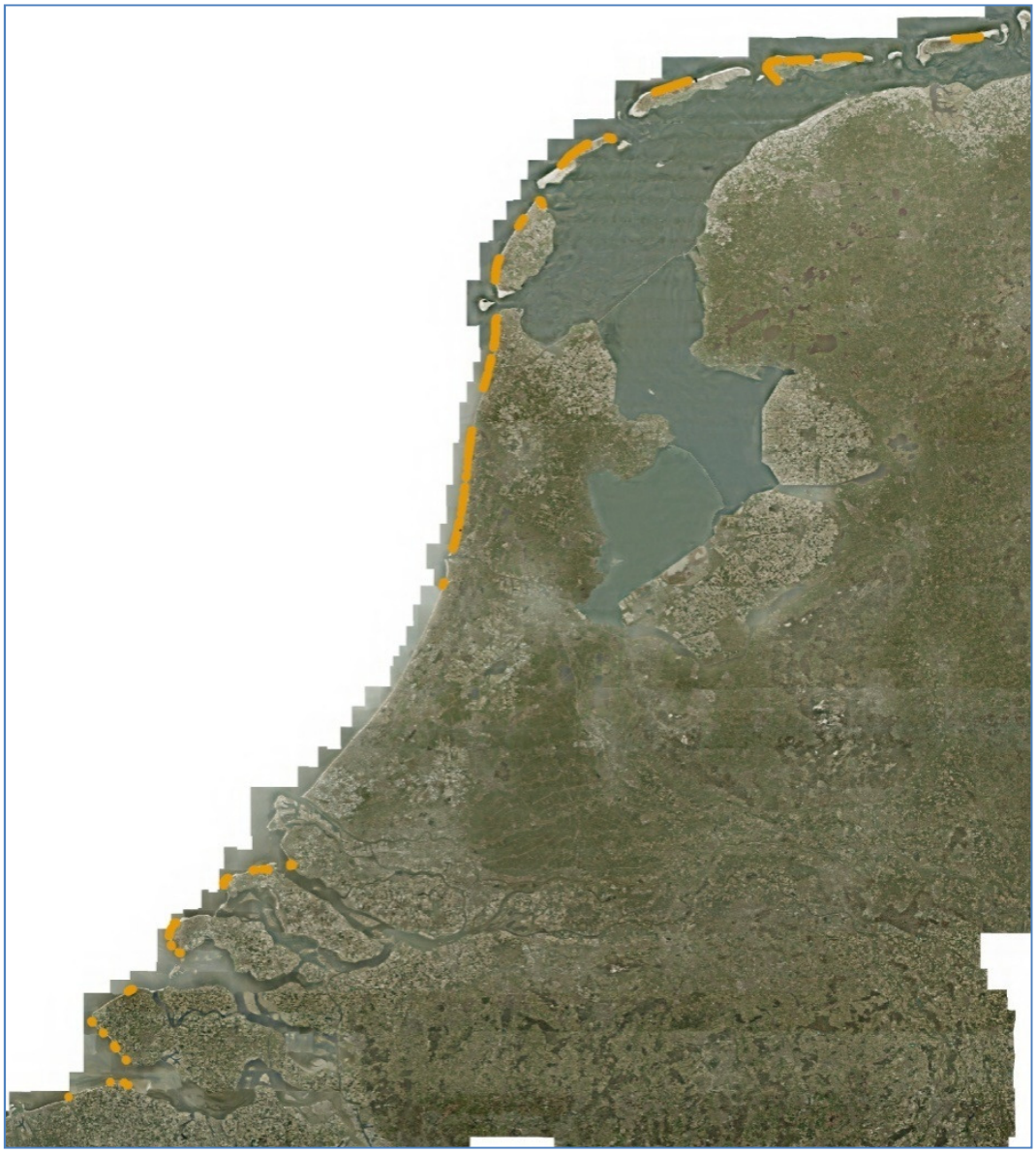
Responstypen 1, nauwelijks dynamiek



Responstype 2, beperkte dynamiek voorzijde, geen doorstuiving



Responstypen 3, embryonale duinen, geen doorstuiving



Responstype 4, dynamische zeereep met beperkte doorstuiving

Responstype 5, gekerfde zeereep met sterke doorstuiving