

Effecten van suppleties op duinontwikkeling

geomorfologie

Datum 13 april 2010
Status

Effecten van suppleties op duinontwikkeling

geomorfologie

Datum 13 april 2010
Status

Rapportage fase 1



Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat - Waterdienst
Informatie	Mevr. M.T. van der Sluis
Telefoon	06 - 13 67 57 62
Fax	
Uitgevoerd door	ARENS – Bureau voor Strand- en Duinonderzoek
Opmaak	Rijkswaterstaat - Waterdienst
Datum	April 2010
Status	definitief
Versienummer	1

Inhoud

1	INLEIDING / KADER - 13
1.1	Links met gerelateerde projecten - 14
2	DOELSTELLING EN VRAAGSTELLING - 17
2.1	Relevante habitattypen - 18
2.1.1	Systeembeschrijving - 18
2.1.2	Abiotische randvoorwaarden habitattypen - 21
2.1.3	Oorzaak-effectrelaties - 24
2.1.4	Autonome ontwikkeling - 29
3	GEGEVENS EN METHODEN - 31
3.1	Jarkusgegevens - 31
3.1.1	Beschikbaarheid data - 31
3.1.2	Betrouwbaarheid data - 31
3.1.3	Methode uitwerking - 32
3.2	Laseraltimetrie - 33
3.2.1	Beschikbaarheid data - 33
3.2.2	Betrouwbaarheid data - 34
3.2.3	Methode uitwerking - 35
3.3	3.3 Luchtfoto's - 36
3.3.1	Beschikbaarheid data - 37
3.3.2	Betrouwbaarheid data - 37
3.3.3	Methode uitwerking - 38
4	LOCATIE KEUZE - 41
4.1	Groote Keeten (RSP 8.00-11.00) - 41
4.2	Schoorl (RSP 28.00-31.50) - 42
4.3	Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00) - 42
4.4	Castricum (RSP 45.00-48.50) - 42
4.5	Heemskerk (RSP 48.50-51.00) - 42
4.6	Langeveld (RSP 74.50-76.50) - 42
4.7	Wassenaar (RSP 92.00-96.00) - 43
5	UITWERKING ZANDBUDGETTEN ZEEREOP NEDERLANDSE KUST - 47
5.1	Zandbudgetten per kustvak - 47
5.1.1	Totalen voor de kust en de regio's - 47
5.1.2	Zandbudgetten per kustvak - 54
5.2	Zand, overstuiving en dynamisch zeereepbeheer - 59
5.3	Uitwerking suppletiegegevens - 60
6	UITWERKING ZANDBUDGETTEN PROEFGEBIEDEN - 61
6.1	Groote Keeten (RSP 8.00-11.00) - 61
6.2	Schoorl (RSP 28.00-31.50) - 63
6.3	Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00) - 65
6.4	Ten zuiden van Castricum (RSP 45.00-48.50) - 67
6.5	Heemskerk (RSP 48.50-51.00) - 68
6.6	Langeveld (RSP 74.50-76.50) - 70

- 6.7 Wassenaar (RSP 92.00-96.00) - 71
- 6.8 Conclusies ontwikkeling zeereep - 73
- 6.9 De link tussen vooroever, strand en zeereep - 74

7 UITWERKING MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING PROEFGEBIEDEN - 75

- 7.1 Groote Keeten (RSP 8.00-11.00) - 75
- 7.2 Schoorl (RSP 28.00-31.50) - 77
- 7.3 Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00) - 77
- 7.4 Ten zuiden van Castricum (RSP 45.00-48.50) - 79
- 7.5 Heemskerk (RSP 48.50-51.00) - 79
- 7.6 Langeveld (RSP 74.50-76.50) - 80
- 7.7 Wassenaar (RSP 92.00-96.00) - 80
- 7.8 Conclusies morfologie en overstuivingspatronen zeereep - 80

8 CONCLUSIES EN DISCUSSIE - 83

9 AANBEVELINGEN - 85

10 LITERATUUR - 87

11 LIJST MET FIGUREN EN TABELLEN - 89

12 VERKLARENDE WOORDENLIJST - 91

Bijlage A RESULTATEN JARKUS - 93

Bijlage B RESULTATEN VOLUMEBEREKENINGEN 1999-2008 - 99

Bijlage C RELATIE VOLUMEBEREKENINGEN AHN-JARKUS - 107

Bijlage D VERSCHILKAARTEN STUDIELOCATIES - 111

Bijlage E DYNAMIEK STUDIELOCATIES - 121

VOORWOORD VAN DE BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Begin 2008 heeft Rijkswaterstaat Waterdienst aan Arens, bureau voor strand- en duinonderzoek opdracht gegeven de geomorfologische effecten van suppleties op de duinen te onderzoeken.

De resultaten van dit onderzoek worden in dit rapport beschreven.

Het onderzoek is kleinschalig opgezet met een korte doorlooptijd, en heeft een verkennend karakter. De resultaten uit dit onderzoek zullen richting geven aan vervolgstudies.

Voor een van deze vervolgonderzoeken is inmiddels opdracht gegeven door LNV OBN(ontwikkeling beheer en natuurkwaliteit). Medio 2010 zal bureau Arens hier het eindrapport voor opleveren. Hierin zullen de resultaten van dit onderzoek integraal worden meegenomen. LNV OBN en RWS Waterdienst zullen dit onderzoek gezamenlijk begeleiden.

Alhoewel dit eerste onderzoek kleinschalig van opzet is, wordt uit de eerste resultaten wel duidelijk dat er sinds er in 1985 met grootschalig suppleren is begonnen, zich enige morfologische veranderingen hebben voorgedaan in de duinen langs de Hollandse kust.

Uit de analyses blijkt dat er vergeleken met de situatie voor 1985 meer zand de duinen inkomt. Aangezien er door het suppleren meer zand aan het kuststelsel wordt toegevoegd, lijkt dit een plausible aanname voor de waargenomen verandering. Een direct verband in de vorm van een trendbreuk die samenvalt met de start van suppleren, is echter maar voor twee van de zeven onderzoekslocaties in deze studie vastgesteld; voor de andere locaties werd wel een trendbreuk vastgesteld, maar deze kon niet direct gerelateerd worden aan suppleties. Het vervolgonderzoek zal zich in eerste instantie dan ook richten op het verder onderbouwen van de aanname, dat de toegenomen verzanding en waargenomen morfologische veranderingen aan suppleties zijn toe te schrijven. Ook zal getracht worden om effecten van overige mogelijke oorzaken zoals veranderingen in het stormklimaat en het beheer van de zeereep te onderzoeken.

Daarnaast zal in het vervolgonderzoek een poging worden gedaan om een link te leggen met ontwikkelingen onder water, om meer inzicht te krijgen in de processen die het onderwater gesuppleerde zand uiteindelijk in de duinen brengen. Ook zal aandacht worden besteed aan mogelijke veranderingen in de chemische en fysische samenstelling van het duinzand sinds 1985. De geleidelijke verandering van het substraat is namelijk ook een manier waarop suppleties zouden kunnen doorwerken in de duinen.

In 2009 heeft Rijkswaterstaat een convenant met enkele natuurorganisaties gesloten. Een voortvloeiende uit deze overeenkomst is een 6-jarig onderzoek naar de ecologische effecten van suppleties. Het werkplan voor dit onderzoek wordt momenteel geschreven. Het is de bedoeling dat onderzoek naar effecten op de duinen hier ook een plaats in krijgt. De hierboven beschreven studies zijn vooral gericht op het in kaart brengen van de morfologische effecten van suppleties. Uitgangspunt bij beide studies is echter steeds geweest om de effecten van het suppletiebeleid op de duinhabitats en bijbehorende doelsoorten te bepalen. Het is de intentie om in het kader van dit 6-jarige onderzoek in ieder geval een begin te maken met deze doorvertaling van de effecten op de morfologie naar de effecten op de natuurdoelstellingen..

Uiteindelijk hopen we dat al deze studies zullen bijdragen aan meer inzicht in de invloed van suppleties op de natuurwaarden. En dat het onderzoek ons handvatten biedt om de suppleties zodanig in te richten dat ze naast het handhaven van de veiligheid ook een bijdragen kunnen leveren aan natuurbehoud en ontwikkeling, dan wel dat mogelijke negatieve effecten zoveel mogelijk worden beperkt. Dit onderzoek is al vast een eerste stap in de goede richting.

De begeleidingscommissie:

- Marieken van der Sluis-Meijerink (Waterdienst, opdrachtgever)
- Petra Damsma (Waterdienst, opdrachtgever)
- Evelien van Eijsbergen (Waterdienst, opdrachtgever)
- Frank van der Meulen (Deltares, begeleiding vanuit opdrachtgever Waterdienst)
- Bert van der Valk (Deltares, begeleiding vanuit opdrachtgever Waterdienst)
- Rienk Slings (PWN, ecologie en beheer)
- Anton van Haperen (Staatsbosbeheer, begeleiding vanuit OBN/LNV)
- Evert Jan Lammerts (Staatsbosbeheer, begeleiding vanuit OBN/LNV)

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. 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 inmiddels gekoppeld. Voorliggend rapport geeft een eerste stand van zaken van de resultaten voor de Hollandse kust en is tevens eindrapport voor het onderzoek in opdracht van de Waterdienst. Een gezamenlijk eindrapport over het gehele onderzoek wordt voorzien voor mei 2010.

Tot slot wil ik Pieter Stuyfzand (KWR Water Cycle Research Institute & Vrije Universiteit) bedanken voor het kritisch doornemen van de tekst.

Bas Arens
Amsterdam, 1 maart 2009.

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 (abiotsche) 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:

- 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 betekenen. Bij afsnoering door duinvorming zouden nieuwe, primaire duinvalleien kunnen ontstaan, die vallen onder habitatype 2190, wat een aanmerkelijke natuurwinst zou betekenen.
- 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 habitatype 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 van 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 lokale 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 korrelgroottekenmerken voor een aantal locaties worden onderzocht. Dit onderdeel wordt uitgevoerd door KWR (voorheen Kiwa). Hierover zal apart worden gerapporteerd.

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 drie hoofdstukken. In Hoofdstuk 5 wordt voor de gehele kust een analyse van het zandbudget voor de periode 1997-2008 gemaakt. Hoofdstuk 6 gaat vervolgens in op de detailanalyse voor de proefgebieden waarbij de lange termijn zandbudgetten voor de zeereep worden vergeleken met de korte termijn, en waarin onderzocht wordt of er in de verschillende gebieden sprake is van een trendbreuk in de ontwikkeling die toe te schrijven is aan het suppleren. Hoofdstuk 7 beschrijft vervolgens aan de hand van detail studies de morfologische ontwikkeling voor een aantal gebieden. Tot slot volgen conclusies en discussie (Hoofdstuk 8) en aanbevelingen (Hoofdstuk 9).

1.1 Links met gerelateerde projecten

Er zijn verbanden en verschillen met gerelateerde projecten die tegelijkertijd worden uitgevoerd. Het gaat hierbij o.a. om de volgende projecten:

- Duurzame verstuiving (DPW project, gefinancierd door de Hollandse drinkwaterbedrijven DZH, PWN en Waternet): binnen dit project wordt gezocht naar randvoorwaarden voor duurzame verstuiving als middel voor verjonging in het gehele duingebied en daarmee samenhangend behoud van biodiversiteit. In de eerste fase van dit onderzoek werd geconcludeerd dat een dynamische ontwikkeling vanuit de zeereep (parabolisering) kansen biedt voor duurzame verstuiving. Het lijkt erop dat voor een duurzame dynamische ontwikkeling processen die in de zeereep beginnen onontbeerlijk zijn. Suppleties en dynamisch kustbeheer spelen hierbij een belangrijke rol. Het onderzoek voor de Waterdienst zal hierover essentiële informatie opleveren.
- Kustlijnzorg 2008/2009 (Deltares): voor Kustlijnzorg 2008 is beoogd een softwaretool te ontwikkelen die doorvoer van eolisch getransporteerd zand van vooroever naar zeereep op realistische wijze zichtbaar maakt ($m^3/m/jr$) aansluitend op de natte software die reeds beschikbaar is voor kustprocessen

(Delft3D). De antwoorden op de in deze offerte beschreven onderzoeksvragen zijn evenzeer belangrijk voor Kustlijnzorg 2008/2009, en er bestaan dan ook nauwe relaties hiermee.

- Binnen Building With Nature zal in meer detail aandacht worden besteed aan de link tussen vooroever, strand en duinen, o.a. middels een gedetailleerd monitoringsprogramma.

2 DOELSTELLING EN VRAAGSTELLING

De doelstelling van dit onderzoek is om 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 drie 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?
- Wat zijn de volumetrische relaties tussen vooroever, strand en zeereep?

Op basis van het eerste, inventariserende deel volgt een selectie van proefgebieden. 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. In OBN-kader zal tevens uitgewerkt worden wat effecten van andere externe factoren (met name meteorologie/klimaat en beheer) op de gesignaleerde ontwikkeling zijn. 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 derde deel van de resultaten behelst een morfologische analyse van de verschillende proefgebieden (Hoofdstuk 7). De detailuitwerking hiervan vindt vooral in OBN-kader plaats. In dit rapport zal een eerste aanzet worden gegeven. 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?

Het onderzoek wordt uitgevoerd in het programma Kustlijn zorg. 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 landschapontwikkeling 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 onderverdeeld in 3 types: de afslagkust, de stabiele kust en de aangroei kust. 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. In dit rapport wordt de systeembeschrijving toegespitst op de Hollandse kust. In OBN-kader zullen ook specifieke eigenschappen voor de Wadden en de Deltakust worden toegevoegd.

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 Beekman, 2006). 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 voor in 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). 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.

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 (mogelijk 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 stormvloed 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 aangroei kust is de aanvoer van zand zo groot dat voor de zeereep een buffer van zand ontstaat, waardoor bij hoge stormvloed 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 habitatype 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.

Aangroeiakusten 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 Oranjeson op Walcheren.

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.

Habitatype 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, Spijesmelde 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 habitatype 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?

Habitatype 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 (beschermde 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 habitatype 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?

Habitatype 2130: grijze duinen

Grijze duinen ontstaan achter de zeereep waar de dynamiek voldoende laag is voor lichte bodenvorming 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?

Habitatype 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 habitatype 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.

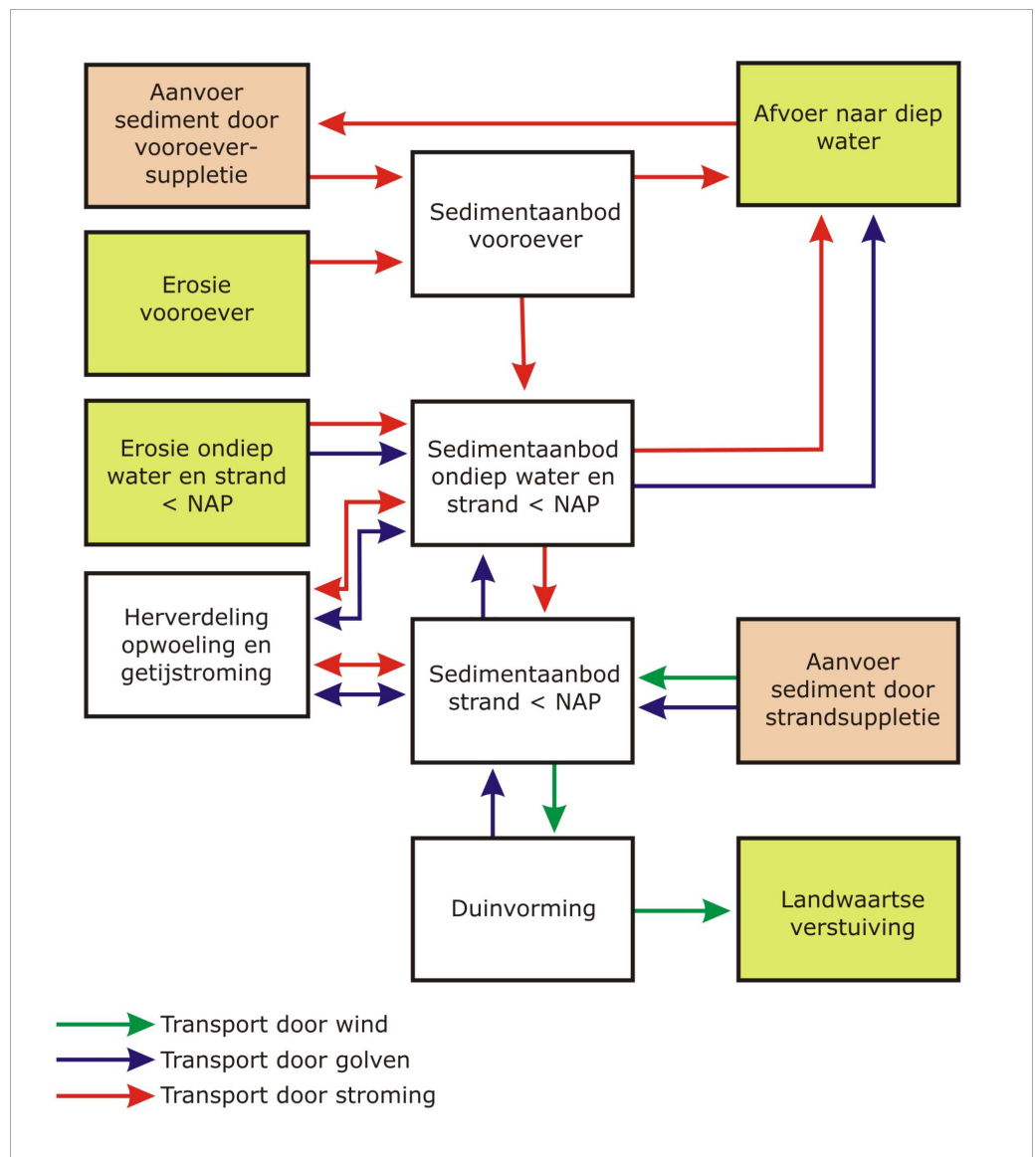
Mogelijke effecten van suppleties:

- 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.



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

Voor dit onderzoek beperken we ons tot effecten van suppleties op overstuiving en duinontwikkeling. Theoretisch zijn er meer effecten mogelijk, bijvoorbeeld verandering van de vooroevormologie 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 vooroevers 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.

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.

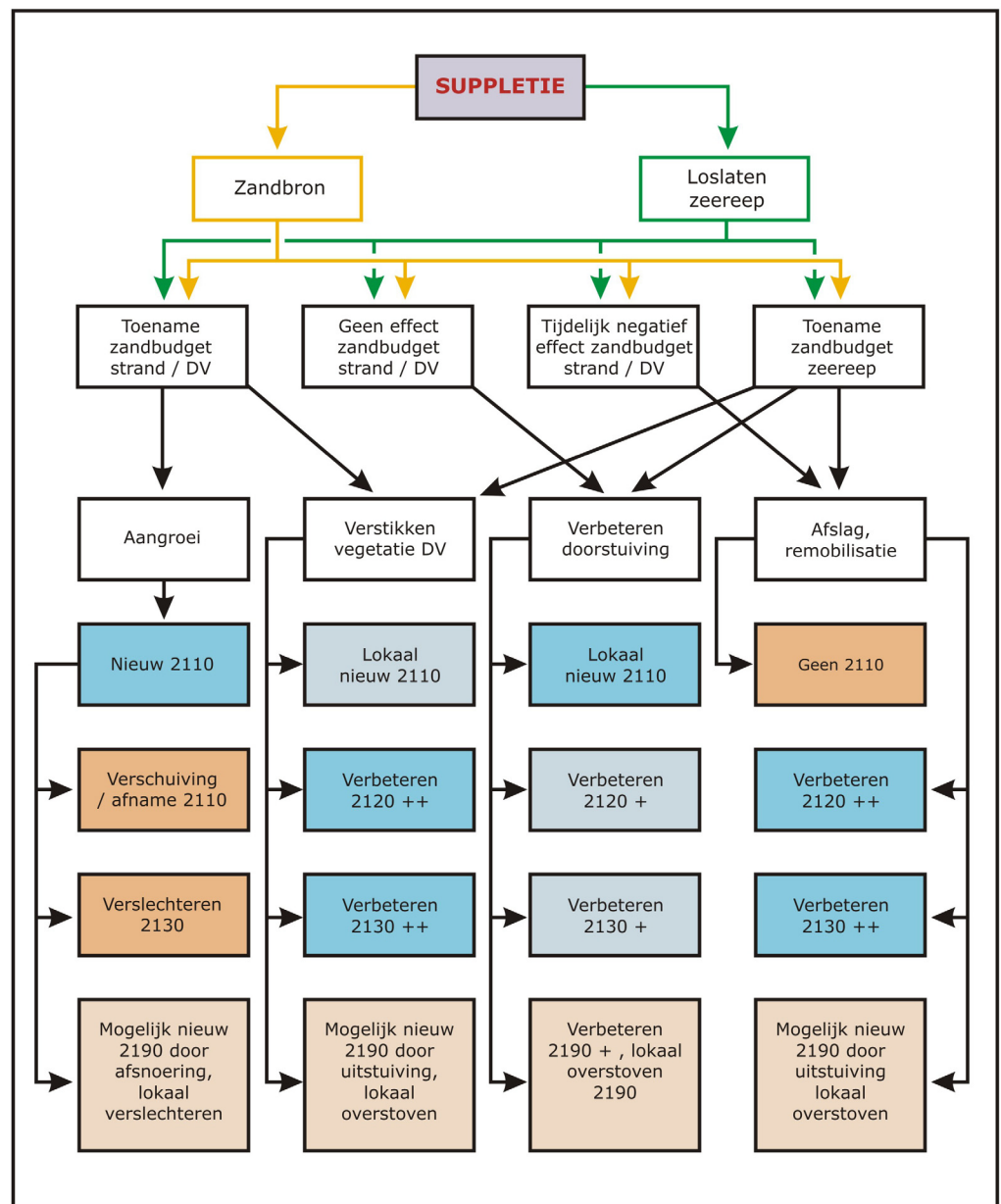
Uitgangspunten bij de mogelijke effecten van suppleties zijn:

- 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 (groei-kracht) (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 pionierssituaties, 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 habitatype 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 stormvloed 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 stormvloed 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 Jarkusgegevens 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

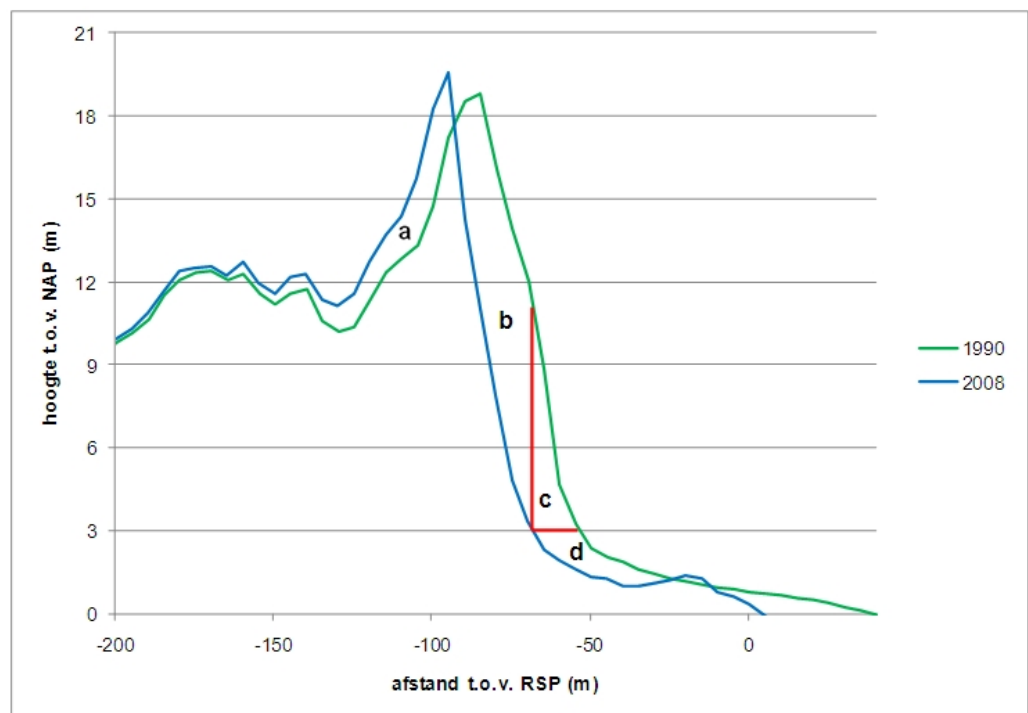
De betrouwbaarheid van de hoogtegegevens is voldoende om flinke hoogteveranderingen, orde 10cm's of meer vast te stellen. Bepaalde trends in de ontwikkeling, zoals de geleidelijke ophoging door overstuiving, of juist verlaging door erosie, zijn over het algemeen goed waarneembaar als ze over een voldoende 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 Jarkusgegevens worden in deze fase van het onderzoek alleen gebruikt voor de bestudering van de lange-termijnontwikkeling in de proefgebieden. 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. Het zou kunnen dat dit echter noodzakelijk zal blijken om echt goede trendberekeningen te maken en significante trendbreuken op te sporen. 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 bij 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 onttrokken 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 alle jaren wordt dezelfde begrenzing gehanteerd (in tegenstelling tot het AHN, zie hieronder). 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.

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 5x5m² 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.

De volgende stappen worden doorlopen:

- Korte termijn volumeveranderingen, periode 1997-2008
 - Kwantificeren van zandbudget voor strand en zeereep voor korte termijn voor geaggregeerde gebieden (>1km).
 - Bepalen van suppletiegeschiedenis.
 - Bepalen van trends en trendbreuken (indien mogelijk/relevant voor korte termijn) in budgetten als gevolg van suppleren.
 - Betrouwbaarheidsanalyse
- Kwantificeren morfologische analyse

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

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
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.

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 habitatype 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 $\text{hoogte_jaar2} > 3\text{m}$ EN $\text{hoogte_jaar1} > 3\text{m}$ dan verschil = $\text{hoogte_jaar2} - \text{hoogte_jaar1}$
2. (in beide jaren ligt de hoogte boven 3m NAP en is sprake van duin, het hoogteverschil is het gevolg van overstuiving)
3. als $\text{hoogte_jaar2} > 3\text{m}$ EN $\text{hoogte_jaar1} < 3\text{m}$ dan verschil = $\text{hoogte_jaar2} - 3\text{m}$
4. (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)
5. als $\text{hoogte_jaar2} < 3\text{m}$ EN $\text{hoogte_jaar1} > 3\text{m}$ dan verschil = $3\text{m} - \text{hoogte_jaar1}$
6. (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)
7. als $\text{hoogte_jaar2} < 3\text{m}$ EN $\text{hoogte_jaar1} < 3\text{m}$ dan geen verschil berekenen
8. (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

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)
 - Bedekkingsgraad
 - Vegetatiestructuur

In een volgende fase 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 georeferentieerd. Bij Rijkswaterstaat zijn wel voor verschillende jaren digitale, georeferentieerde foto's beschikbaar. Deze worden voor dit onderzoek gebruikt. Vooral nog 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, georeferentieerde 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
2008	Full colour	0.25 m ²	Nog niet beschikbaar via 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 verstuiwing, 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

In deze fase van het onderzoek wordt per locatie een kwalitatieve beschrijving gegeven van de huidige morfologie en de ontwikkeling sinds ca. 1996. In OBN-kader wordt dit middels karteringen voor verschillende jaargangen verder uitgewerkt en gekwantificeerd. In dit rapport wordt alvast een voorzet gegeven voor twee locaties: Groote Keeten en Bergen-Egmond.

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
R	Recreatie (strandhuisjes)

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 zeerepbeheer. De ruimtelijke verspreiding van eenheden geeft inzicht in doorwerking van dynamiek landwaarts. In OBN-kader zal uitgezocht moeten worden in hoeverre een natuurlijkere morfologie en/of een grotere dynamiek zich ook vertaalt in betere omstandigheden voor de ontwikkeling van de verschillende habitattypen, zowel wat betreft kwantiteit als kwaliteit.



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 systeembekendheid. 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.

In dit plan van aanpak wordt voorgesteld om voor dit onderzoek locaties te kiezen waar op morfologisch gebied belangrijke veranderingen zijn opgetreden, en die onderscheidend zijn in mate van suppleren: veel – weinig – niet. De keuze blijft beperkt tot de Hollandse kust. De volgende locaties worden in deze fase onderzocht (zie ook kaart links):

- Groote Keeten (RSP 8.00-11.00): noordkant vrijwel niet gesuppleerd, belangrijke morfologische ontwikkeling, zuidkant regelmatig gesuppleerd, afwisselend strand en onderwater. Tussen 10 en 11 tussen 1996 en 2008 verschillende malen gesuppleerd op strand en vooroever. Ten zuiden van 11 ook voor 1996 gesuppleerd.
- Schoorl (RSP 28.00-31.50): onderzoekslocatie duurzame verstuiving, duinvorming, enkele keren gesuppleerd op strand en onderwater.
- Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00): belangrijke geomorfologische ontwikkeling, beperkt gesuppleerd.
- Ten zuiden van Castricum (RSP 45.00-48.50): belangrijke geomorfologische ontwikkeling, eenmaal op het strand gesuppleerd.
- Heemskerk (RSP 48.50-51.00): zeer belangrijke geomorfologische ontwikkeling, eenmaal op het strand gesuppleerd.
- Langeveld (RSP 74.50-76.50): duinvorming, eenmaal onderwater gesuppleerd.
- Wassenaar (RSP 92.00-96.00): duinvorming met nieuw zeereepje, stuifkuil, driemaal op het strand, eenmaal onderwater gesuppleerd.

4.1 Groote Keeten (RSP8.00-11.00)

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

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.

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.

4.2 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, aanvankelijk op het strand, later op de vooroever. De aangrenzende gebieden aan noord en zuidkant zijn veel vaker gesuppleerd.

4.3 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 uitstuiwen wordt belemmerd of beperkt). In de periode 1997-2008 varieert de maximale uitstuiwing 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. In dit gebied zelf is beperkt gesuppleerd, eenmaal op het strand, tweemaal op de vooroever, maar zowel aan de noordkant (Bergen aan zee) als aan de zuidkant (Egmond aan zee) wordt intensief gesuppleerd.

4.4 Castricum (RSP 45.00-48.50)

In dit studiegebied zijn slechts enkele stuifkuilen ontstaan. Het meest in het oog springend is de spontane ontwikkeling van 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). 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. In het gebied is eenmaal, in 2005, een strandsuppletie uitgevoerd.

4.5 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.

4.6 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.

4.7 Wassenaar (RSP 92.00-96.00)

Stabiele of licht uitbouwende zeereep met ontwikkeling van een nieuwe duinenrij vóór de oude zeereep. In de zeereepontwikkelt 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.

Tabel 4.1. Overzicht onderzoekslocaties Hollandse kust met suppletiehistorie.

locatie	RSP begin	RSP eind	suppletiehistorie																	
Koegras	1.40	4.30	1979					1992	1993			1996			1999		2001		2003	
nooit gesuppleerd:	7.50	9.13																		
Groote Keeten	9.13	9.43																2003		
nooit gesuppleerd:	9.43	10.00																		
Groote Keeten	10.00	11.00										1996			1999		2001		2003	2004
Zijpe	13.25	14.25	1976		1986	1987		1991				1996			1999		2001		2003	2004
Schoorl	28.25	31.50						1992				1997	1998				2001	2002		2005
Bergen	32.25	34.25					1993		1992		1994	1995			1998	1999	2000			2005
Bergen-Egmond	34.25	37.00						1992								2000				2005
Egmond	37.00	38.75					1990	1992		1994	1995		1997	1998	1999	2000			2004	2005
Ecobeach	40.00	46.00																		
Ten zuiden van Castricum	46.50	48.50																		2005
nooit gesuppleerd:	48.50	49.65																		
Heemskerk	48.75	51.00										1996	1997							
nooit gesuppleerd:	51.00	54.50																		
nooit gesuppleerd:	57.00	60.00																		
Langeveld	74.50	76.50																2002		
nooit gesuppleerd:	68.00	73.00																		
Noordwijk	80.50	83.50												1998						2006
Katwijk	87.50	89.50												1998						2006
Wassenaar	92.00	96.00								1994		1996	1997					2002		
nooit gesuppleerd:	101.00	106.00																		

Betekenis kleuren:

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



Zandsculpturen in de kerf bij Heemskerk

5 UITWERKING ZANDBUDGETTEN ZEEREEP NEDERLANDSE KUST

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.

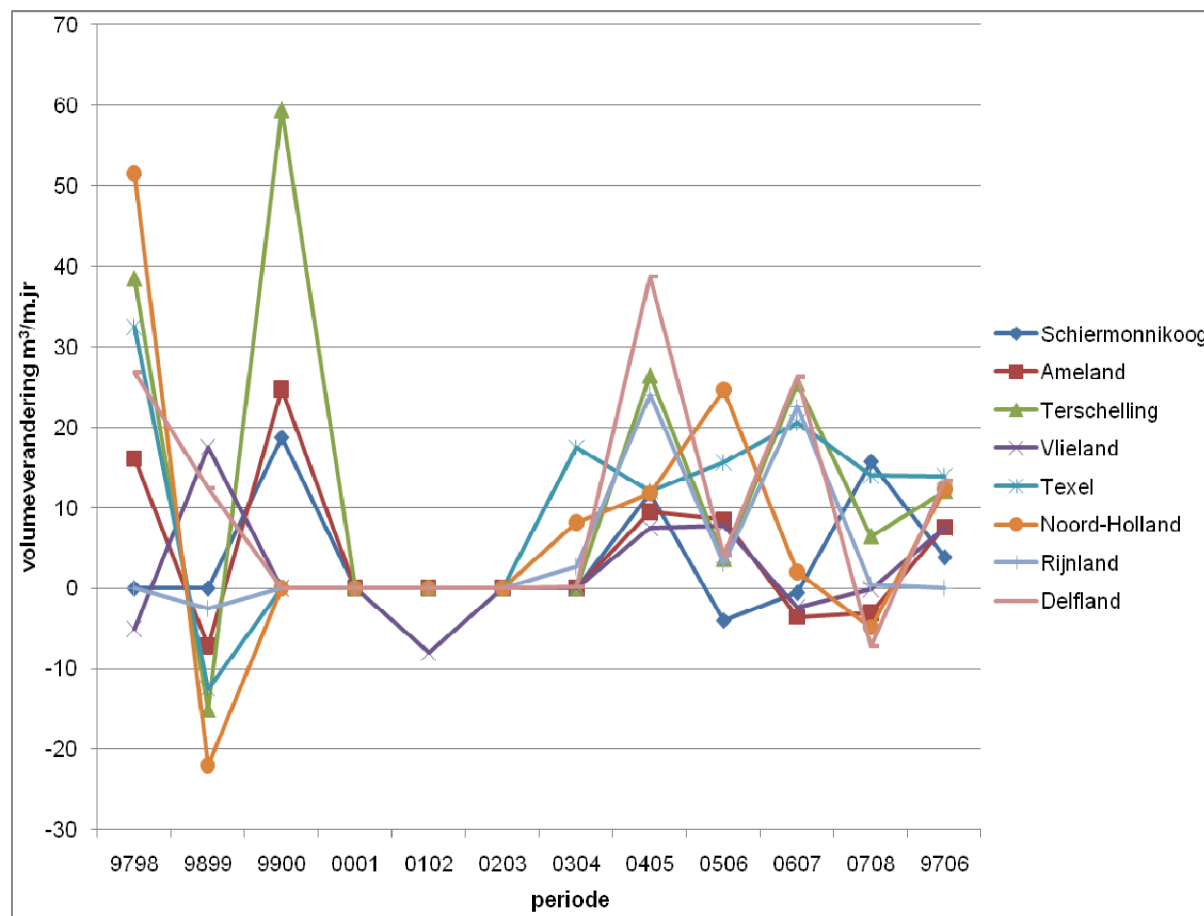
5.1 Zandbudgetten per kustvak

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 fluctuaties vaak onrealistisch groot is. Een toename voor Voorne van 100 m³/m.jaar is absoluut onmogelijk, ook een gemiddelde toename van 60 m³/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.

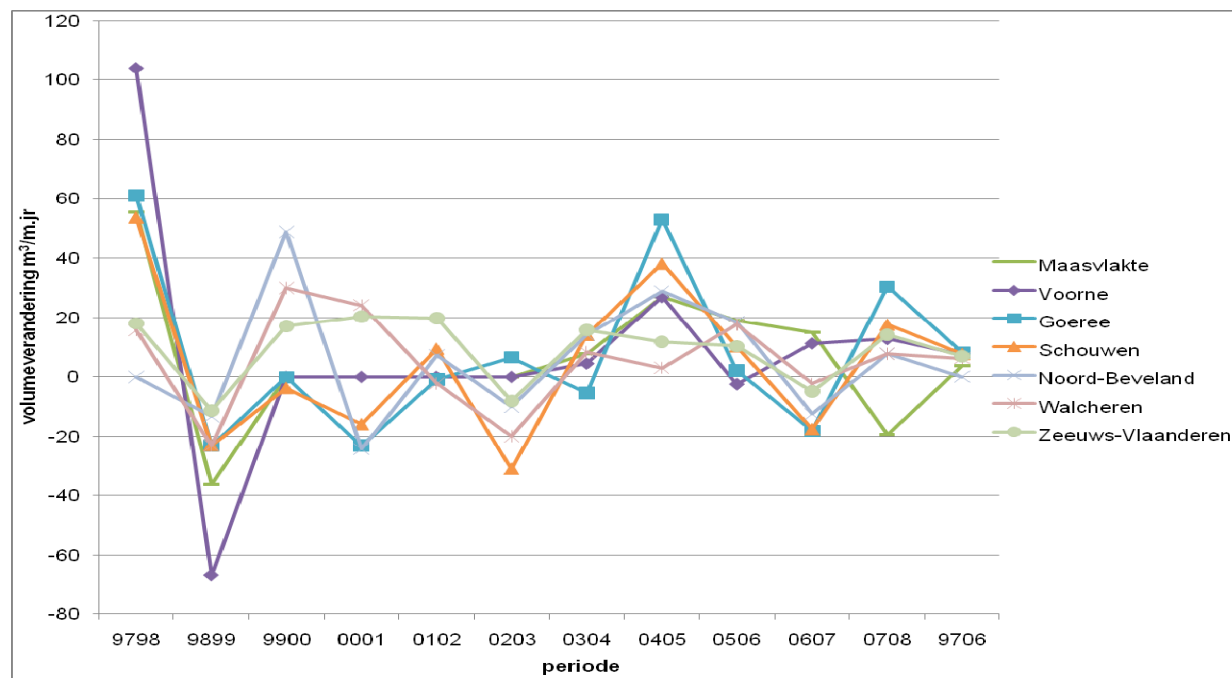
5.1.1 *Totalen voor de kust en de regio's*

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. Tussen 1997 en 2007 is langs de gehele Nederlandse kust in totaal 106 miljoen m³ gesuppleerd, waarvan 58 miljoen m³ op de vooroever. Over de periode 1997-2008 bedraagt de aanzanding 34 miljoen m³, ofwel eenderde van de totale suppletiehoeveelheid (NB de periode verschilt omdat suppletiegegevens t/m 2006 beschikbaar zijn; 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 31 miljoen m³ gesuppleerd, waarvan 72% op de vooroever. De aanzanding bedraagt 44% van de totale suppletiehoeveelheid. Langs de Hollandse kust is 55 miljoen m³ gesuppleerd, waarvan 58% op de vooroever. De aanzanding bedraagt 22% van de totale suppletiehoeveelheid. Voor de Delta is 20 miljoen m³ gesuppleerd, waarvan slechts 18% op de vooroever. De aanzanding bedraagt 40% van de totale suppletiehoeveelheid. In de Delta is een

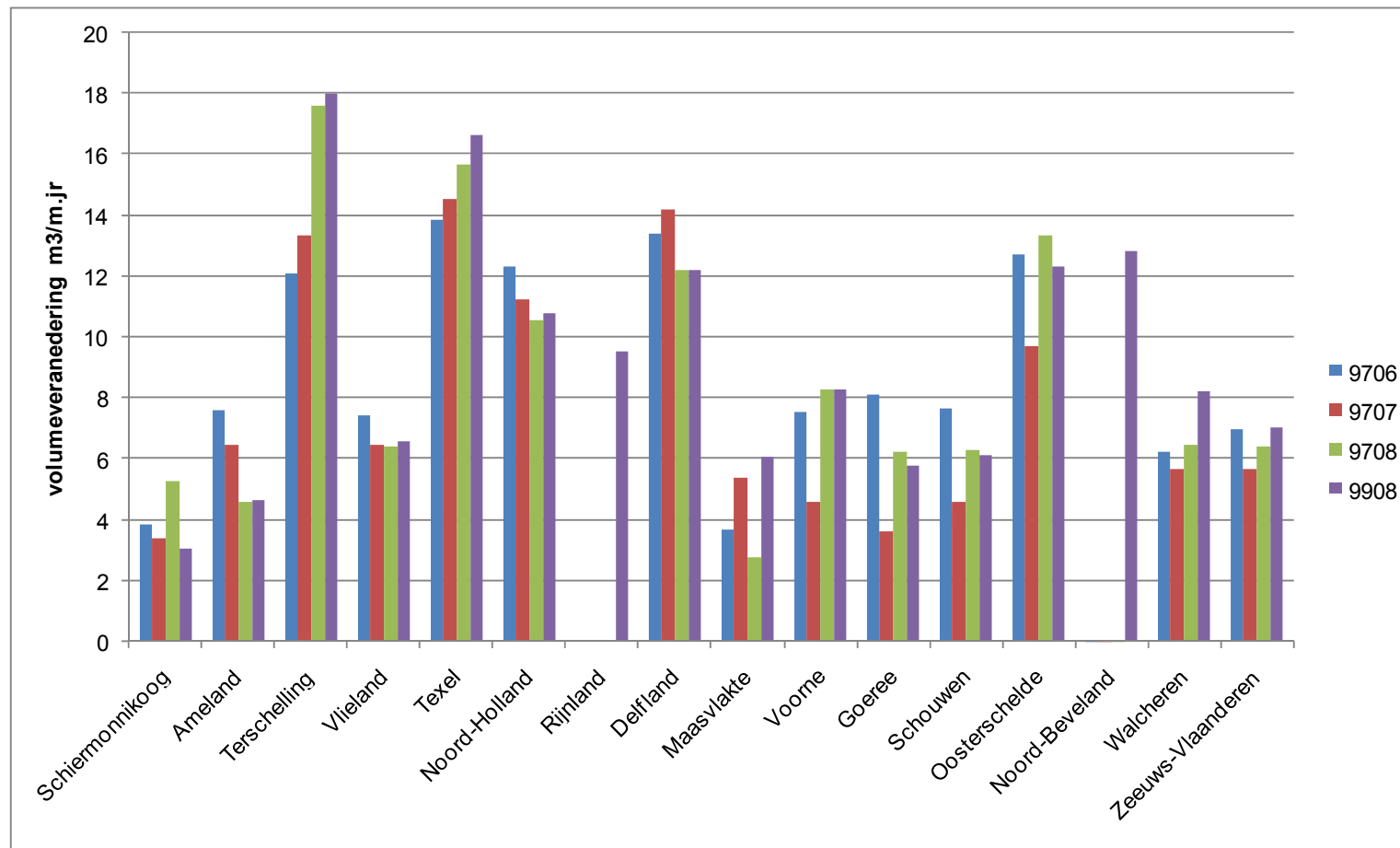
relatief groot deel van de suppleties uitgevoerd als duinverzwaring, wat dus rechtstreeks meetelt in de berekening van de aanzanding. Opvallend is dat voor de Wadden in verhouding het meest op de vooroever is gesuppleerd en ook het meeste zand in de duinen terecht is gekomen. Logischerwijs zou verwacht worden dat als er meer zand op de vooroever gesuppleerd wordt, er naar verhouding minder zand in de duinen terechtkomt, omdat het zand een langere (en minder zekere) weg moet afleggen. Mogelijk speelt een veel langere traditie van minder intensief zeerepbeheer 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.



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 m³/m.jr

Tabel 5.1. Volumeverandering per kustvak en periode in m³/m.jr

Kustvak	9798	9899	9900	0001	0102	0203	0304	0405	0506	0607	0708	9706	9707	9708	9908
Schiernmonnikoog			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 ¹	Totale suppletie in kustvak in periode ²	Suppletie vooroever in kustvak in periode ²	% vooroever t.o.v. totale suppletie	Totale aanzanding periode ¹	% aanzanding t.o.v. suppletie	Aanzanding – suppletie in periode	Start suppleren	Totale suppletie sinds startjaar ²	Totale suppletie vooroever sinds startjaar ²
	A	B	C	D	E	F=100*E/B	G=E-B			
Schiermonnikoog	0.09	0.00	0.00	nvt	0.98	nvt	0.98	nvt	0.00	0.00
Ameland	0.12	7.73	5.43	70	1.35	17	-6.38	1980	14.32	5.43
Terschelling	0.53	2.00	2.00	100	5.80	290	3.80	1993	2.00	2.00
Vlieland	0.11	2.94	2.16	73	1.19	41	-1.75	1991	3.13	2.16
Texel	0.42	18.82	13.11	70	4.65	25	-14.17	1979	39.79	13.11
Noord-Holland	0.51	22.77	12.64	56	5.56	24	-17.21	1962	35.65	12.64
Rijnland ³	0.39 ³	10.61 ³	9.75 ³	92	3.51 ³	33	-7.10	1990	15.42	11.77
Delfland	0.26	12.91	7.05	55	2.82	22	-10.09	1953	44.18	7.05
Maasvlakte ³	0.07 ³	4.43 ³	2.10 ³	47	0.60 ³	14	-8.33	1979	11.86	2.10
Voorne	0.08	0.80	0.00	0	0.91	114	0.11	1973	10.52	0.00
Goeree	0.14	2.82	0.00	0	1.58	56	-1.24	1966	14.76	0.00
Schouwen	0.12	1.92	0.00	0	1.32	68	-0.61	1975	8.75	0.00
Oosterschelde	0.04	0.00	0.00	nvt	0.44	nvt	0.44	nvt	0.00	0.00
Noord-Beveland ³	0.05 ³	1.03 ³	0.00 ³	0	0.46 ³	45	-0.57	1973	2.08	0.00
Walcheren	0.21	11.14	3.56	32	2.34	21	-8.79	1952	20.67	3.64
Zeeuws-Vlaanderen	0.10	2.59	0.00	0	1.06	41	-1.54	1971	9.06	0.32
Totaal	3.18	106.48	57.80	54	34.05	32	-72.43		232.19	60.22
Wadden	1.27	31.49	22.70	72	13.97	44	-17.51		59.23	22.70
Hollandse kust	1.16	54.70	31.54	58	11.98	22	-42.73		107.12	33.56
Delta	0.75	20.29	3.56	18	8.10	40	-12.19		65.84	3.96

1: periode 1997-2008

2: gegevens tot en met 2006

3: periode 1999-2008

5.1.2 *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. Ook voor Voorne is de aanzanding groter dan de gesuppleerde hoeveelheid over de periode 1997-2006, maar die valt in het niet bij de hoeveelheid die voor 1997 is gesuppleerd. Voor alle andere kustvakken is de aanzanding minder dan de totale hoeveelheid suppletiezand, variërend van 7% op de Maasvlakte tot 68% op Schouwen.

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 m³/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 m³/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 7.7 miljoen m³ van 1997-2006, waarvan 70% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1980 en 1992.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 17%.

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 m³/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 m³ van 1997-2006, 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 m³/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 m³ van 1997-2006, waarvan 73% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1995 en 2008.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 41%.

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 m³/m.jr, vrijwel overal een ophogende zeereep
- Geen verandering door stormen 2006-2007; afslag.
- Suppleties: ten zuidwesten van km9 is niet gesuppleerd.
- Totaal gesuppleerd 18.8 miljoen m³ van 1997-2006, waarvan 70% op de vooroever.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 25%.

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 m³/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 22.8 miljoen m³ van 1997-2006, waarvan 56% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1976, 1979, 1986 en 1987.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 24%.

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 m³/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 10.6 miljoen m³ van 1999-2006, waarvan 92% op de vooroever.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 33%.

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, 2009).

Delfland

- Vegetatiecomponent.
- Zandbudget sterk positief, ca 12 m³/m.jr, met overwegend ophogende zeereep.
- Geen verandering door stormen 2006-2007.
- Suppleties: km101-106 is niet gesuppleerd.
- Totaal gesuppleerd 12.9 miljoen m³ van 1997-2006, waarvan 55% op de vooroever.
- Landwaartse duinverzwaring in 1986.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 22%.

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 m³/m.jr
- Afname door stormen 2006-2007; afslag
- Suppleties:
- Totaal gesuppleerd 4.4 miljoen m³ van 1999-2006, waarvan 47% op de vooroever.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 14%.

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 m³/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 m³ van 1997-2006, waarvan 0% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1973, 1974, 1984, 1986 en 1987 (met zeer kleig 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 m³/m.jr.
- Afname door stormen 2006-2007; afslag.
- Suppleties: veelvuldige strandsuppleties en duinverzwaringen.
- Totaal gesuppleerd 2.8 miljoen m³ van 1997-2006, 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 m³/m.jr.
- Afname door stormen 2006-2007; afslag.
- Suppleties: km6.5-10 is niet gesuppleerd.
- Totaal gesuppleerd 1.9 miljoen m³ van 1997-2006, waarvan 0% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1990.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 68%.

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 m³/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 slufferachtige 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 m³/m.jr, uitbouwende zeereep.
- Geen verandering door stormen 2006-2007; zeer beperkte afslag.
- Suppleties: vier strandsuppleties, in 1973, 1996, 2000 en 2004.
- Totaal gesuppleerd 1.0 miljoen m³ van 1999-2006, waarvan 0% op de vooroever.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 45%.

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 slufferachtig systeem.

Walcheren

- Vegetatiecomponent.
- Zandbudget positief, ca 7 m³/m.jr.
- Toename door stormen 2006-2007; zeer beperkte afslag.
- Suppleties: km 5-8 en 11-12 niet gesuppleerd.
- Totaal gesuppleerd 11.1 miljoen m³ van 1997-2006, waarvan 32% op de vooroever.

- Duinverzwaring in 1975, 1986 t/m 1989.
- Verhouding aanzanding t.o.v. suppletiehoeveelheid is 21%.

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 m³/m.jr, uitbouwende zeereep.
- Geen verandering door stormen 2006-2007; geen afslag.
- Suppleties: veelvuldige strandsuppleties en duinverzwaringen.
- Totaal gesuppleerd 2.6 miljoen m³ van 1997-2006, waarvan 0% op de vooroever.
- Duinverzwaring in 1978, 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 Verdrongen Zwarte Polder en Het Zwin.

5.2

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 onttrokken 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.

5.3 Uitwerking suppletiegegevens

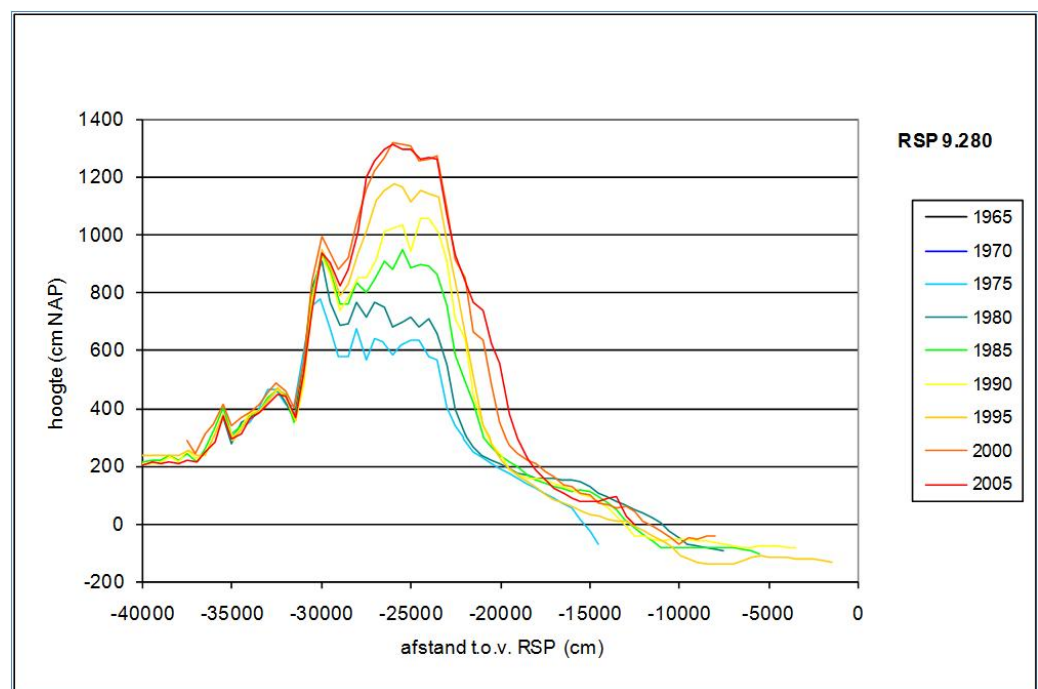
In de berekeningen moet het effect van de gesuppleerde hoeveelheid worden verrekend. Probleem hierbij is dat bij strandsuppleties vaak een deel van het zand boven 3m NAP is aangebracht. In de kuberingen is de suppletie dan over twee componenten verdeeld, het duinen deel (boven 3m NAP) en het strand en 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.⁶

6 UITWERKING ZANDBUDGETTEN PROEFGEBIEDEN

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 wordt een typerend profiel weergegeven. Voor de korte termijn wordt een vergelijking gemaakt van de resultaten uit de Jarkus-gegevens en de resultaten uit de laseraltimetriegegevens.

6.1 Groote Keeten (RSP 8.00-11.00)

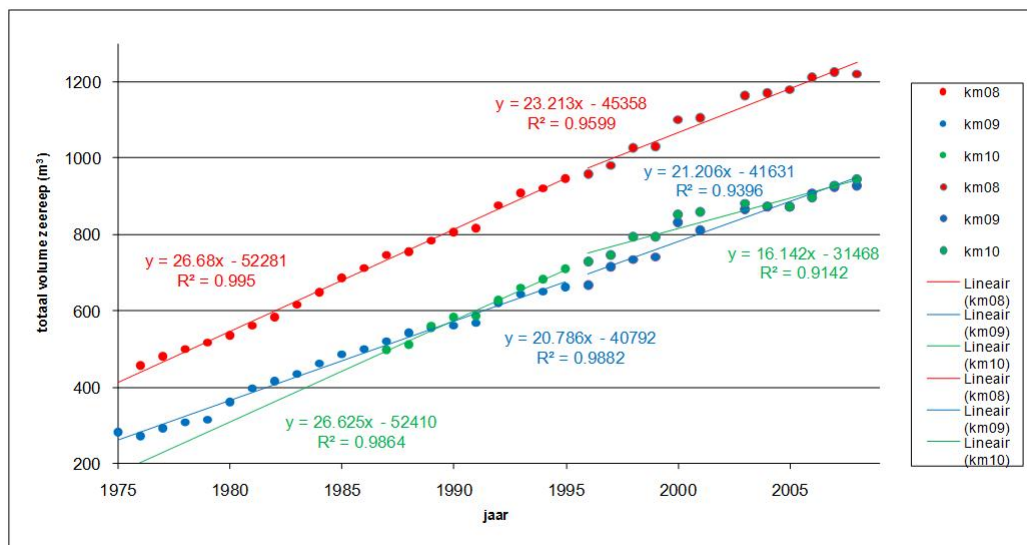
De zeereep bij Groote Keeten zandt aan, waarbij zowel de hoogte als de breedte toeneemt. De duinvoet verplaatst in zeewaartse richting



Figuur 6.1. Typerend dwarsprofiel voor Groote Keeten.

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 m³/m.jaar. De trendberekening is in eerste instantie uitgevoerd voor het totale volume van de zeereep. Hiervoor is per km een gemiddelde bepaald. Figuur 6.2 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. Uitgezocht moet worden of gevonden verschillen statistisch significant zijn. 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 6.2. 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

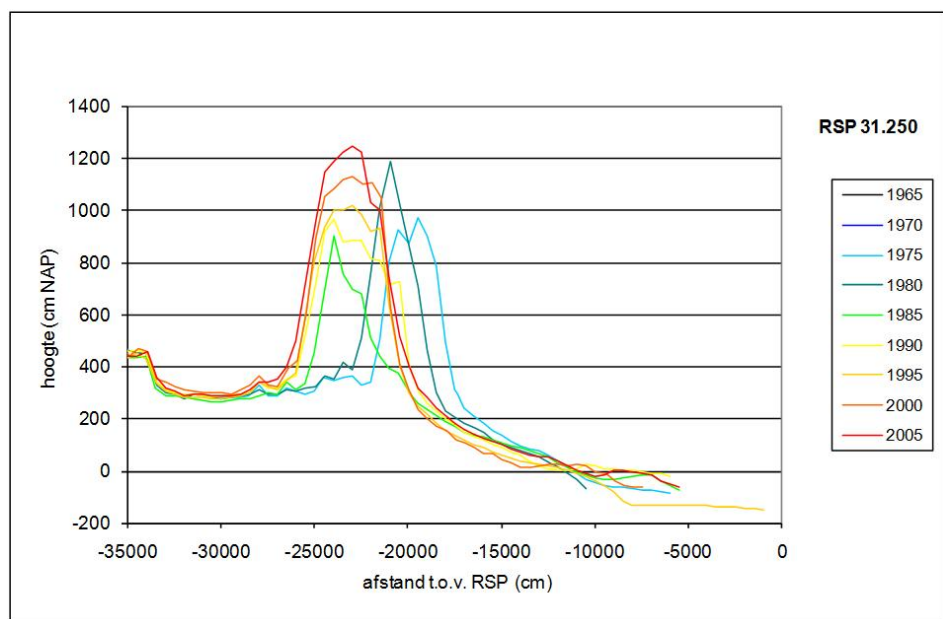
¹ RSP 9.840 t/m 10.930 berekening Vol1 over 1986-1995

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 worden.

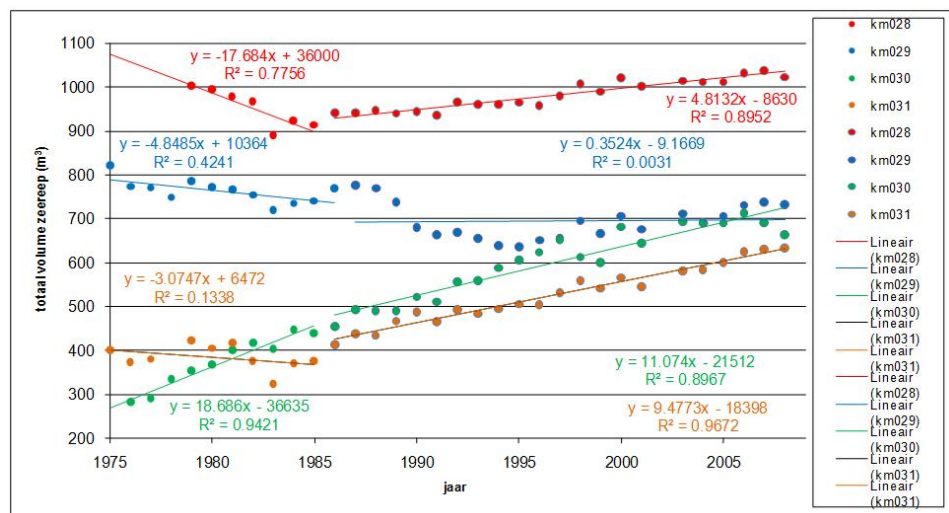
6.2

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.

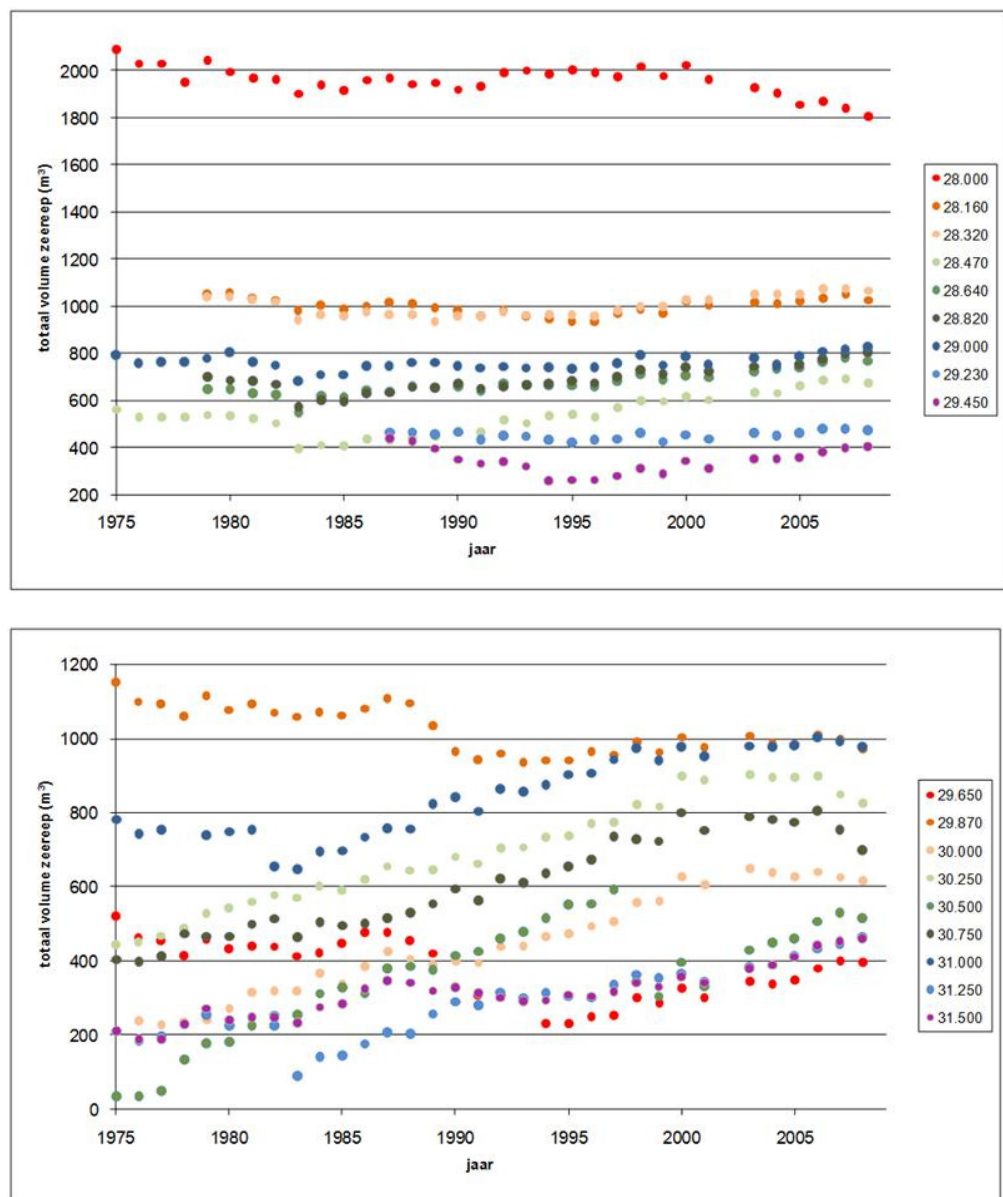


Figuur 6.3. Typierend dwarsprofiel voor Schoorl.



Figuur 6.4. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

Om een beter beeld te krijgen van de ontwikkeling en de variatie zijn voor alle raaien de volumes tegen de tijd uitgezet. 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 6.5. 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

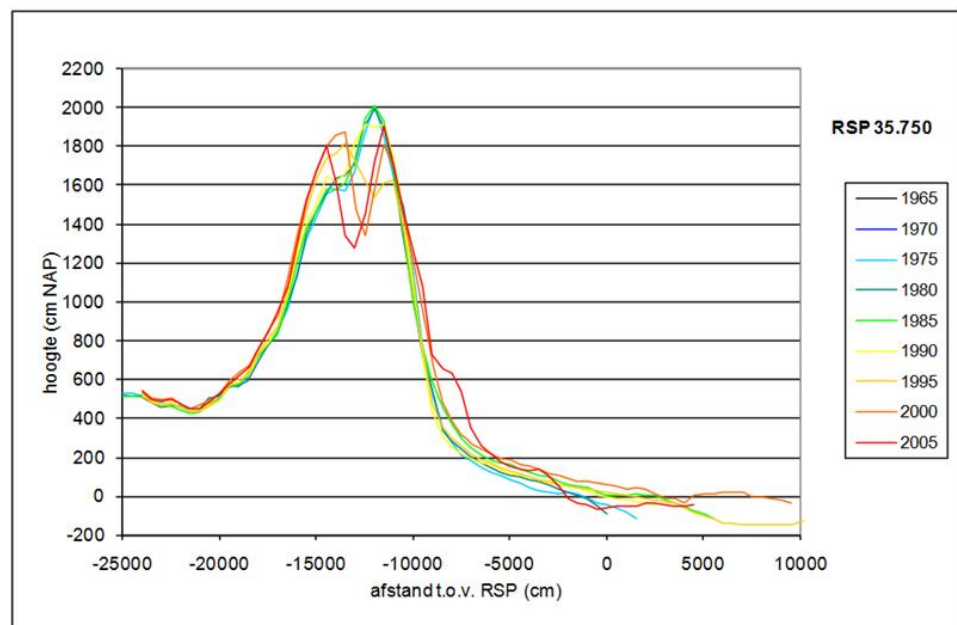
¹ 29.230 en 29.450 niet mee beschouwd in gemiddelden km029 omdat voor deze raaien geen gegevens voor 1986 beschikbaar zijn.

² negatief gemiddelde door uitgraven Kerf (1997)

6.3

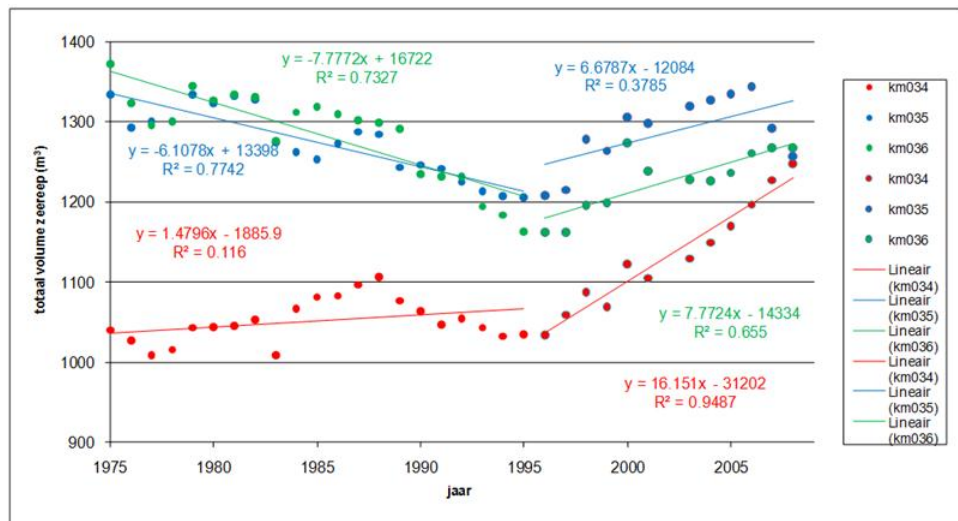
Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00)

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 6.6. Typend 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 aangroezone (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

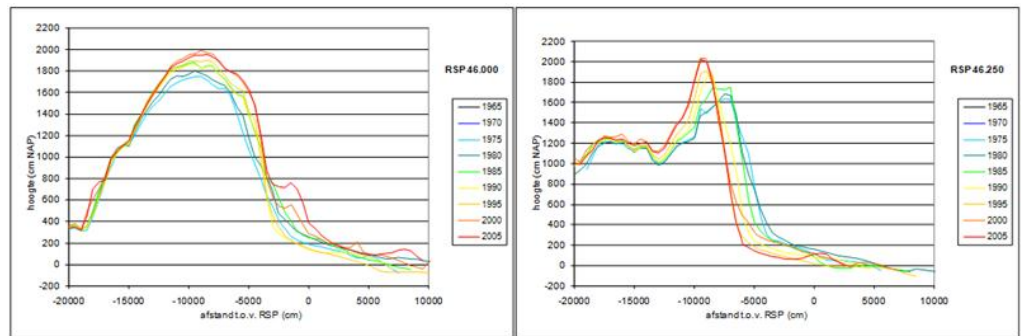


Figuur 6.7 Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

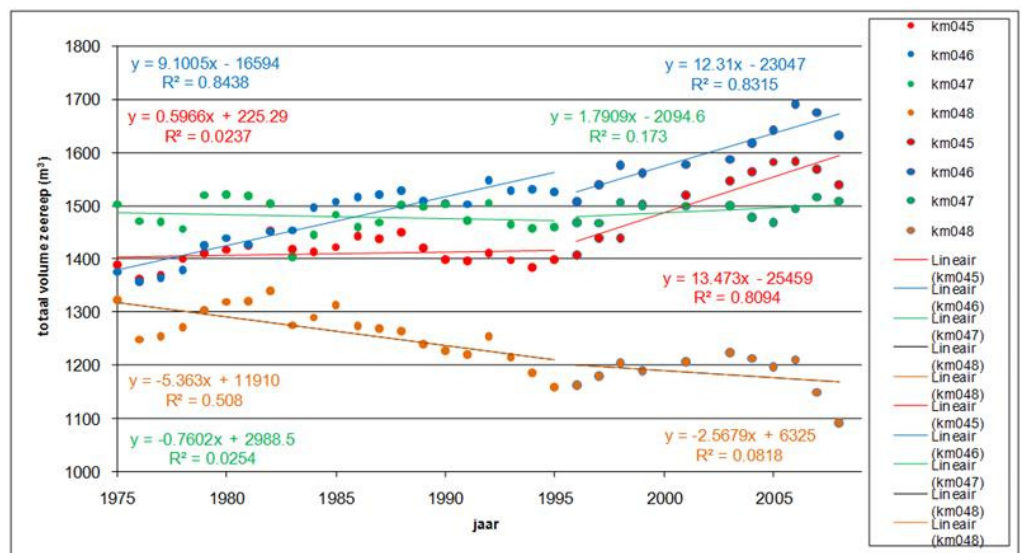
raai	Vol1 1975- 1995	Vol2 1996- 2008	Begrenzing m tov RSP	dv- verplaatsing 1997-2008	suppletiehistorie				
					1997	1999	2000	2004	2005
34.000	4.7	19.0	-195	+			497		319
34.250	2.4	18.8	-235	+			497		319
34.500	1.3	14.5	-260	+	126				319
34.750	-8.5	14.6	-270	+	126				319
35.000	-6.9	6.3	-240	0	126				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	

6.4 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 6.8. Typend dwarsprofiel voor het gebied ten zuiden van Castricum.



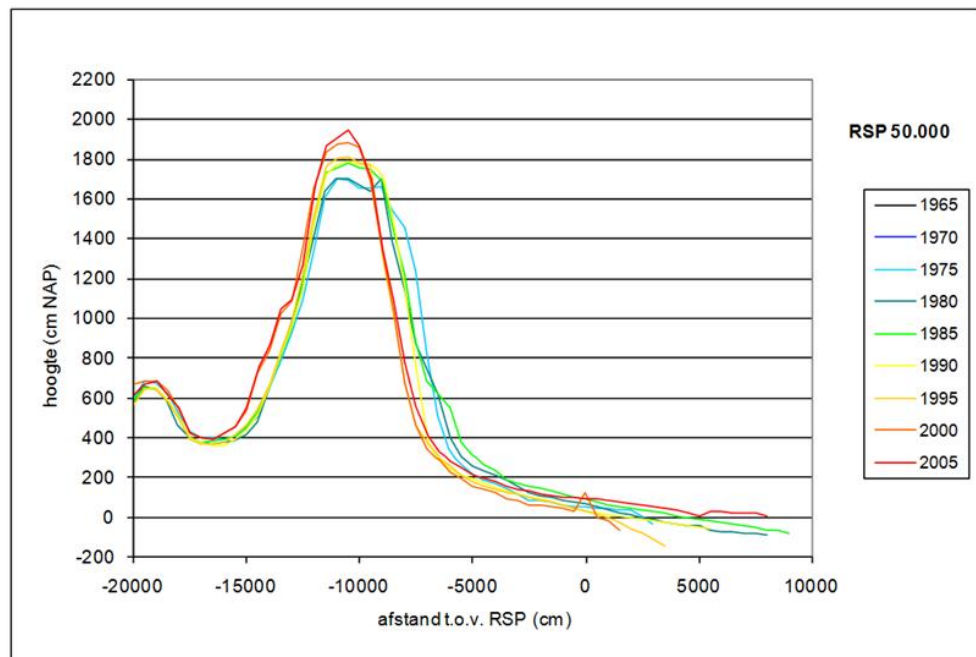
Figuur 6.9. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

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.

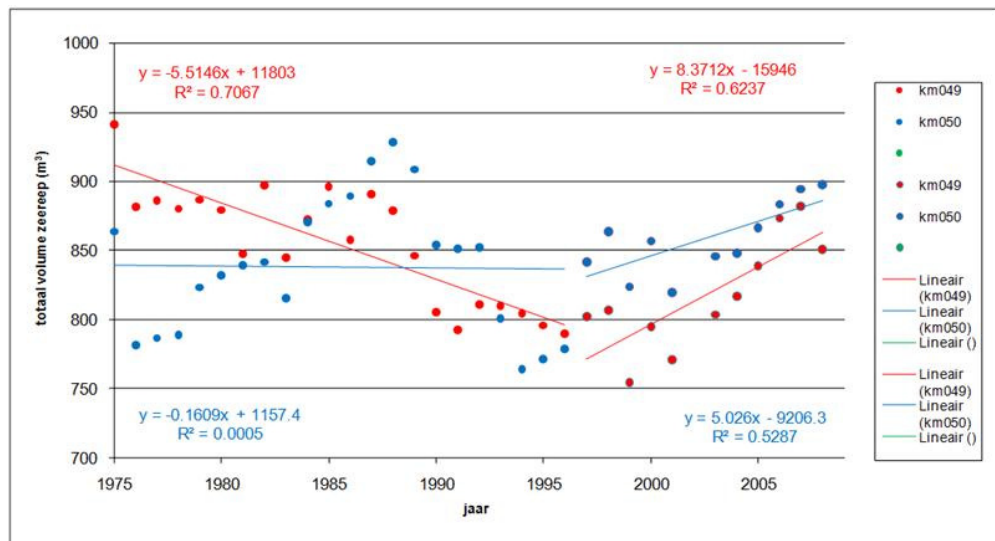
raai	Vol1 1975-1995	Vol2 1996-2008	Begrenzing m tov RSP	dv- verplaatsing 1997-2008	suppletiehistorie
					2005
45.000	9.3	8.5	-115	-	
45.250	-0.6	15.2	-130	-	
45.500	1.1	11.0	-135	0	
45.750	-4.9	9.2	-145	+	
46.000	9.1	13.2	-150	+	
46.250	7.7	10.7	-160	+	
46.500	7.2	7.4	-160	-	250
46.750	5.8	3.7	-165	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	-	

6.5 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 6.10. Typend dwarsprofiel voor het gebied rond Heemskerk.



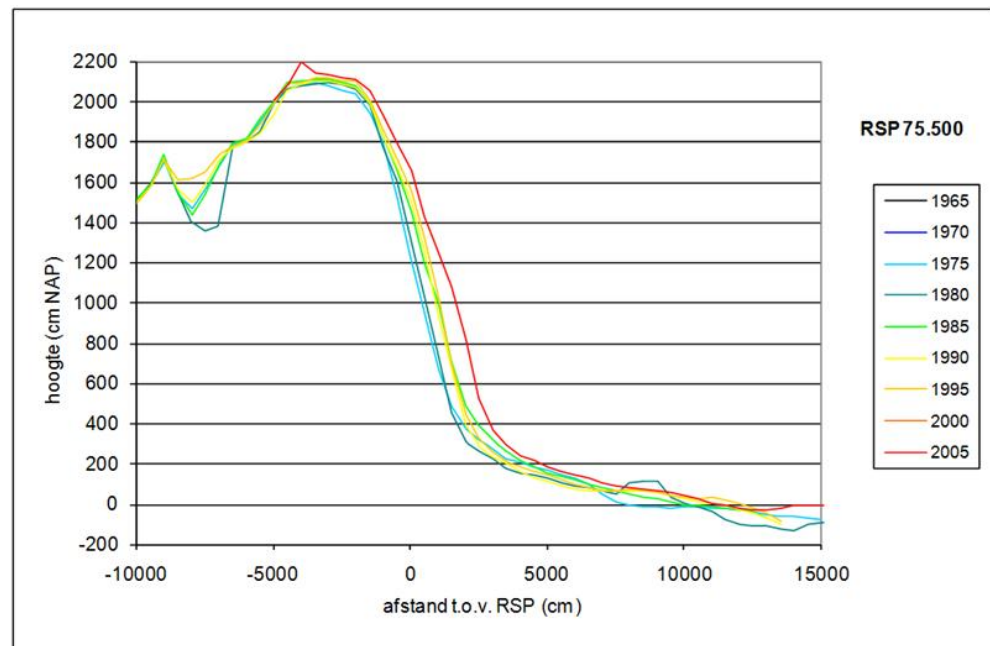
Figuur 6.11. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

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, 49.500 en 49.750 de negatieve trend tot stilstand te zijn gekomen, en voor 49.000 de omslag van negatief naar positief samen te hangen met kerfontwikkeling. Net ten zuiden van raai 49.000 is een kerf in ontwikkeling. De depositiezone achter deze kerf ligt in raai 49.000. 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.

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							

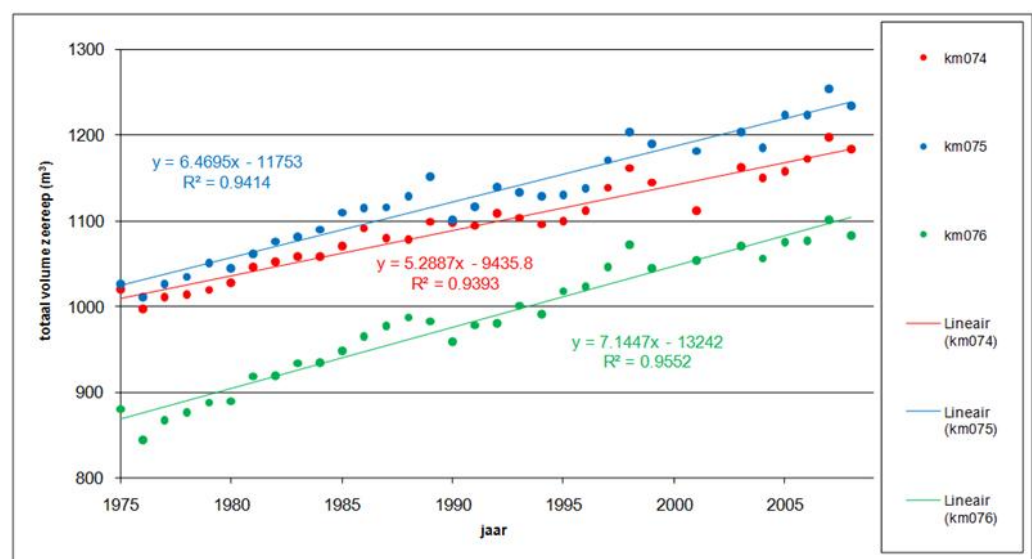
6.6 Langeveld (RSP 74.50-76.50)

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.



Figuur 6.12. Typerend dwarsprofiel voor Langeveld.

De trend in de lange termijnontwikkeling is duidelijk positief, waarbij er niet of nauwelijks sprake is van een trendbreuk. De enige toegepaste suppleties hier is in 200 op de vooroever uitgevoerd. Een mogelijk effect hiervan komt nog niet in de trendberekeningen tot uiting. De volumeontwikkeling is duidelijk cyclisch.



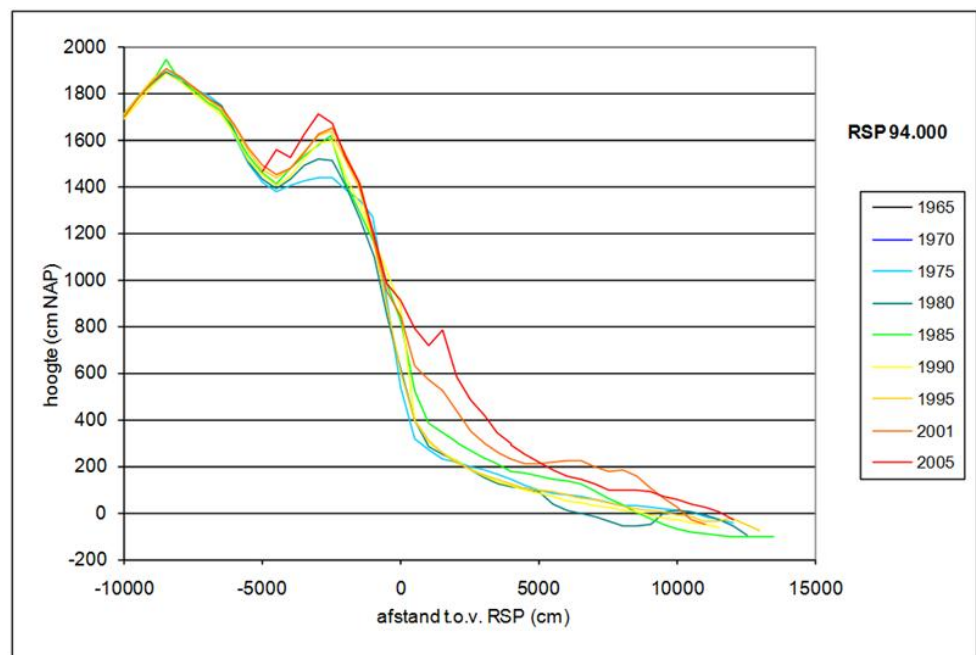
Figuur 6.13. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

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

6.7

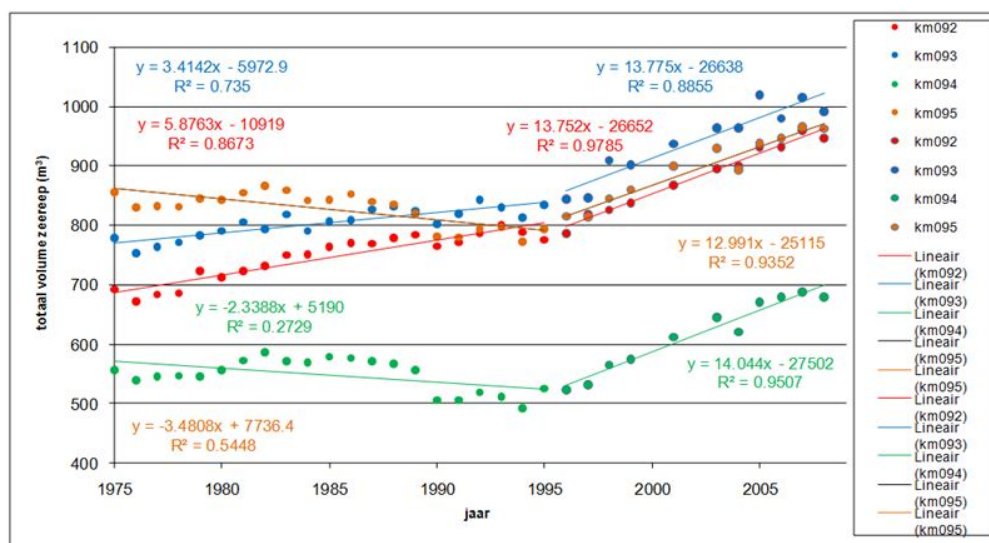
Wassenaar (RSP 92.00-96.00)

Dit is één van de kustvakken met de duidelijkste aanwijzing dat suppleren tot aangroei leidt. De foto op de omslag is van dit gebied en toont de nieuwe duinenrijen die voor de oude zeereep zijn ontstaan. In het hieronder getoonde dwarsprofiel is nog sprake van enige ophoging van de oude zeereep. De raaien worden de laatste jaren niet ver genoeg naar achteren gemeten, waardoor de informatie van overstuiving over de zeereep niet volledig is.



Figuur 6.14. Typierend dwarsprofiel voor Wassenaar.

Er zijn strandsuppleties uitgevoerd in 1994 en 1996/1997, vooroeverssuppleties 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.



Figuur 6.15. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.

raai	Vol1 1975- 1995	Vol2 1996- 2008	Begrenzing m tov RSP	dv- verplaatsing 1997-2008	suppletiehistorie				
					1994	1996	1997	2002	2006
92.000	8.2	17.4	-25	+		200		500	125
92.250	4.9	7.0	-25	+		200		500	125
92.500	3.8	12.4	-30	+		200		500	125
92.750	1.1	14.8	-40	+		200		500	125
93.000	5.7	14.6	-55	+		200		500	125
93.250	3.7	12.3	-55	+		200		500	125
93.500	0.3	8.8	-55	+		200		500	125
93.750	1.5	7.3	-55	+				500	125
94.000	2.2	9.4	-50	-			221	500	125
94.250	-1.2	5.0	-50	-	350		221	500	125
94.500	-5.7	13.4	-50	-	350		221	500	125
94.750	-2.5	11.7	-55	-	350		221	500	125
95.000	-1.7	7.1	-60	-	350		221	500	125
95.250	-3.2	13.1	-85	-	350		221	500	125
95.500	-4.8	12.6	-100	-	350		221	500	125
95.750	-2.8	12.5	-115	-	350		221	500	125
96.000	-1.1	7.0	-125	-	350		221	500	125

6.8 Conclusies ontwikkeling zeereep

Per locaties kan de ontwikkeling als volgt worden samengevat:

- 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. Bij km 10 is er een mogelijke relatie tussen de aanzanding en suppleren, maar de Jarkus-data beginnen tegelijk met suppleties. Hier zouden aanvullende Jarkus-data moeten worden onderzocht.
- 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). Er is daardoor een onduidelijke relatie tussen de mate van aanzanding en suppleties. Er is sprake van een grote ruimtelijke en temporele variatie.
- Bergen-Egmond laat een duidelijke omslag naar aanzanding zien sinds er gesuppleerd wordt. Er is sprake van een dynamische, ophogende, maar ook deels erosieve zeereep. Ook de erosieve zeereep, met klifvorming heeft een gemiddeld positief zandbudget.
- 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.
- Bij Heemskerk valt vooral de enorme temporele variatie op, met een cycliciteit 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.
- Bij Langeveld is er sprake van een gelijkmatige aanzanding over de gehele periode. De enige suppletie in 2002 lijkt daar niets aan te veranderen. Al het zand wordt opgeslagen in de voorkant.
- Wassenaar toont een duidelijke omslag naar aanzanding of versterkte aanzanding sinds er gesuppleerd wordt. 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.

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

- Op twee locaties is er sprake van een gestage aangroei (Groote Keeten, Langeveld), die niet gerelateerd lijkt aan suppleties. Langeveld is eenmalig gesuppleerd (2002), maar dit lijkt nauwelijks van invloed op de trend in aanzanding.
- Op de andere locaties komt er ruwweg sinds 1985-1995 meer zand binnen dan voor 1985. Op twee locaties is dit duidelijk gerelateerd aan suppleties (Bergen-Egmond, Wassenaar). De trendbreuk in de aanzanding valt samen met de start van suppleren. Bij Schoorl, Castricum en Heemskerk is de relatie met suppleren onduidelijk.

- In de meeste gebieden is de overstuiving van de zeereep top en achterkant sterk of sterker geworden. In Wassenaar en Langeveld speelt overstuiving vooral aan de voorkant van de zeereep.
- In sommige gebieden is er sprake van een grote ruimtelijke variatie (Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk), 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 sommige gebieden is de temporele variatie groot, met soms een cyclische ontwikkeling met flinke amplitude (Bergen-Egmond, Heemskerk), in andere is de fluctuatie minder. In vrijwel alle raaien lijkt sprake van een cyclische ontwikkeling.

Tot slot moeten er verschillende kanttekeningen bij de conclusies worden geplaatst. In paragraaf 2.1.4. werd gesproken over de autonome ontwikkeling. Met betrekking tot de aanzanding is suppleren niet de enige oorzaak van veranderingen. Kustbreed gezien is de stormfrequentie mede bepalend voor een positieve of negatieve trend in de zeereepontwikkeling. In OBN-kader zal daarom een verdere analyse van wind- en stormgegevens gemaakt worden. Lokaal kunnen er meer factoren een rol spelen, zoals bijvoorbeeld tektonische bewegingen, zoals bodemdaling in het gebied tussen Bergen aan Zee en Petten, of zandgolven, die periodiek voor een forse aanzanding kunnen zorgen. Ook deze factoren zullen in de volgende fase betrokken moeten worden. Hierbij zal ook beschikbare literatuur met betrekking tot kustontwikkeling en zandverplaatsing op de vooroever worden betrokken. Ook zullen de conclusies worden vergeleken met eerdere studies over zandbudgetten (bijv. De Ruig, 1987; Arens, 1994; van der Wal, 1999).

6.9 De link tussen vooroever, strand en zeereep

Binnen het kader van Kustlijnzorg zal door Deltares aanvullende onderzoek worden verricht naar de ontwikkeling van de vooroever voor de verschillende studielocaties (zie deels Brière & van den Boogaard, 2009). In OBN-kader zal dit verder worden uitgewerkt. Analyse van de ontwikkeling van de vooroever zal naar verwachting meer inzicht verschaffen in de relatie tussen suppleties en ontwikkeling van de zeereep in de verschillende studiegebieden, zoals hierboven geschetst. Hierbij zal tevens aandacht worden besteed aan bestaande literatuur (De Vriend & Roelvink, 1989; Ruessink & Jeuken, 2002; Koster Engineering, 2006; Speybroeck et al., 2008).

7 UITWERKING MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING PROEFGEBIEDEN

In dit hoofdstuk wordt in gegaan op de wijze waarop het zand dat binnenkomt zich verspreid over de zeereep. Dit is van belang om in een volgende fase een koppeling te kunnen maken tussen dynamiek enerzijds en kwaliteit en kwantiteit van habitattypen anderzijds.

Vooralsnog is voor twee locaties een kartering gemaakt van dynamische structuren in 1996 en 2007. In OBN-kader zal dit verder worden uitgewerkt, en zullen ook voor de andere studielocaties karteringen worden uitgevoerd.

Bij de kartering worden de volgende stappen doorlopen:

- Inventarisatie van morfologische veranderingen (1996-2008)
 - Ontwikkeling van stuifkuilen
 - Ontwikkeling van kerven
 - Ontwikkeling van nieuwe duinen
 - Structurele ophoging van de zeereep
 - Afslag
 - Stabiliteit (geen noemenswaardige verandering)
- Karakterisering en classificering van veranderingen
- Bepalen van snelheden van ontwikkeling (1996-2008)
 - Ontwikkeling aantallen stuifkuilen/kerven
 - Snelheid van vormverandering – groei stuifkuilen en kerven
 - Snelheid van aangroei van nieuwe duinen
 - Snelheid van ophoging van de zeereep
 - Mate van afslag

Bijlage 4 toont de karteringen voor Groote Keeten en Bergen-Egmond.

In Bijlage 5 is voor de verschillende studielocaties een verschilkaart opgenomen, waaruit de globale morfologische ontwikkeling afgeleid kan worden. Op basis van deze kaarten en de beschikbare luchtfoto's wordt de morfologische ontwikkeling verder uitgewerkt (kartering van een aantal structuren voor een aantal jaren).

7.1 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.

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 5) de hoogte netto toeneemt, en depositie hier dus overheerst over erosie. Stuifkuilen en kerven duiden dus niet perse op een netto erosie.

Dynamische structuren zijn tussen 1996 niet zozeer in aantal maar wel in oppervlak toegenomen. Zowel kerven, als stuifkuilen, als zandige plekken zijn fors vergroot. Kerven zijn in 2007 de meest voorkomende structuren. Embryoduinen zijn in oppervlak achteruitgegaan, omdat ze zijn uitgegroeid tot volwassen duinen (Witte Duinen) en vanwege afslag in november 2006. 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.

Van de in totaal 43 gekarteerde stuifkuilen en kerven zijn er 19 netto erosief.



Figuur 7.1. Kerven in de zeereep bij Groote Keeten.

		1996		2007	
	Eenheid	aantal	oppervlak m ²	aantal	oppervlak m ²
Stuifschermen	Bs	5	14161	2	2088
Aanplant	Ba	-	-	-	-
Recreatie	R	-	-	-	-
	Totaal	5	14161	2	2088
Embryonale duinen	E	2	6452	2	978
Kerf (erosief)	K	25	8252	31	18080
Stuifkuil	S	4	1125	12	3696
Kale plek	Z	49	7836	36	10511
	Totaal	80	23665	81	33265
	Per km	26.7	7888	27.0	11088

Om de verschillende locaties beter te kunnen vergelijken is voor ieder proefgebied uitgerekend hoeveel dynamische structuren er per km strekkende kust zijn, en wat daarvan het oppervlak is. Voor Groote Keeten is het aantal structuren per km ca 27, zowel in 1996 als in 2007, maar neemt het oppervlak toe tot ruim 1 ha/km.

In een volgende fase zal moeten worden uitgezocht wat het oppervlak en de kwaliteit van habitattypen in dit gebied is. Uit dit onderzoek blijkt dat de hoeveelheid zand in het systeem en dynamische structuren gestaag toenemen. Daarom wordt verwacht dat Witte Duinen (habitatype 2120) in kwaliteit en kwantiteit zijn toegenomen, dat Embryonale Duinen (2110) in kwantiteit zijn afgenomen en dat de kwaliteit van Grijze Duinen (2130) is toegenomen. Er is waarschijnlijk geen effect op de aanwezige Duinvalleien (2190).

7.2 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 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, aanvankelijk op het strand, later op de vooroever. De aangrenzende gebieden aan noord en zuidkant zijn veel vaker gesuppleerd.

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

Dit onderzoek heeft aangetoond dat de doorstuiving binnen de zeereep is toegenomen. Naar verwachting is er in het gebied daarom een positief effect op kwantiteit en kwaliteit van Embryonale, Witte en Grijze Duinen.

7.3 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.



Figuur 7.2. Stuifkuilen in de zeereep tussen Bergen en Egmond.

		1996		2007	
	eenheid	aantal	oppervlak m ²	aantal	oppervlak m ²
Stuifschermen	Bs	4	9276	1	1430
Aanplant	Ba	1	652	-	-
Recreatie	R	1	9015	-	-
	totaal	6	18943	1	1430
Embryonale duinen	E	-	-	-	-
Kerf (erosief)	K	-	-	12	10037
Stuifkuil	S	34	8196	76	23215
Kale plek	Z	48	17815	2	1851
	totaal	82	26011	90	35103
	Per km	27.3	8670	30.0	11701

Door een toename van overstuiving, doorstuiving en de vorming van dynamische structuren is de verwachting dat 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.

7.4 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 zal de kwaliteit van de Witte Duinen plaatselijk zijn toegenomen, mogelijk ook de kwantiteit. Waarschijnlijk is er alleen direct rondom de stuifkuilen en kerf een positief effect op Grijze Duinen.

7.5 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 te vestigen.

Op de luchtfoto lijkt er in 1996 sprake van een duinverzwaring bij 49.000. 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 kan verwacht worden dat het oppervlak en de kwaliteit van Witte Duinen is toegenomen. De toegenomen doorstuiving over de zeereep kan ook een positief effect hebben op de achterliggende Grijze Duinen. Er is geen effect te verwachten op Embryonale Duinen, die hier vrijwel niet voorkomen.

7.6 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 zullen Embryonale en Witte Duinen in kwantiteit en kwaliteit zijn uitgebreid. Landwaarts daarvan is er geen effect te verwachten.

7.7 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 96.000 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. Door de uitbreiding zal er sprake zijn van een substantiële uitbreiding van Embryonale Duinen en ook van 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.

7.8 Conclusies morfologie en overstuivingspatronen zeereep

In alle gebieden is sprake van een aanzienlijke input van zand. De manier waarop dit zand verspreid wordt is echter sterk verschillend.

- Bij Groote Keeten is er zowel sprake van sterke overstuiving binnen de zeereep als van herverdeling door erosie. Er is een groot aantal kerven en stuifkuilen in ontwikkeling, grofweg de helft daarvan is netto erosief, waardoor dus het zand binnen de zeereep herverdeeld wordt, de andere helft ondergaat netto accumulatie. De vormen zijn in ontwikkeling maar er komt zoveel zand binnen dat het oppervlak netto (over de periode 1997-2008) niet erodeert. Op kleine schaal is er bovendien sprake van parabolisering: ontwikkeling van kerven richting nieuwe parabolen.
- Tussen Bergen en Egmond, plaatselijk rond Schoorl en Heemskerk ontstaan stuifkuilen, deze zijn alle netto erosief. De stuifkuilen zorgen lokaal voor een sterke dynamiek, met depositie tot aan de achterzijde van de zeereep
- Op drie plaatsen, ten zuiden van Castricum en bij Heemskerk zijn grote kerven in ontwikkeling, bij twee hiervan is de verwachting dat in de loop van de tijd de kerf zich tot een paraboolduin zal ontwikkelen.
- De studielocaties Wassenaar en Langeveld, en plaatselijk ten zuiden van Castricum en ten noorden van Schoorl is er alleen sprake van aanstuiving van de zeereep zonder dat daarbij nieuwe, dynamische structuren ontstaan. De overstuivingsgradiënt is hier kort, en er is weinig of geen beïnvloeding van de achterzijde van de zeereep en verder landwaarts gelegen duinen.

Met betrekking tot de habitattypen worden de volgende verwachtingen uitgesproken:

- Embryonale Duinen hebben de beste ontwikkelingskansen bij Groote Keeten, lokaal bij Schoorl en Castricum en bij Wassenaar. In alle gebieden zullen langs de

duinvoet Embryonale Duinen tot ontwikkeling kunnen komen, gezien het overwegend positieve zandbudget.

- Witte Duinen zullen bij Groote Keeten en tussen Bergen en Egmond optimaal tot ontwikkeling kunnen komen, zowel aan de voorzijde, als op de top, als aan de achterzijde van de zeereep en in iets mindere mate bij Schoorl. Ook bij de kerven en stuifkuilen bij Castricum en Heemskerk zal de ontwikkeling van Witte Duinen positief zijn. Bij Langeveld en Wassenaar zal vooral aan de voorkant van de zeereep een beperkte strook met Witte Duinen bestaan. Op de rest van de zeereep zal een monotone Helmvegetatie, overwegend afkomstig van aanplant, domineren.
- Grijze Duinen zullen het meest profiteren van een lange, uitgestrekte overstuivingsgradiënt. De beste omstandigheden hiervoor zijn bij de hoge, dynamiserende zeereep tussen Bergen en Egmond, landwaarts van de kerven bij Castricum en Heemskerk en in iets mindere mate bij Groote Keeten en Schoorl.
- De aanzanding aan de voorzijde bij Langeveld en Wassenaar betekent wel een verbetering, maar beperkt tegelijkertijd de potentie voor het redynamiseren van de zeereep zelf met mogelijk gunstige effecten voor de achterliggende duinen.

8 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.

- Langs de gehele Nederlandse kust gezien 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 m³ (14 op de Wadden, 12 op de Hollandse kust, 8 in de Delta), ofwel 3.2 miljoen m³ per jaar en gemiddeld kustlangs 9.3 m³/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	106	54%	34	9.3
Wadden	31	72%	14	10.8
Hollandse kust	55	58%	12	10.6
delta	20	18%	8	6.6

- Afgezet tegen de totale hoeveelheid suppletiezand is dit 32%. Voor de Wadden en de Delta is deze verhouding hoger (44 resp. 40%) dan voor de Hollandse kust (22%). De verhouding moet nog gecorrigeerd worden, omdat de suppletiegegevens van 2007 en 2008 nog niet verwerkt zijn.
- Het is nog niet bewezen dat de aanzanding door suppleren veranderd is, omdat dit totaal beeld niet voor de periode vóór 1997 berekend kan worden: de laseraltimetriedata beginnen pas in 1997. Maar het is wel aannemelijk dat er gemiddeld een toename is, omdat voor een aantal studielocaties kan worden aangetoond dat de trend van aanzanding sinds suppleren aanmerkelijk is toegenomen. Vergelijking met eerdere studies, bijvoorbeeld de Ruig (1987) kan hier mogelijk meer licht op werpen.
- 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.
- Voor alle andere studielocaties is in een groot deel van de km-vakken sprake van een veranderende trend in aanzanding, waarbij de verandering inzet in de periode 1985-1995. Voor Wassenaar en Bergen-Egmond valt een zeer duidelijke trendbreuk samen met de start van suppleren, zodat hier aannemelijk is dat de trendbreuk daadwerkelijk het gevolg is van suppleren.
- In vrijwel alle gevallen is sprake van een flink overstuivende zeereep. Soms kan het totale budget negatief afvallen, door afslag, maar ook dan wordt er zand over de zeereep afgezet.

- 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 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.
- 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 en Wassenaar speelt dit niet, 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.

9 AANBEVELINGEN

In deze fase van het onderzoek hebben de aanbevelingen nog vooral betrekking op het onderzoek zelf, zoals dat in de volgende fase in OBN-kader zal worden uitgevoerd, of met betrekking tot een vervolgstap waarbij ook de ecologische effecten nader doel van onderzoek zijn.

De gebruikte data hebben hun beperkingen. Het blijkt dat zowel in de laseraltimetrie- als in de Jarkusgegevens veel fouten voorkomen. Veel van deze fouten zijn te corrigeren, maar dit vergt een forse tijdsinvestering. Een foutenanalyse kan uitwijzen in hoeverre de data ook bruikbaar zouden kunnen zijn voor zandbudgetanalyses op kortere tijdschalen (één tot enkele jaren).

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 hopelijk meer licht 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. In OBN-kader zal voor een aantal van de hier onderzochte studielocaties de vooroever ontwikkeling worden onderzocht.

Uitbreiden van het aantal studielocaties zal ook meer inzicht verschaffen in de relatie tussen suppleren en zeereepontwikkeling.

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. Het zou echter kunnen dat een sterk afwijkende geochemische samenstelling van binnenkomend zand meer kwaad dan goed doet voor de ecologische ontwikkeling, zeker wanneer er een groot contrast bestaat tussen het suppletiezand en het oorspronkelijke zand (zoals bijvoorbeeld bij Bergen). Hieraan dient in OBN-kader speciale aandacht te worden besteed.

Aanvullend op het vaststellen van overstuivingsgradiënten zou veldonderzoek uitgevoerd kunnen 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. De hoeveelheid overstuiving zou gekoppeld moeten worden aan aard en kwaliteit van de voorkomende habitattypen. In het veld is deze simpel te bepalen met behulp van boringen. Als pilot zou deze gedetailleerde overstuivingsgradiënt voor een aantal studielocaties in kaart gebracht kunnen worden.

Het inzicht in de huidige toestand van de zeereep zal vergroten wanneer de classificatie van Arens & Wiersma (met de toestand van de zeereep in 1988-1990) opnieuw wordt uitgevoerd. Dit zal meer kwantitatieve informatie verschaffen over de verhouding aangroeiende, stabiele en achteruitgaande zeerepen, en hoe dit in de periode 1990-2009 veranderd is.

Het lijkt logisch al op korte termijn een eerste invulling van een onderzoek naar ecologische effecten te starten. Ten eerste zal een kustbrede inventarisatie van oppervlak en kwaliteit van habitattypen in en achter de zeereep een koppeling mogelijk maken met de abiotische randvoorwaarden: waar liggen de relevante habitattypen, wat is hun oppervlak en kwaliteit, hoe verhouden oppervlak en kwaliteit zich tot de gesignaleerde verschillen in aan- en overstuiving?

Een tweede stap die al gezet kan worden is te inventariseren voor welke gebieden tijdseries van vegetatie/habitattypen beschikbaar zijn. Er zijn verschillende gebieden waarvoor vegetatiegegevens van vóór suppleren beschikbaar zijn. Aan de hand van oude en nieuwe gegevens kan dan een analyse gemaakt worden van veranderingen, die ook weer gekoppeld kunnen worden aan de abiotische randvoorwaarden.

10 LITERATUUR

- Arens, S.M., 1994. Aeolian processes in the Dutch foredunes. Proefschrift Universiteit van Amsterdam.
- Arens, S.M. & J. Wiersma, 1994. The Dutch foredunes; inventory and classification. *Journal of Coastal Research.*, Vol. 10, 189-202.
- 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. & 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., 2009. De zeereep bij Parnassia; hoogtemetingen oktober 2008. Notitie RAP2008.03 in opdracht van Hoogheemraadschap van Rijnland.
- 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., & H.F.P. van den Boogaard, 2009. Rapport in opdracht van Rijkswaterstaat Waterdienst. Deltares.
- 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.
- De Vriend, H.J. & J.A. Roelvink, 1989. Kustverdediging na 1990. Innovatie van kustverdediging; inspelen op het kustsysteem. Technisch Rapport 19, H825, Waterloopkundig Laboratorium.
- Jeuken, C., S.M. Arens, M. Jansen, B. Blik, B. Kruijsen & L. Vermeer, 2005. Westerschelde Containerterminal en het behoud van jonge duinen. Rapport Z3856, Waterloopkundig Laboratorium in opdracht van Zeeland Seaports.
- Koster Engineering, 2006. Duinaangroei na 1990 voor de kust van Noord- en Zuid-Holland. Rapportage in opdracht van Rijkswaterstaat, RIKZ.
- Ruessink, B.G. & C.J.L. Jeuken, 2002. Dunefoot dynamics along the Dutch coast. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Speybroeck, J., D. Bonte, W. Courtens, T. Gheschiere, P. Grootaert, J.-P. Maelfait, S. Provoost, K. Sabbe, E.W.M. Stienen, V. Van Lancker, W. Van Landuyt, M. Vincx & S. Degraer, 2008. The Belgian sandy beach ecosystem: a review. *Marine Ecology* 29 (Suppl 1), 171-185.
- Wal, D. van der, 1999. Aeolian transport of nourishment sand in beach-dune environments. Proefschrift Universiteit van Amsterdam.

11 LIJST MET FIGUREN EN TABELLEN

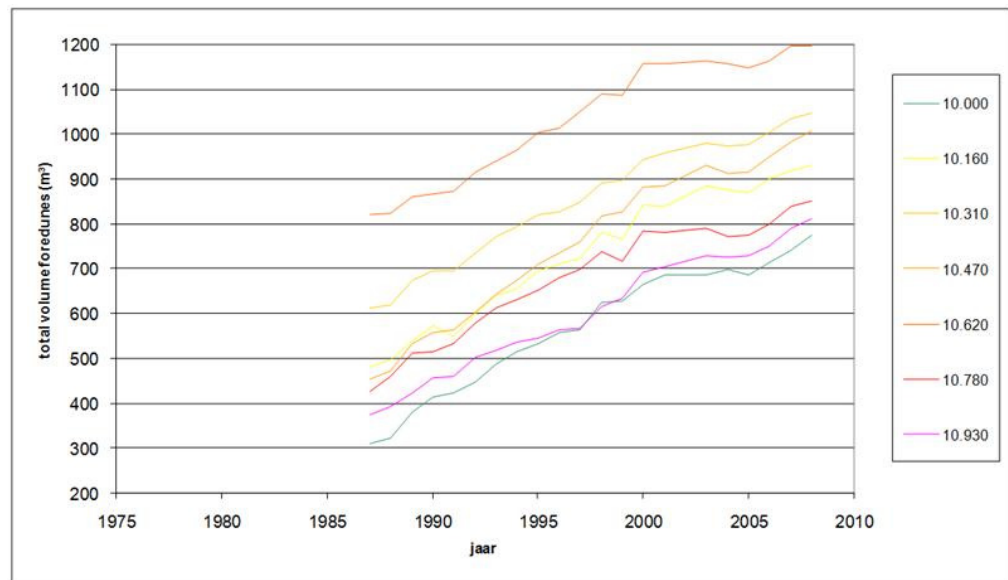
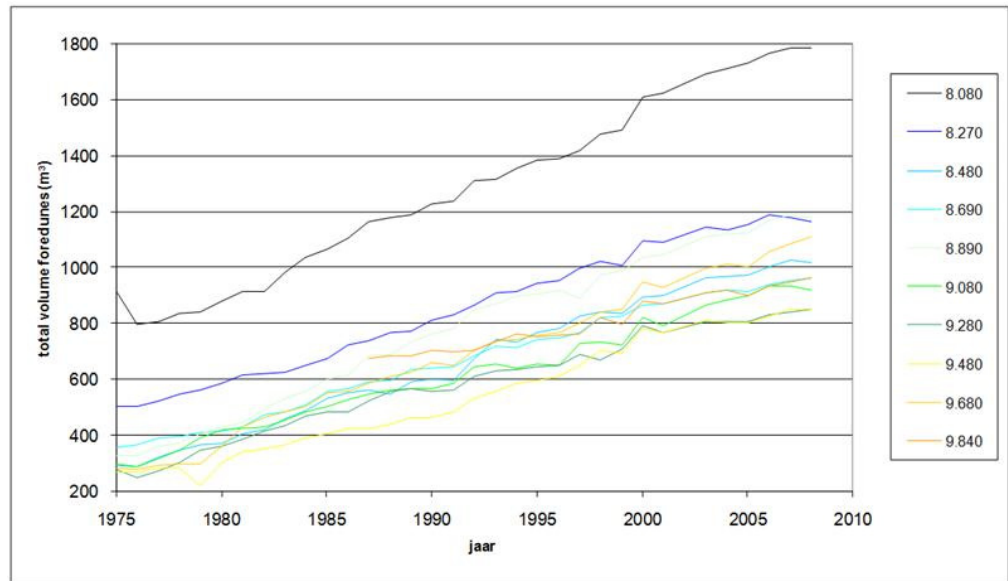
- Figuur 2.1. Effecten van suppleties op processen op vooroever, strand en duinen. Naar Jeuken et al, 2005.
- Figuur 2.2. Stroomdiagram mogelijke effecten suppleties op habitattypen. Voor uitleg zie tekst.
- Figuur 3.1. Methode van kuberen. Totale verschil duinvolume is a (overstuiving) + b (afslag, landwaarts van duinvoet 2008) + c (afslag tussen duinvoet 1990 en 2008). Strand- en onderwateroever (d) blijft in deze berekening buiten beschouwing.
- Figuur 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 m³/m.jr
- Figuur 6.1. Typierend dwarsprofiel voor Groote Keeten.
- Figuur 6.2. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
- Figuur 6.3. Typierend dwarsprofiel voor Schoorl.
- Figuur 6.4. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
- Figuur 6.5. Volumeontwikkeling per raai.
- Figuur 6.6. Typierend dwarsprofiel voor Bergen-Egmond.
- Figuur 6.7. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
- Figuur 6.8. Typierend dwarsprofiel voor het gebied ten zuiden van Castricum.
- Figuur 6.9. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
- Figuur 6.10. Typierend dwarsprofiel voor het gebied rond Heemskerk.
- Figuur 6.11. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
- Figuur 6.12. Typierend dwarsprofiel voor Langeveld.
- Figuur 6.13. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
- Figuur 6.14. Typierend dwarsprofiel voor Wassenaar.
- Figuur 6.15. Trendberekening voor geaggregeerde Jarkusgegevens.
- Figuur 7.1. Kerven in de zeereep bij Groote Keeten.
- Figuur 7.2. Stuifkuilen in de zeereep tussen Bergen en Egmond.
- 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 onderzoekslocaties Hollandse kust met suppletiehistorie.
- Tabel 5.1. Volumeverandering per kustvak en periode in m³/m.jr
- Tabel 5.2. Aanzanding en suppletiehoeveelheden per kustvak. Alle hoeveelheden in 10⁶ m³.

12 VERKLARENDE WOORDENLIJST

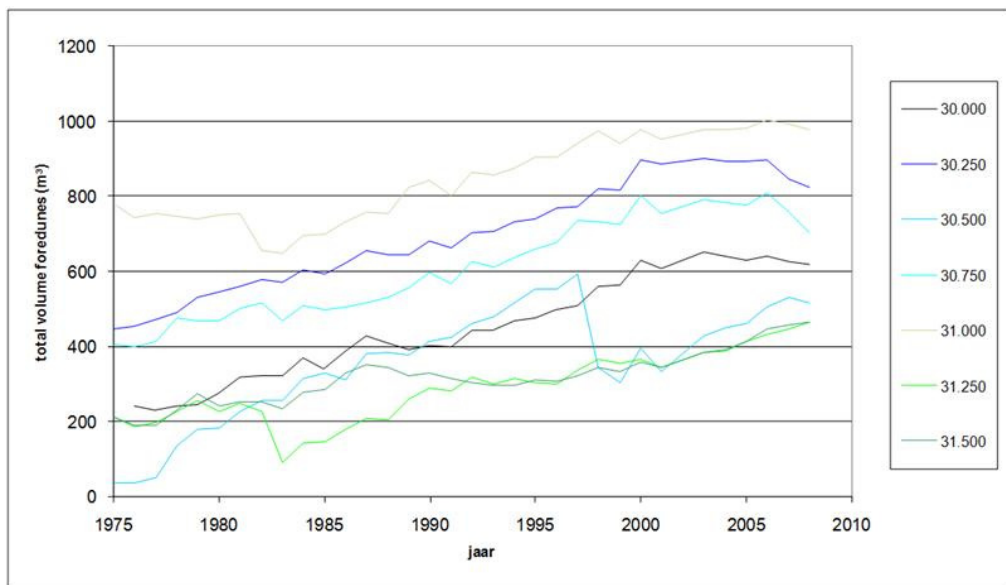
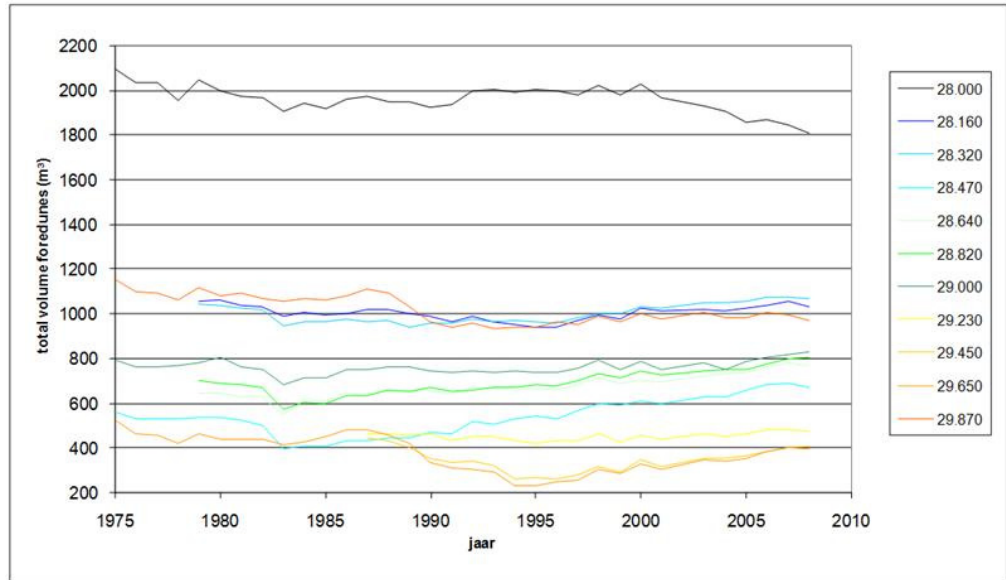
aanstuiving	aanvoer van zand door de wind
af snoering	het afschermen van een deel van het strand of andere laagte door het ontstaan van een nieuwe duinenrij
deflatie	erosie door uitblazing van zand door de wind
doorstuiving	doorvoer van zand door de wind
duinvallei	een laagte in het duin, ontstaan door 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
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
salt spray	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 A RESULTATEN JARKUS

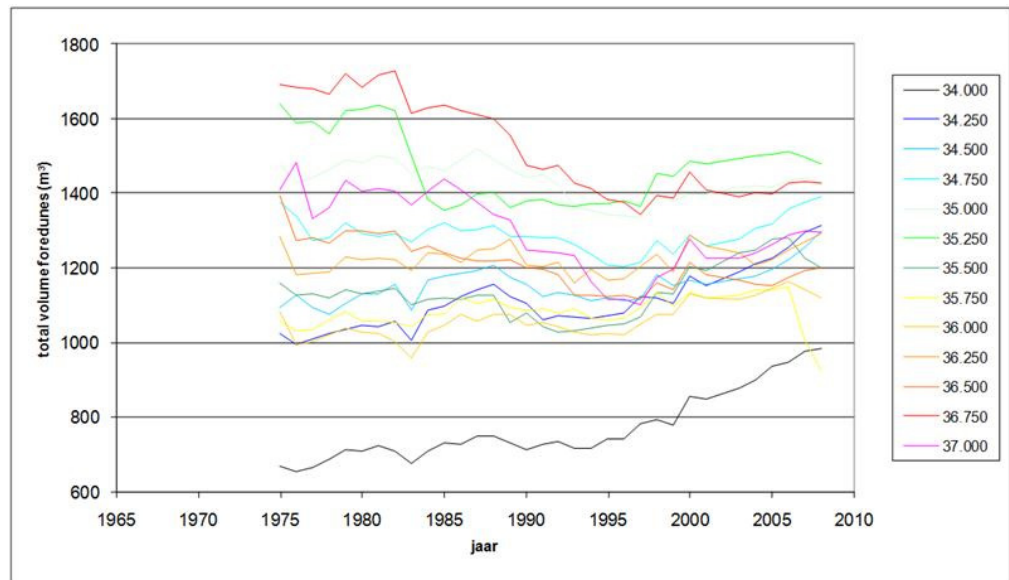
Groote Keeten (RSP 8.00-11.00)



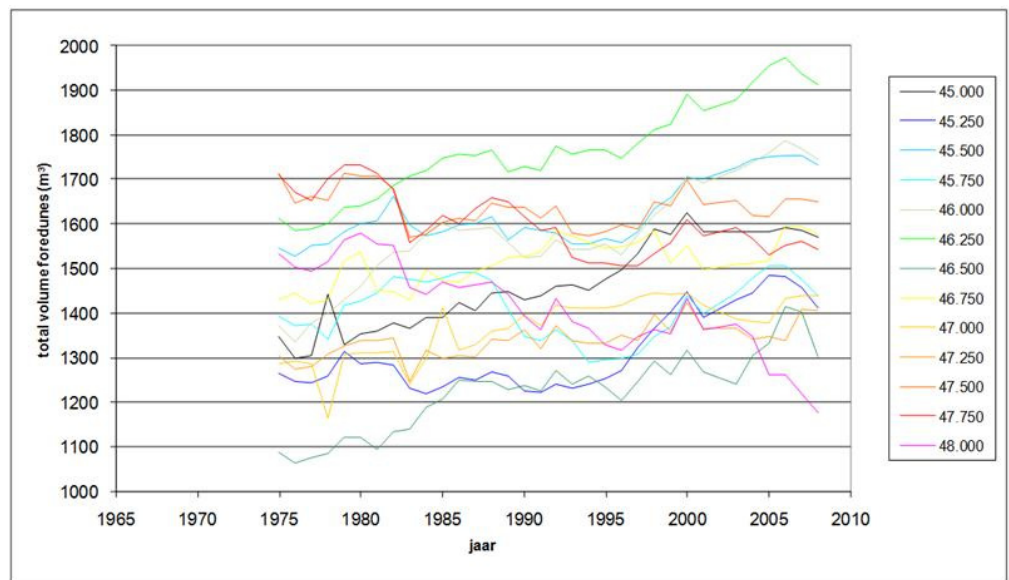
Schoorl (RSP 28.00-31.50)



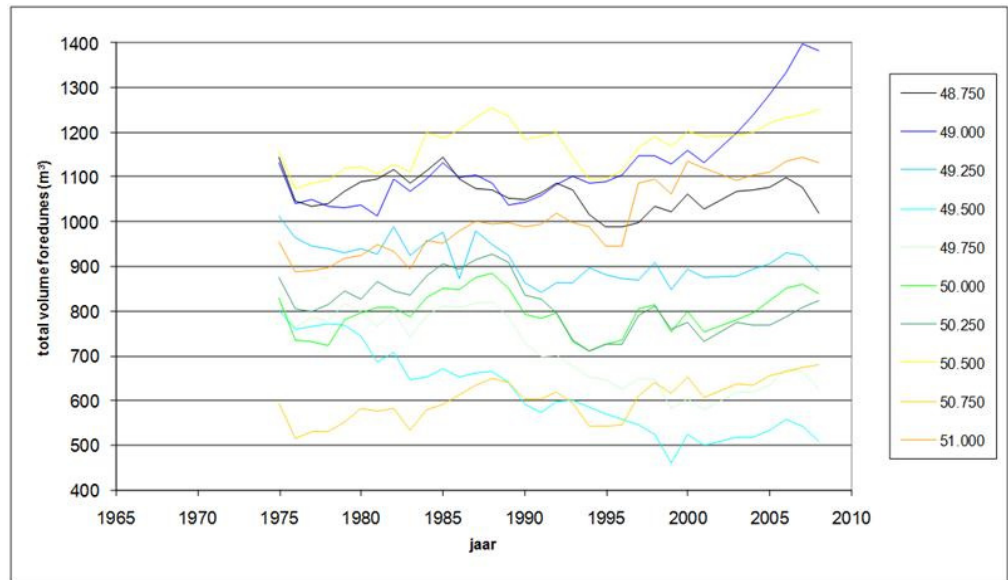
Bergen-Egmond (RSP 34.00-37.00)



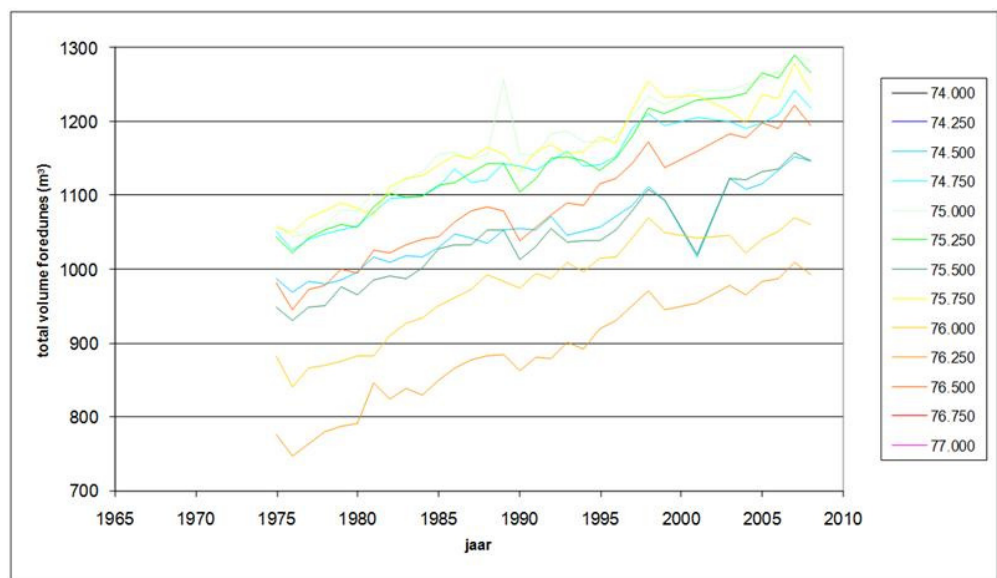
Castricum (RSP 45.00-48.50)



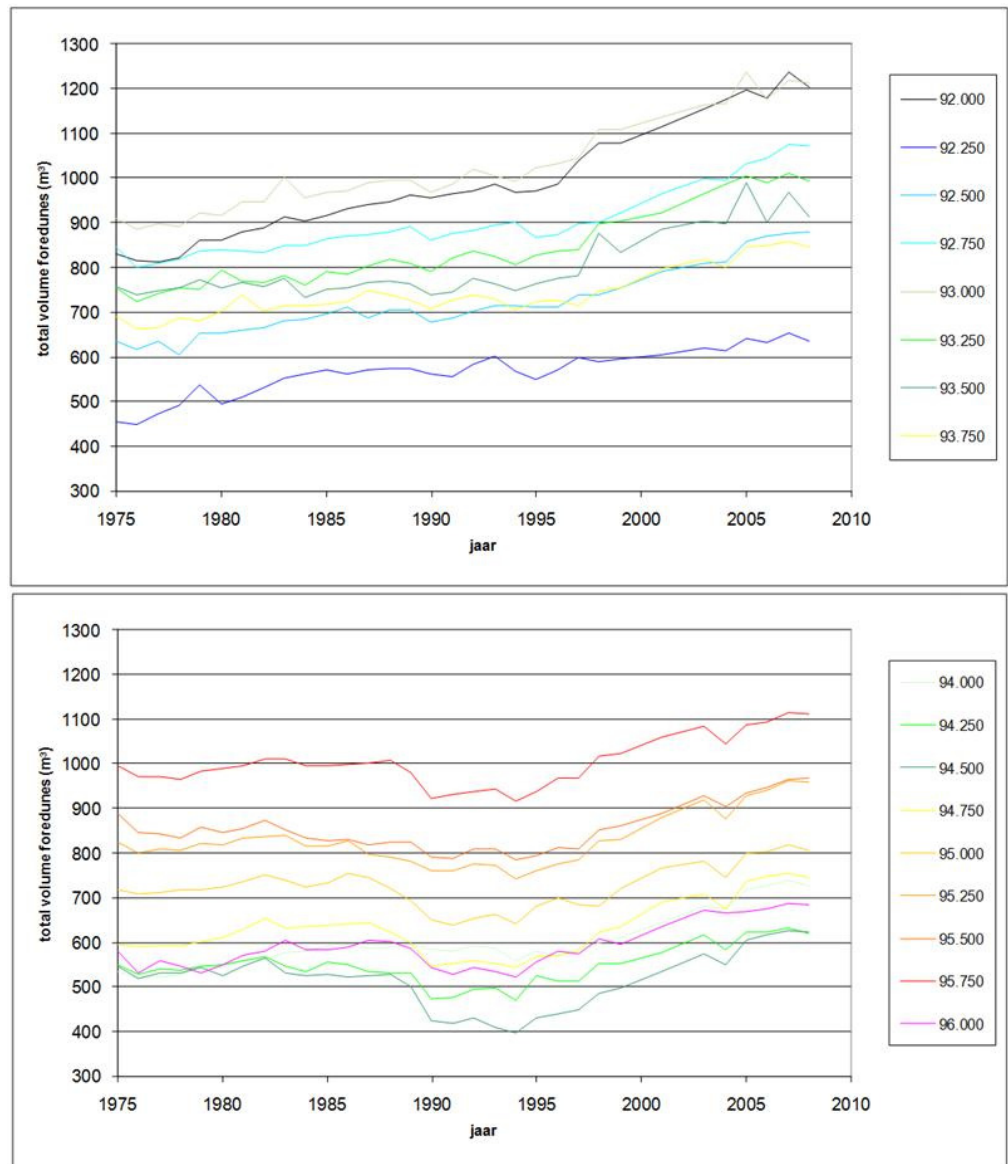
Heemskerk (RSP 48.50-51.00)



Langeveld (RSP 74.50-76.50)



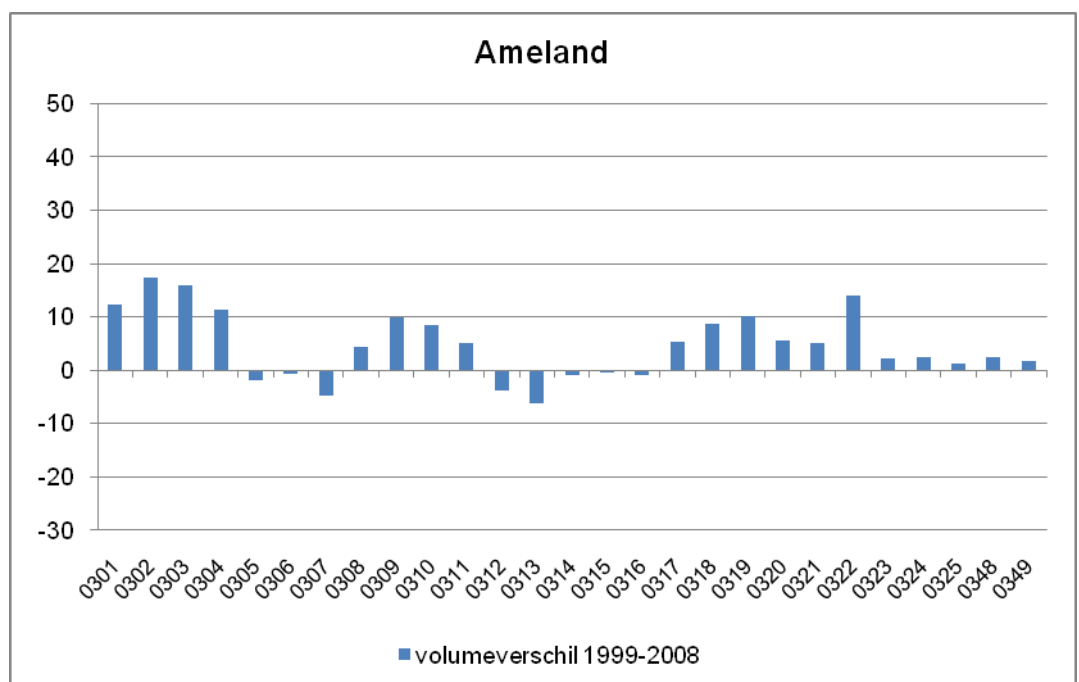
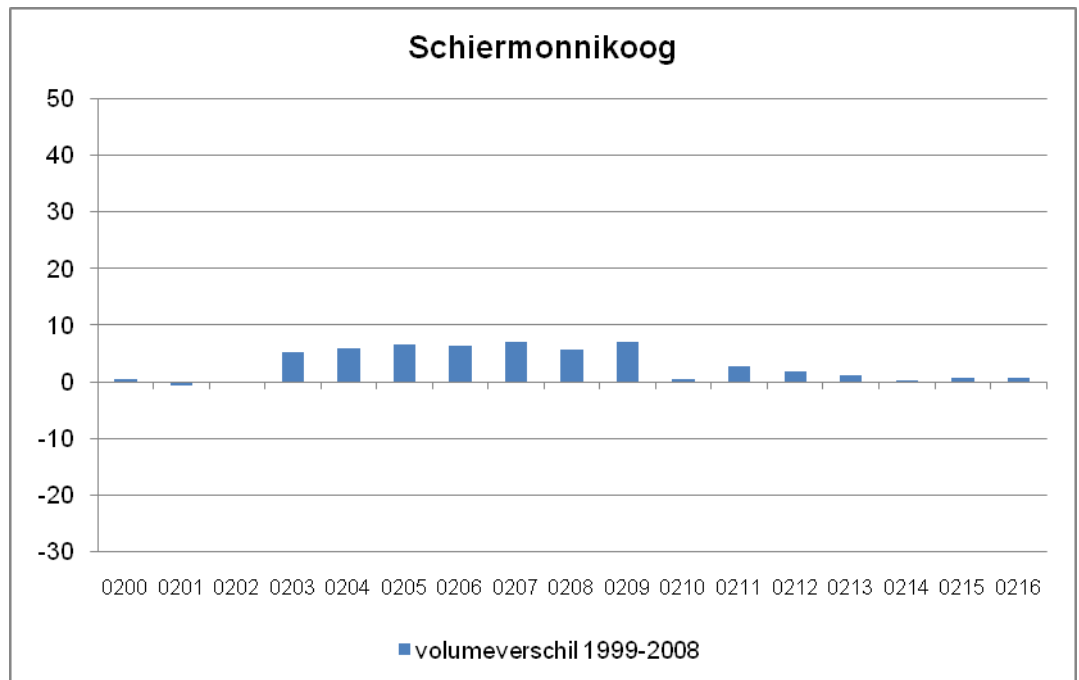
Wassenaar (RSP 92.00-96.00)

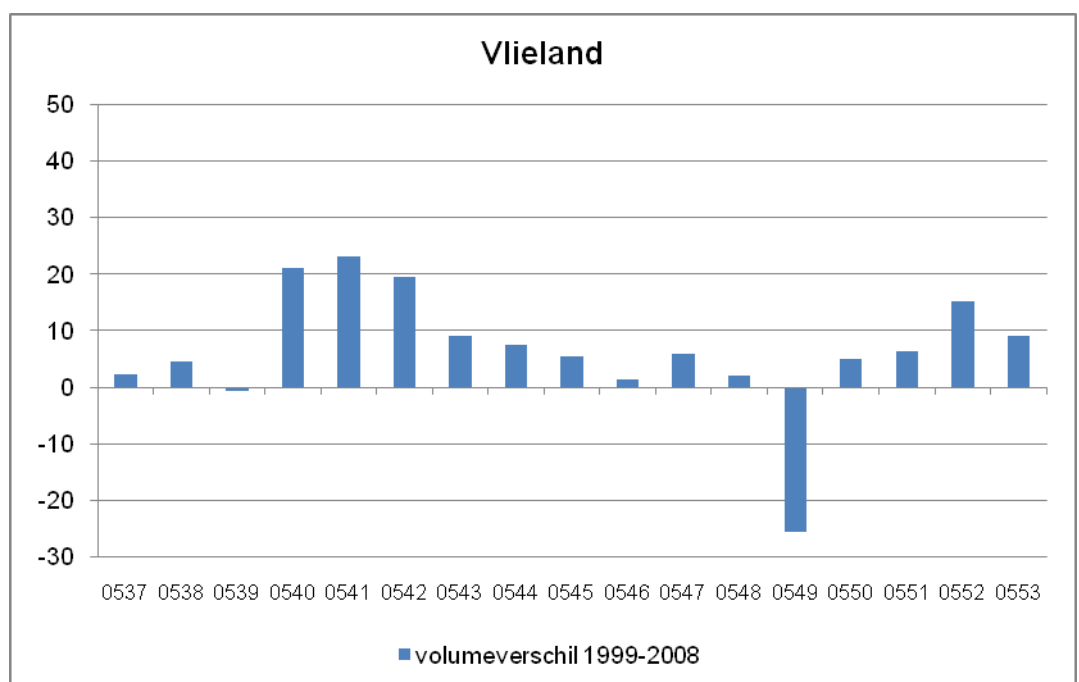
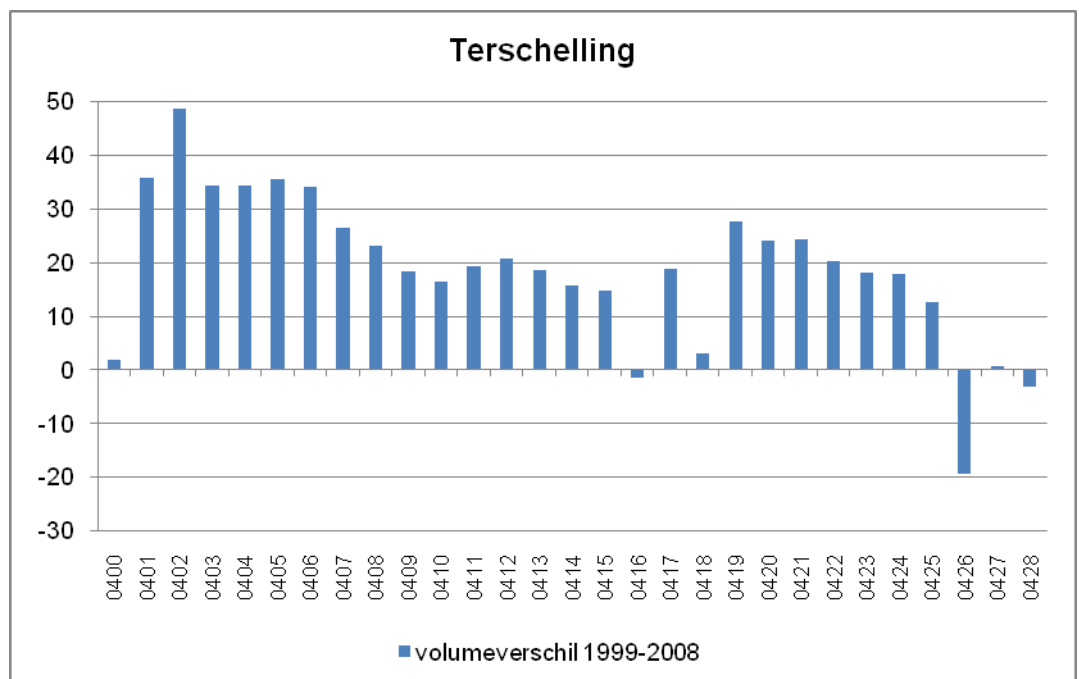


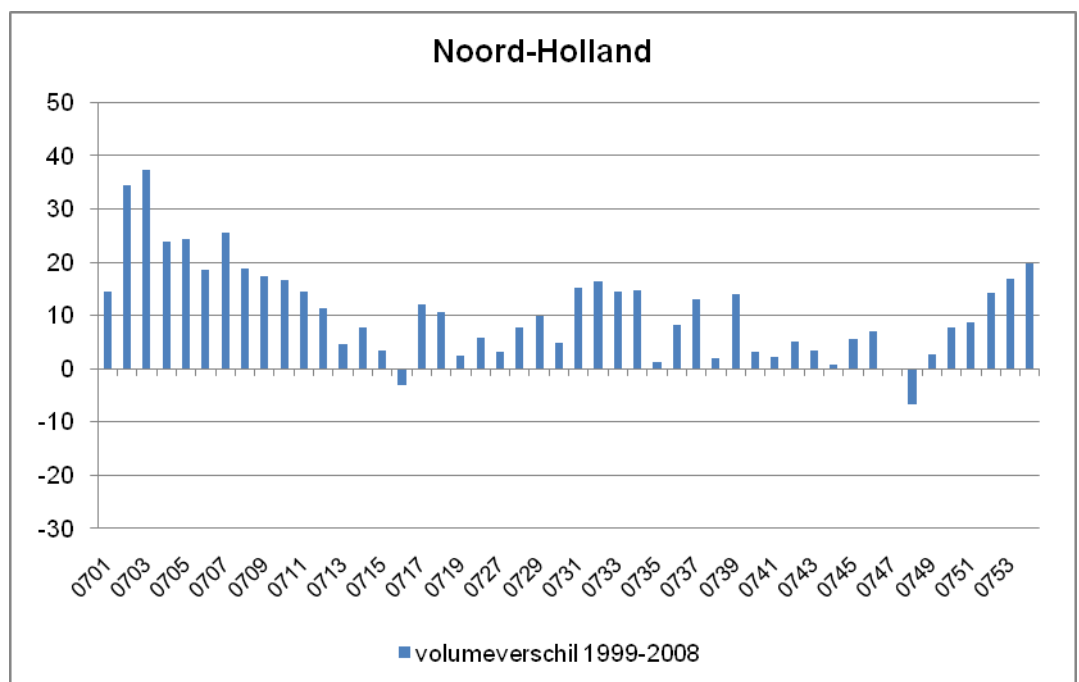
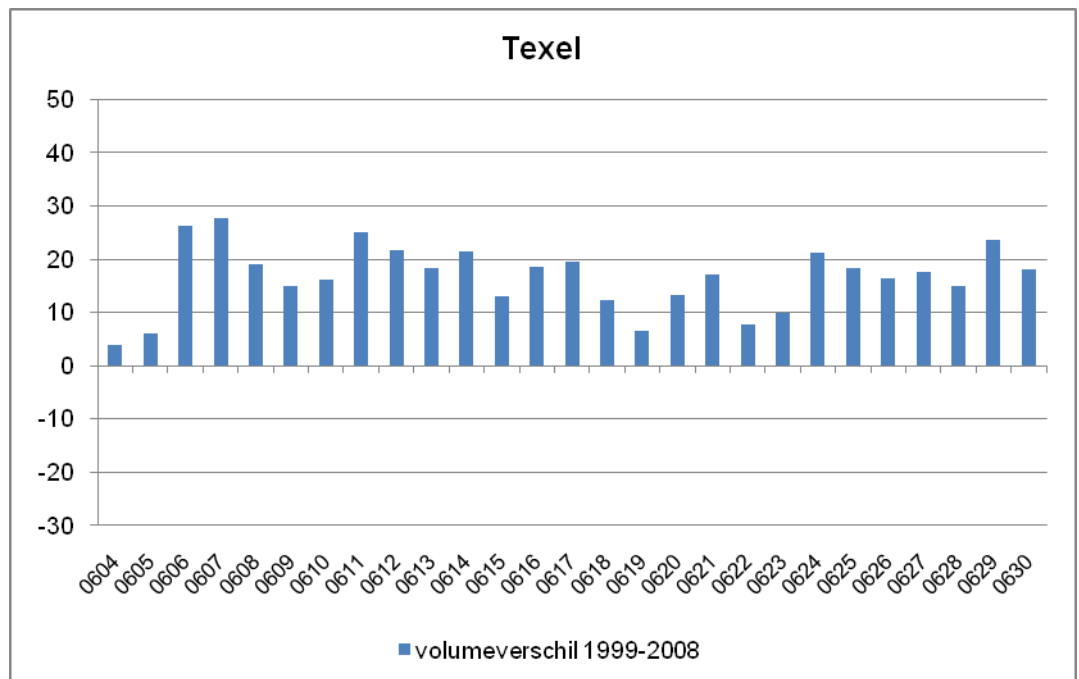
Bijlage B

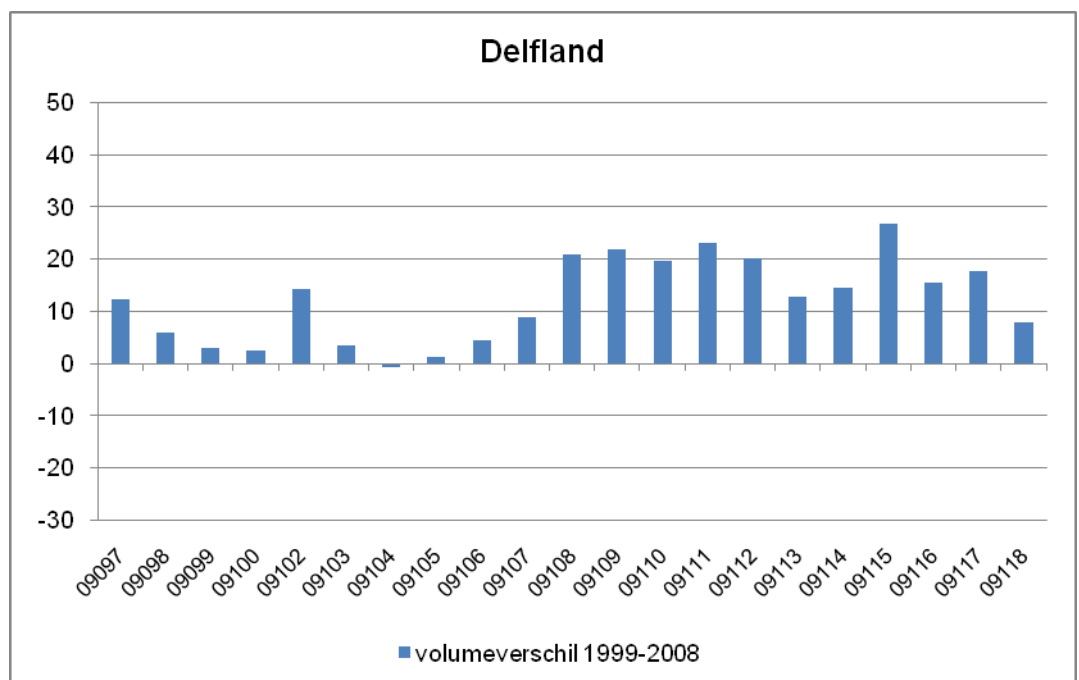
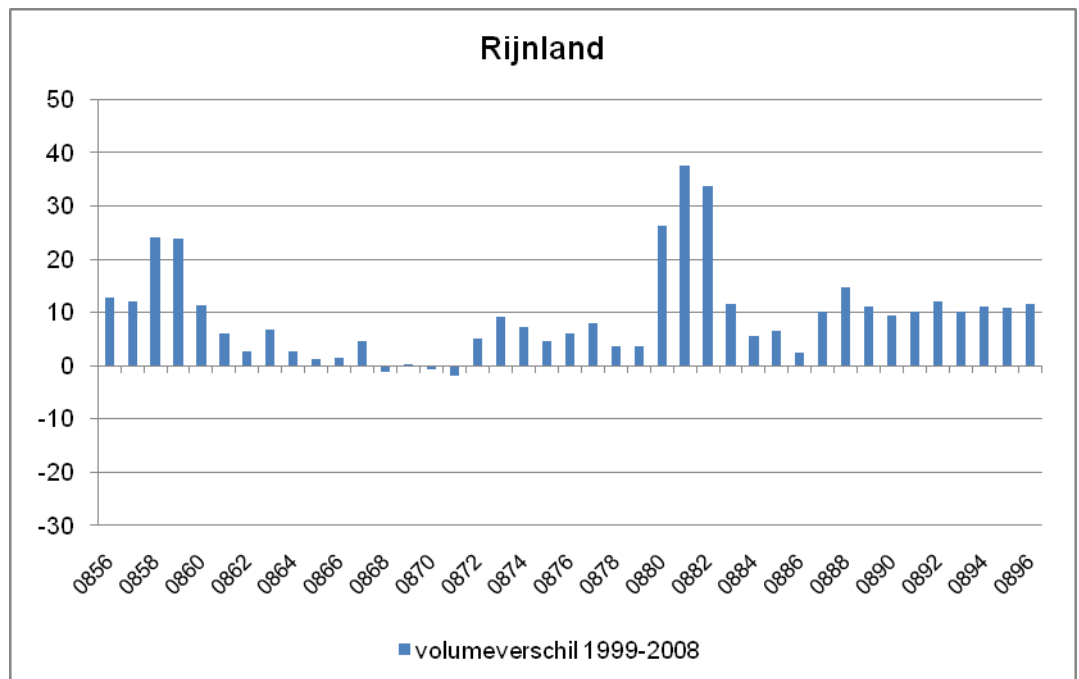
RESULTATEN VOLUMEBEREKENINGEN 1999-2008

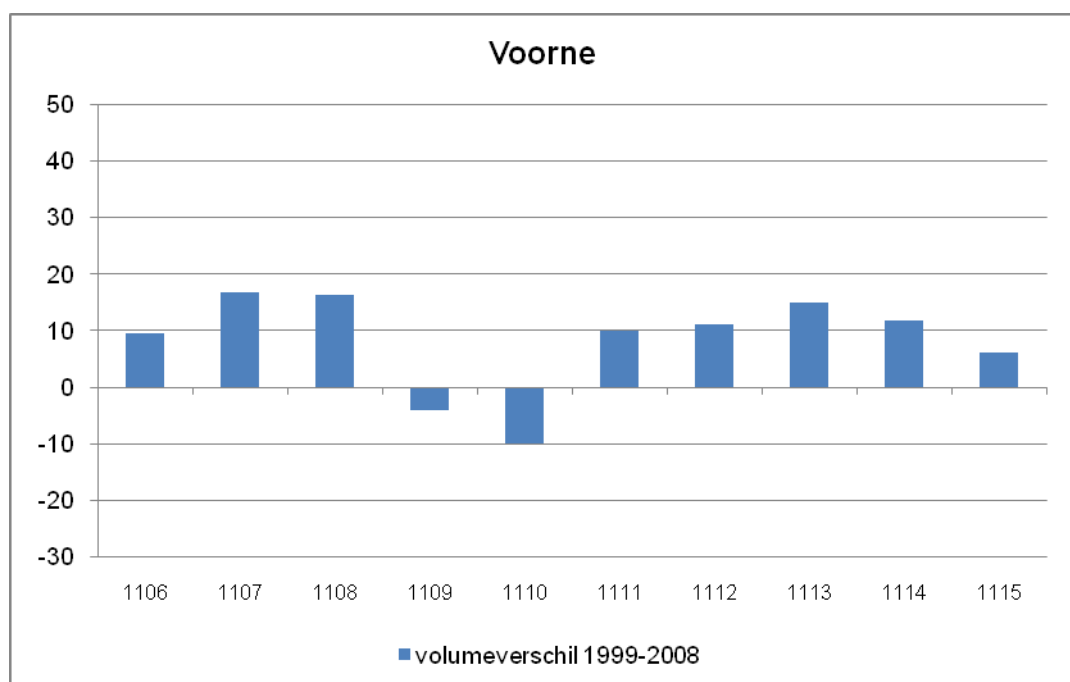
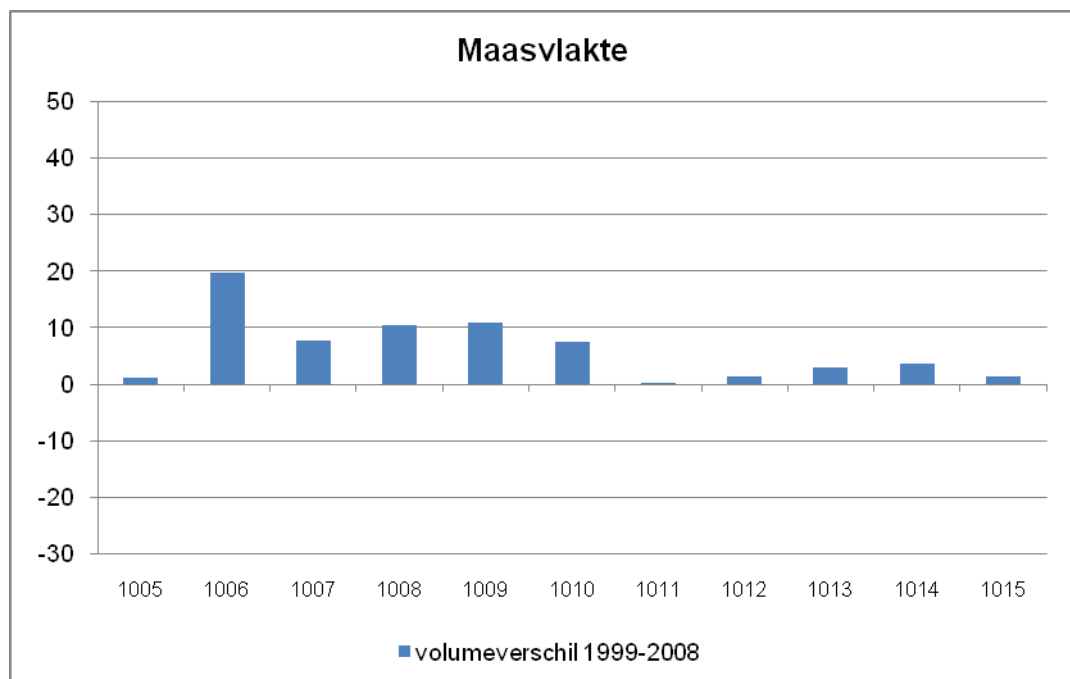
Alle resultaten in m³/m.jaar

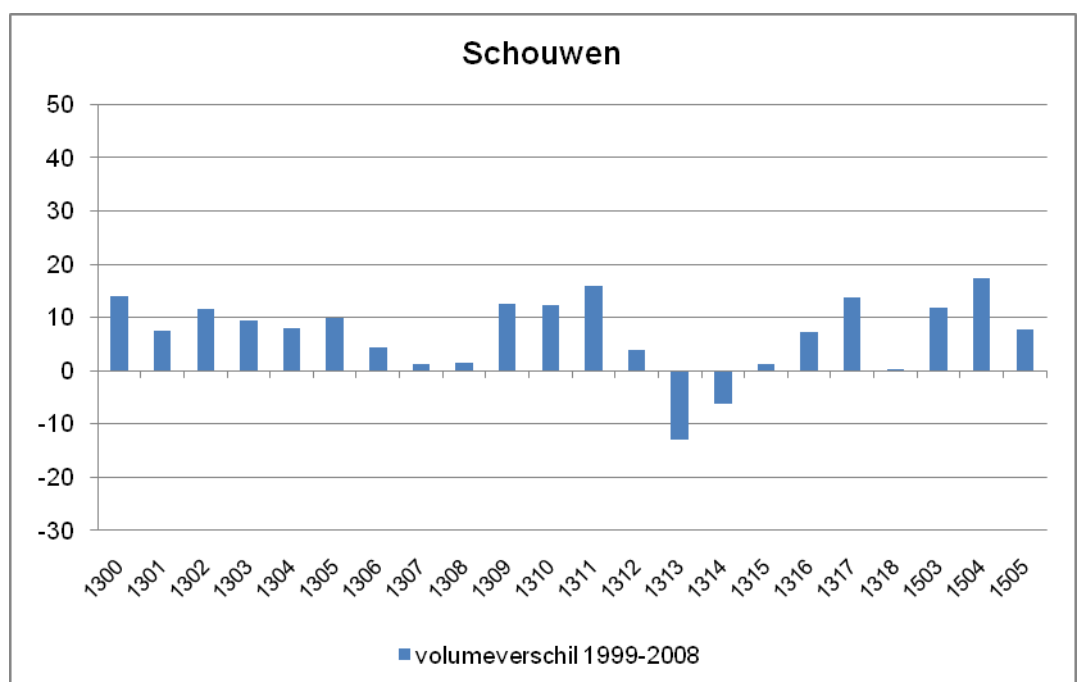
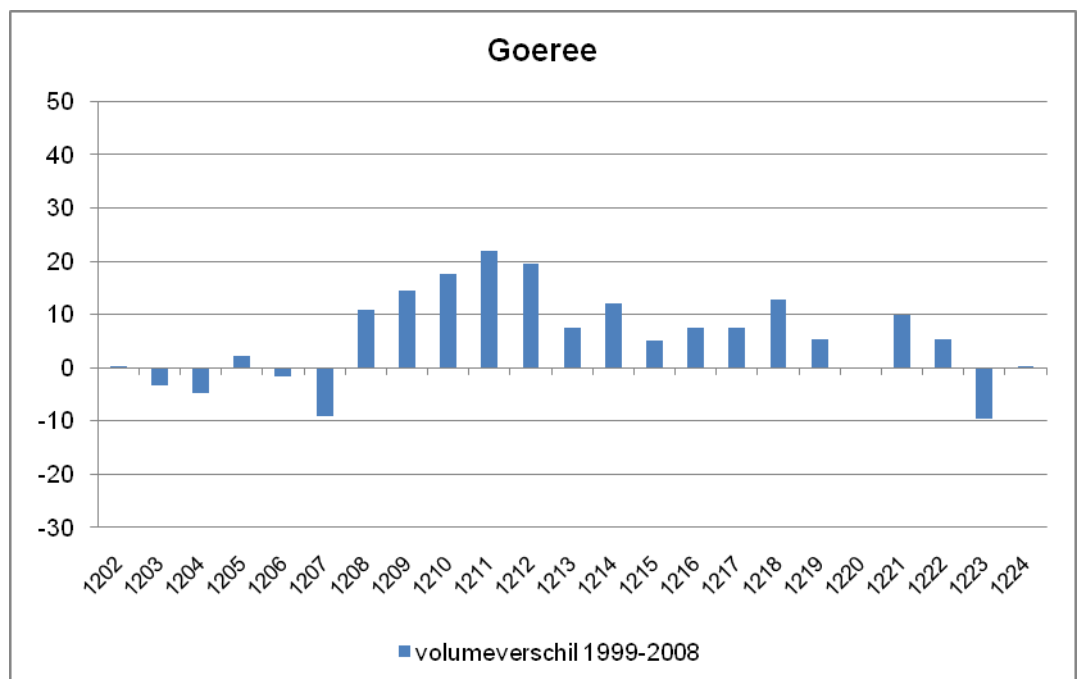


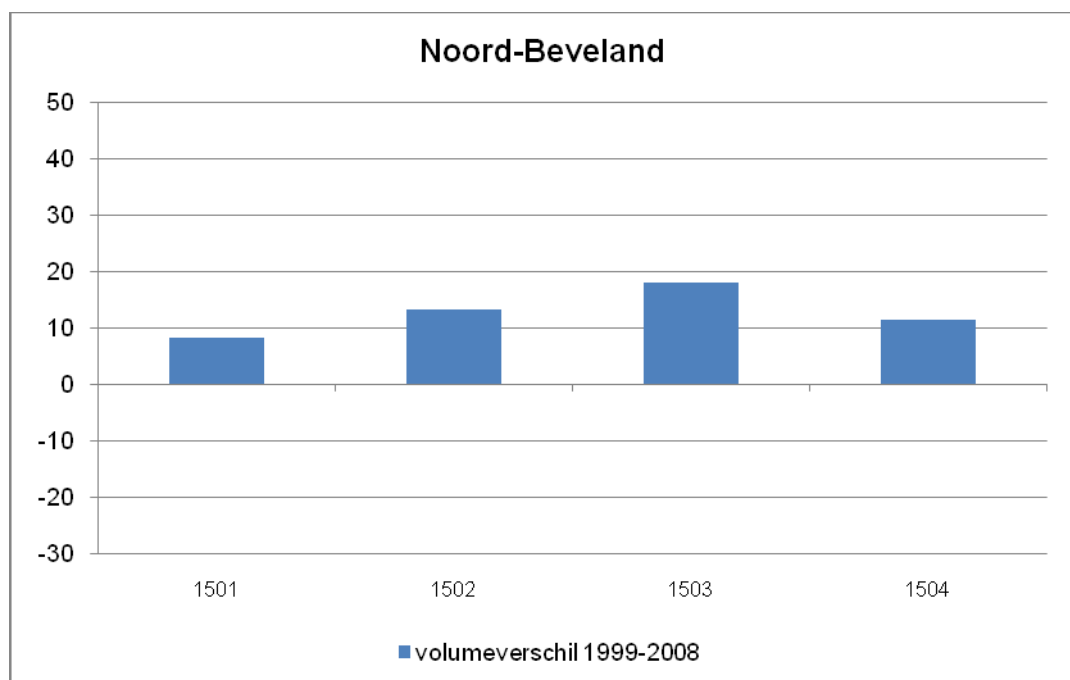
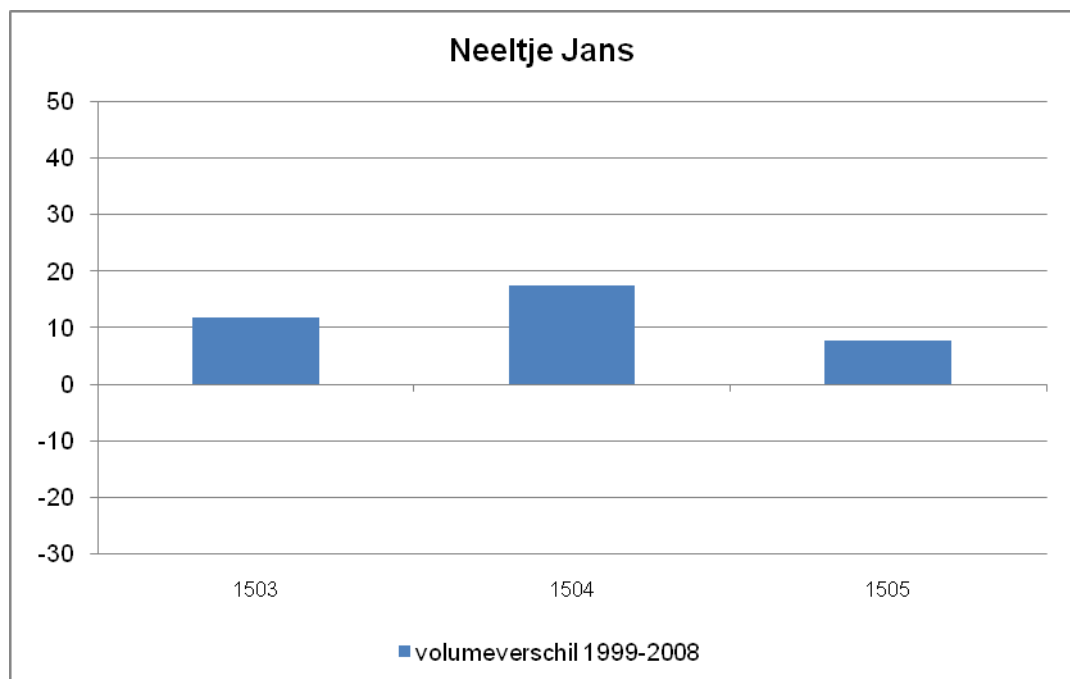


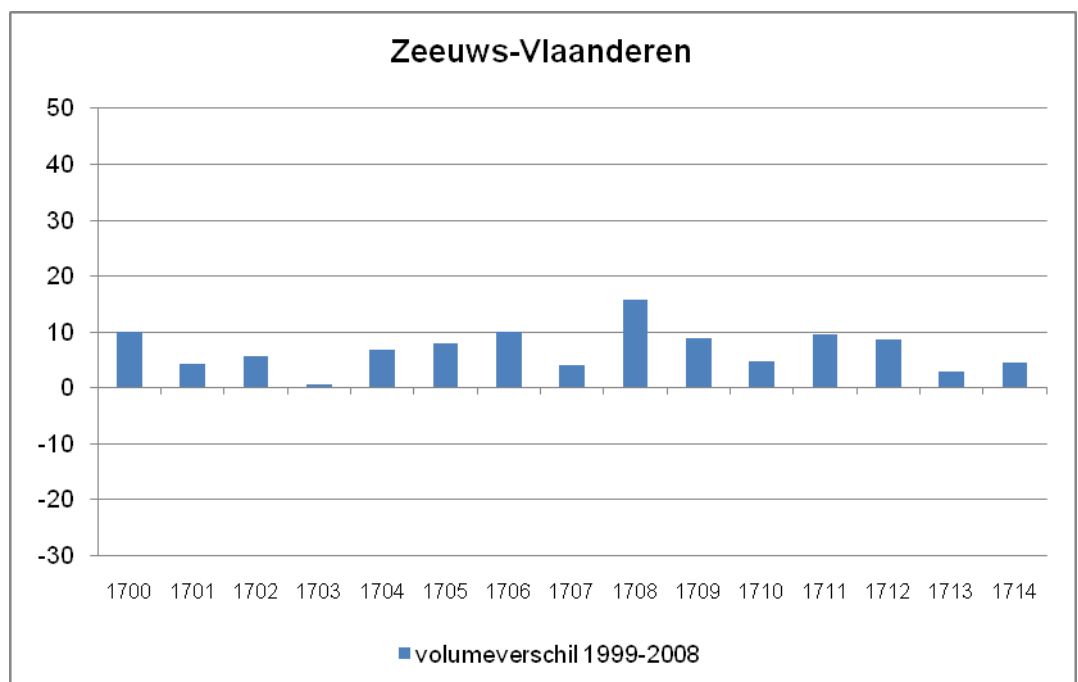
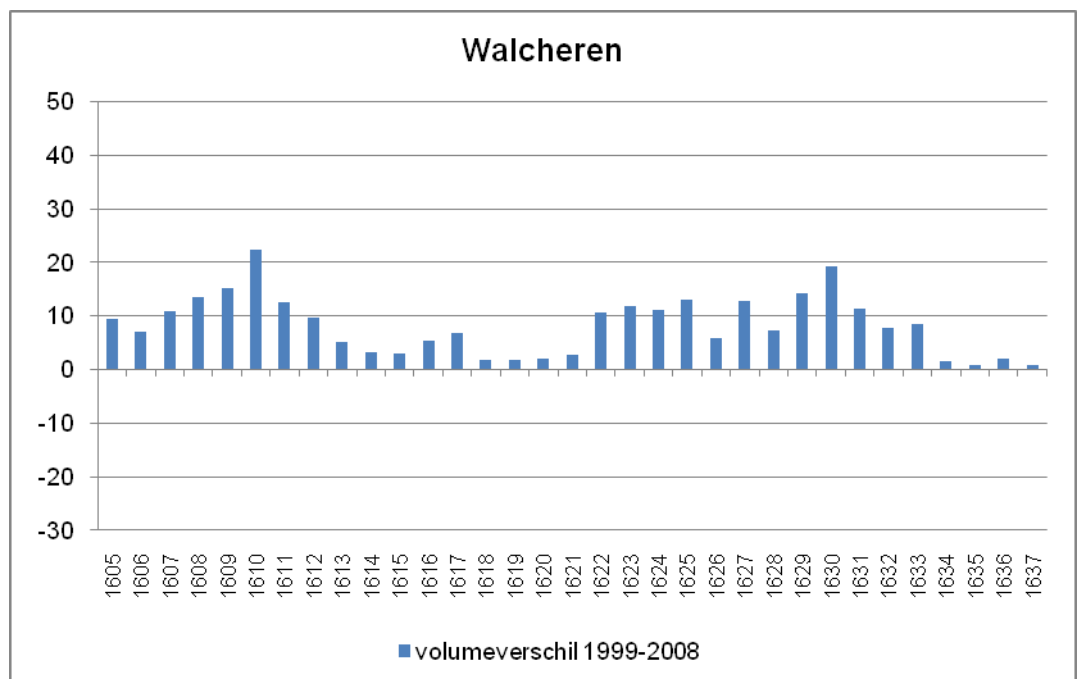






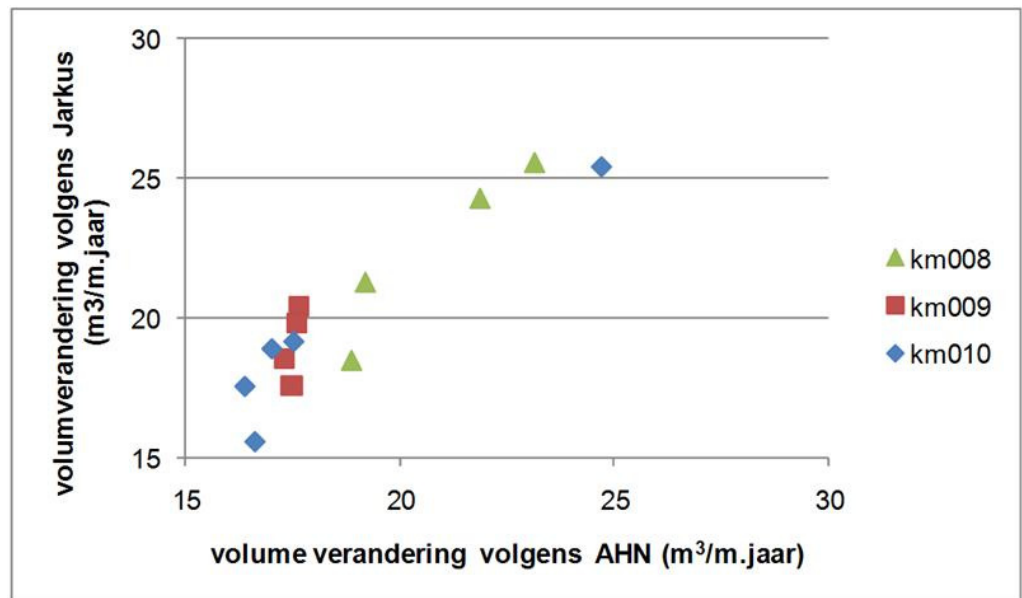




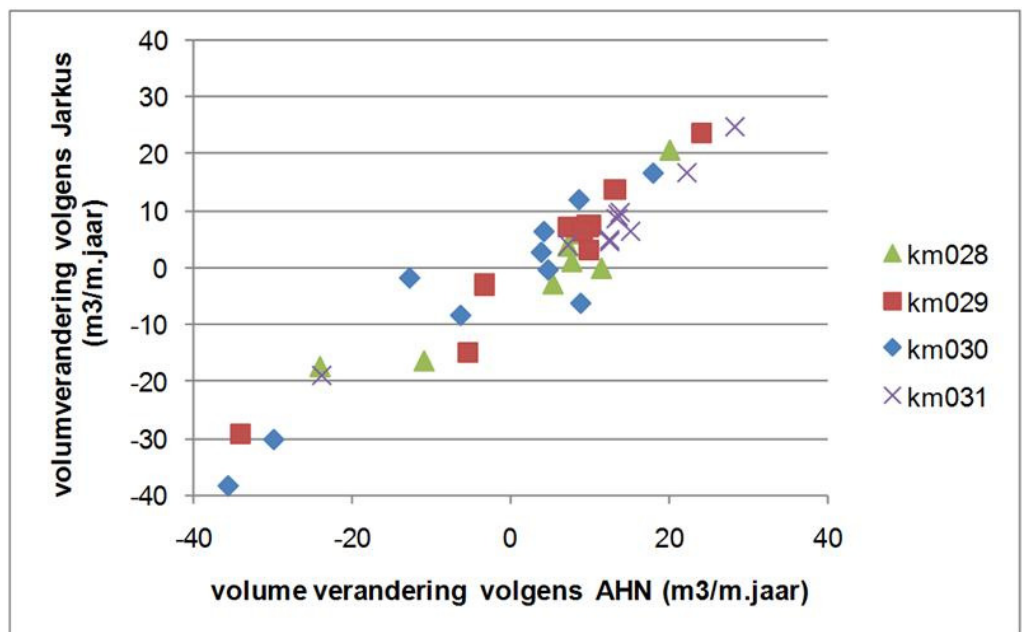


Bijlage C

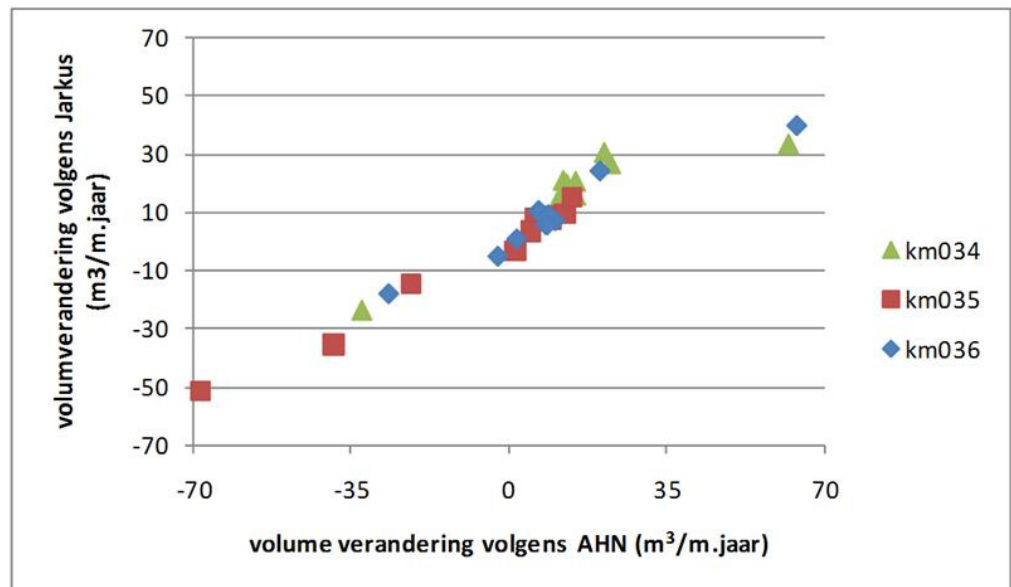
RELATIE VOLUMEBEREKENINGEN AHN-JARKUS



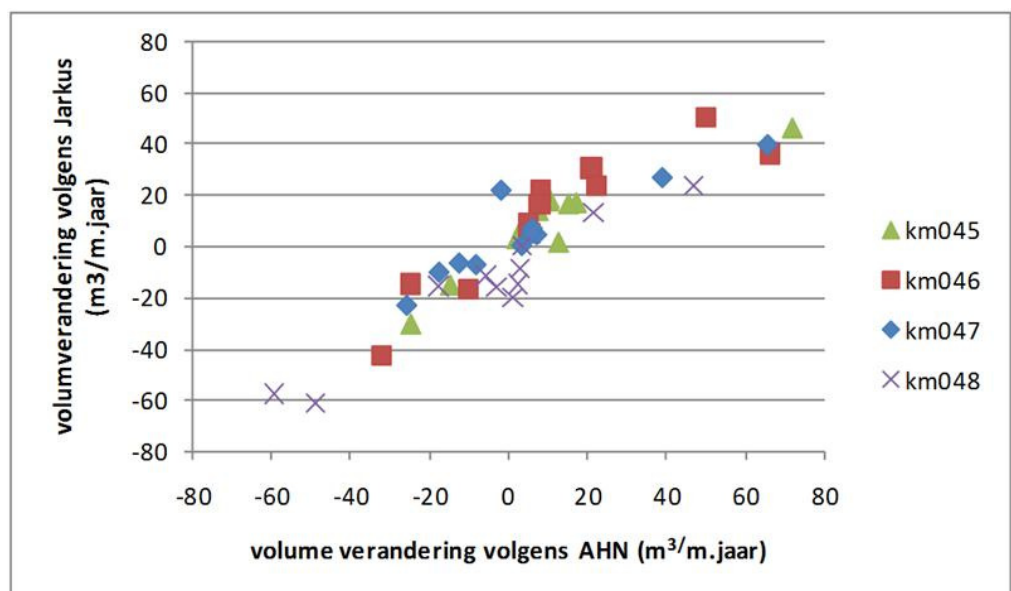
Correlatie volumeveranderingen volgens AHN en volgens Jarkus voor Groote Keeten



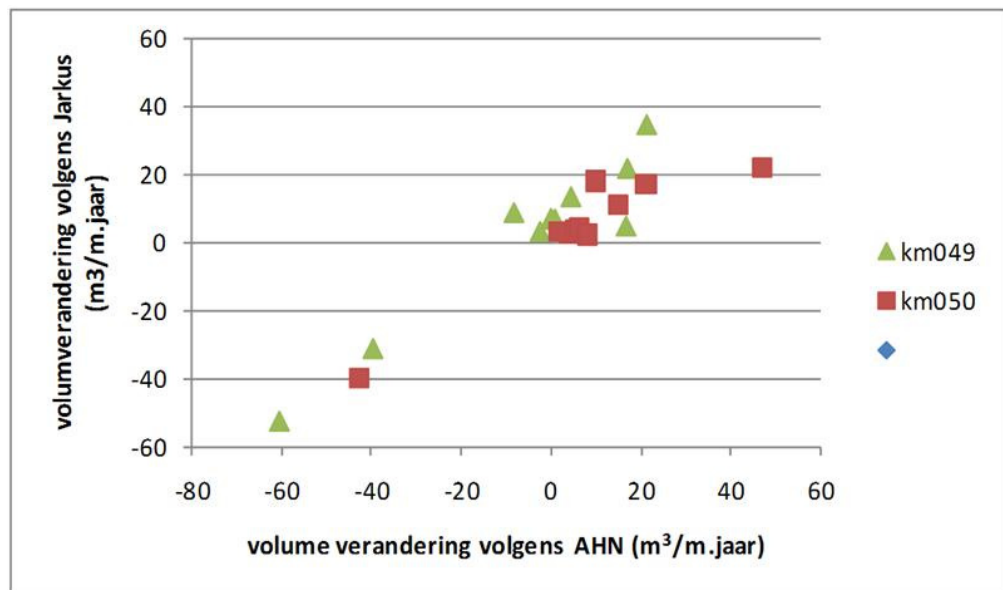
Correlatie volumeveranderingen volgens AHN en volgens Jarkus voor Schoorl



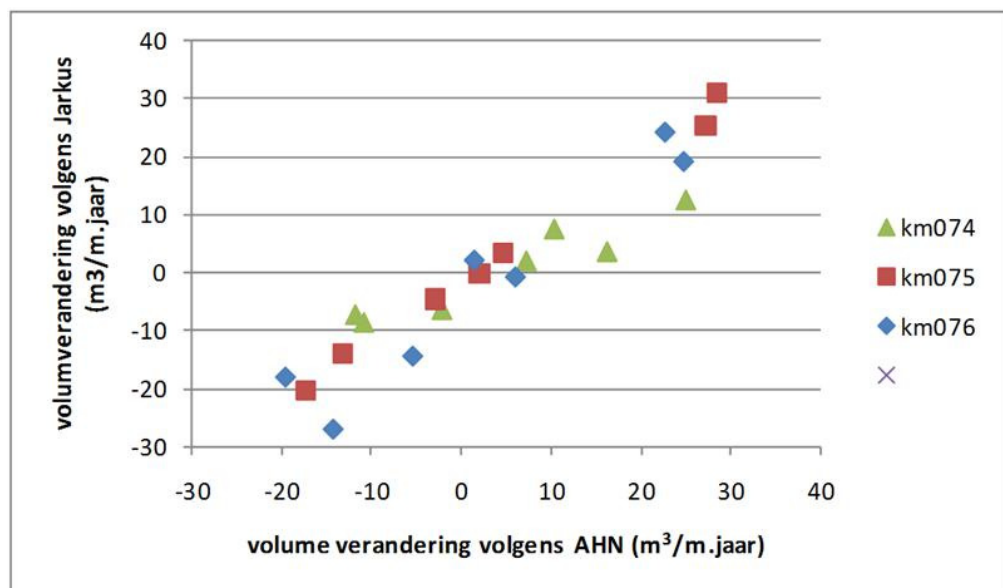
Correlatie volumeveranderingen volgens AHN en volgens Jarkus voor Bergen-Egmond



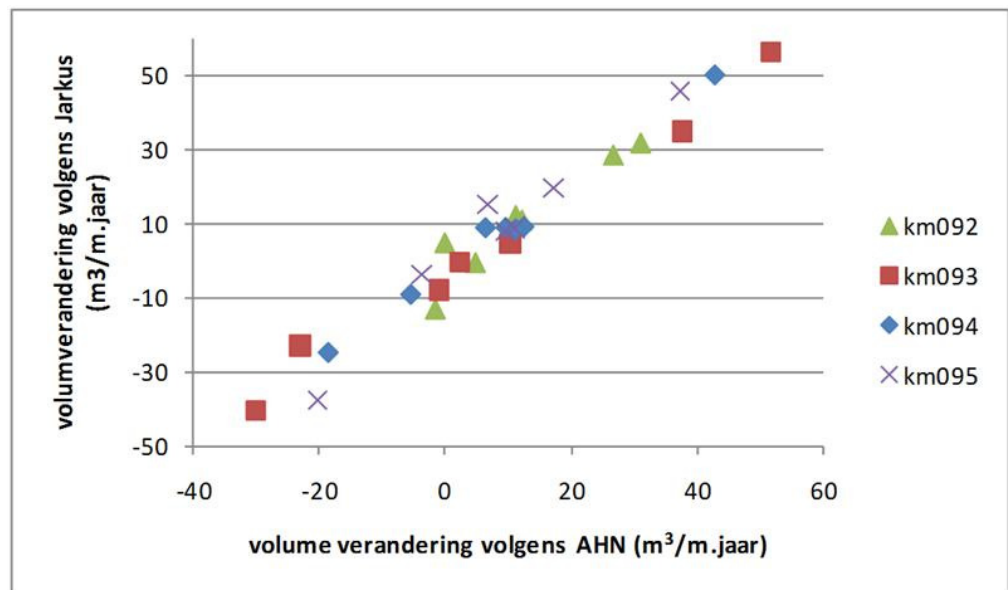
Correlatie volumeveranderingen volgens AHN en volgens Jarkus voor Castricum



Correlatie volumeveranderingen volgens AHN en volgens Jarkus voor Heemskerk

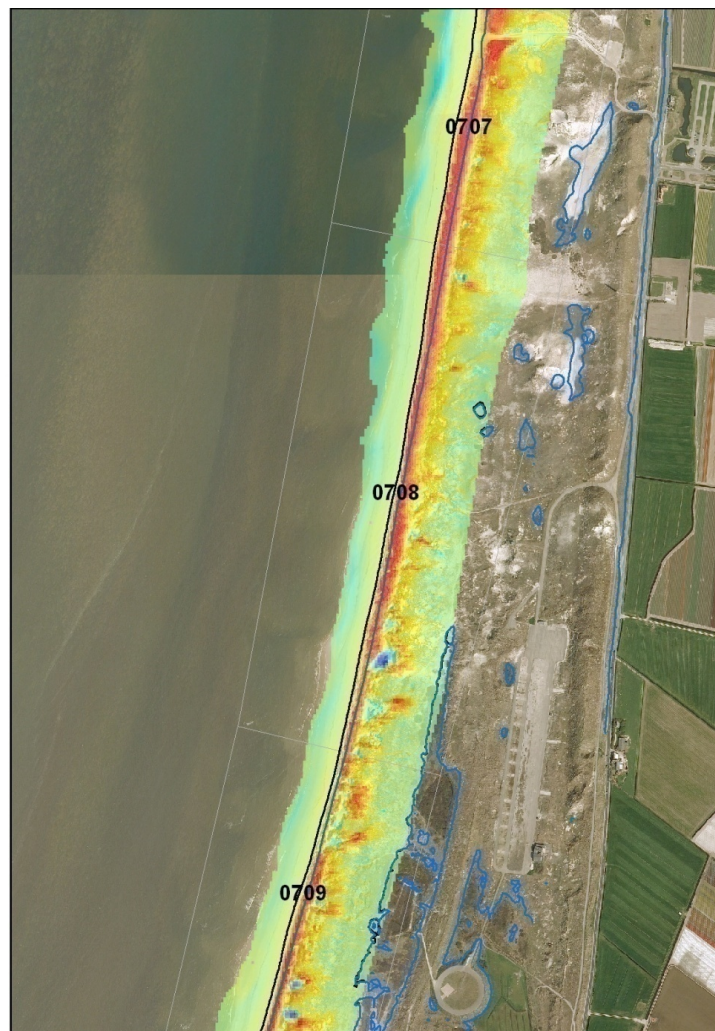
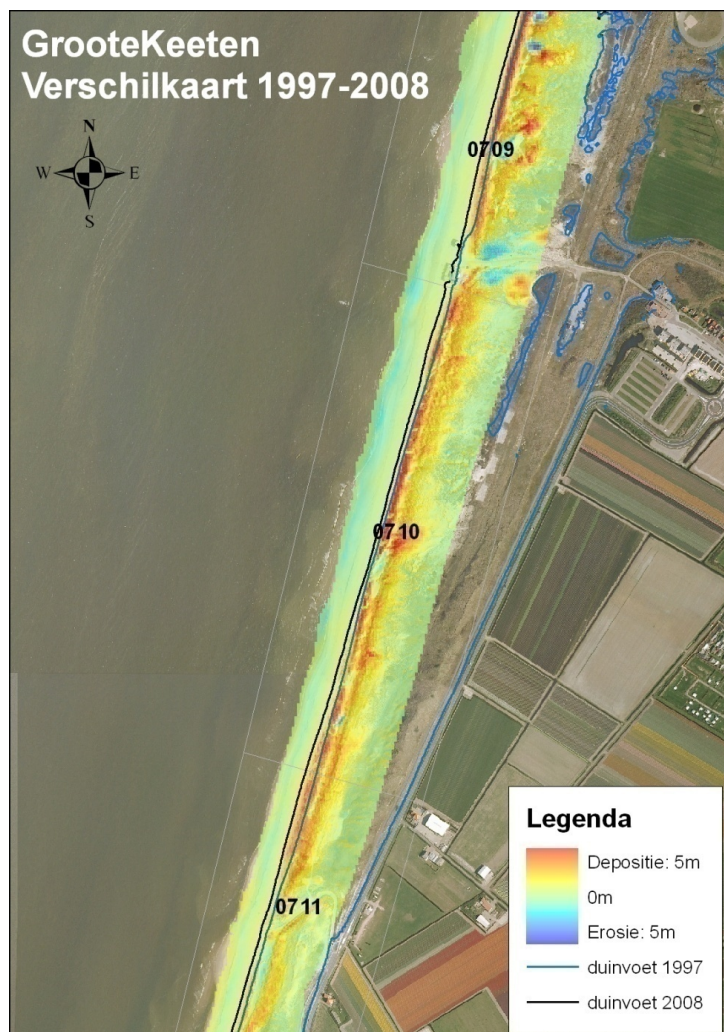


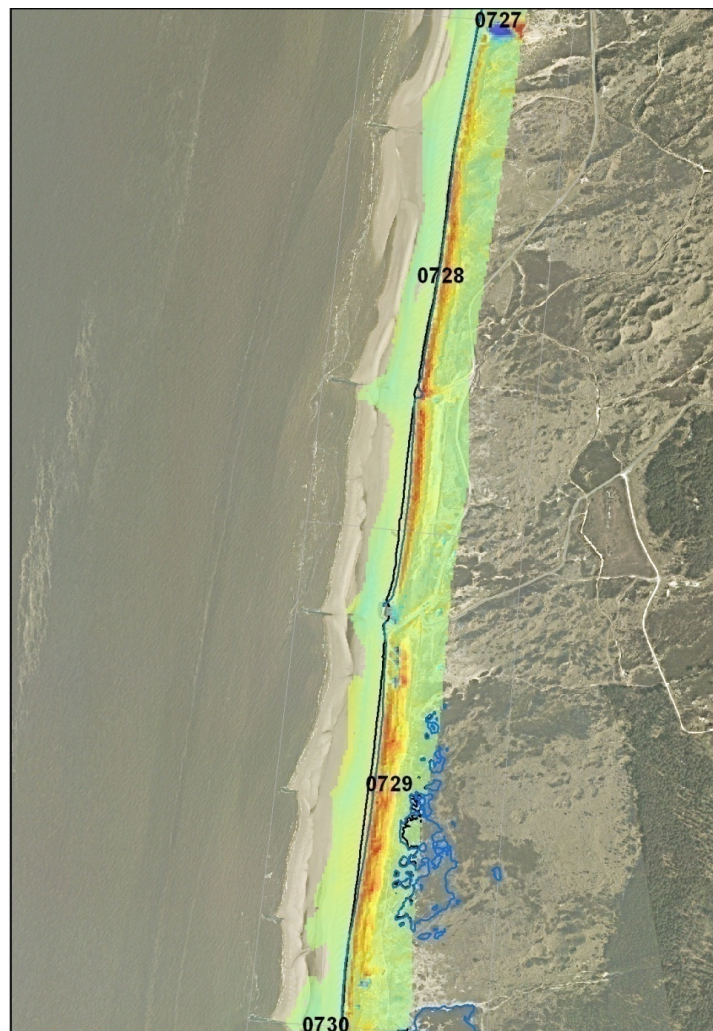
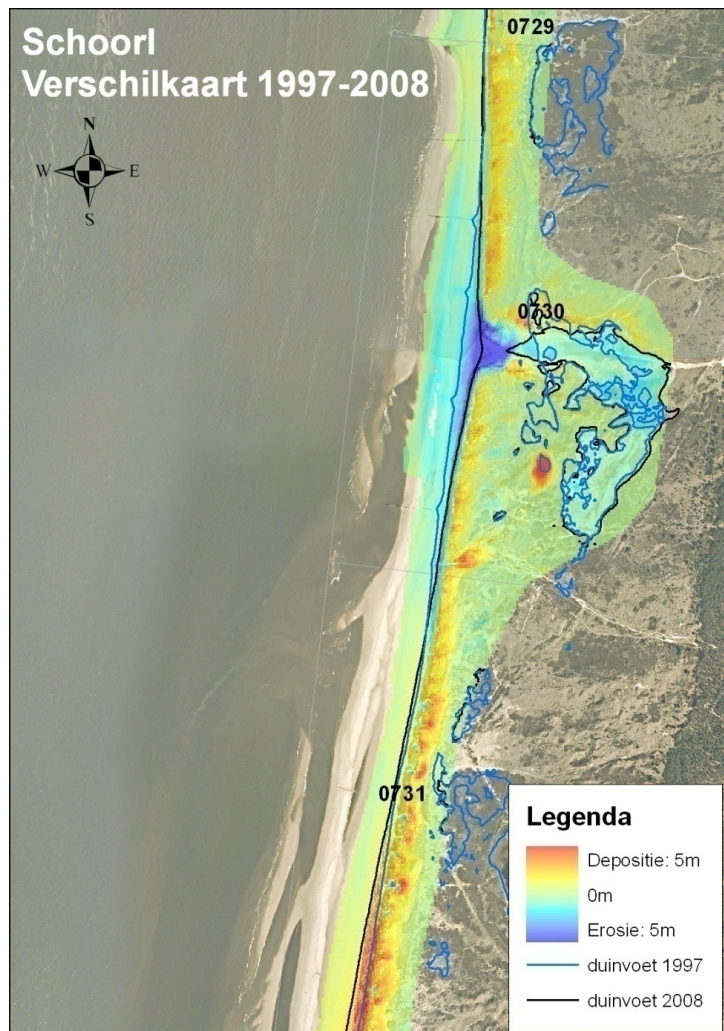
Correlatie volumeveranderingen volgens AHN en volgens Jarkus voor Langeveld

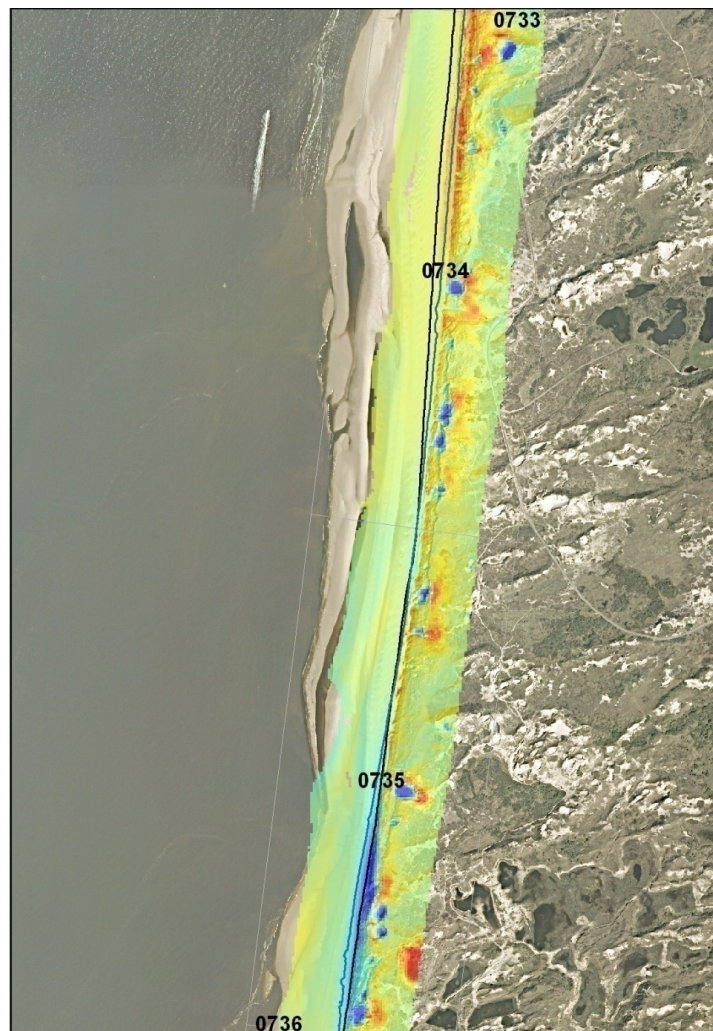
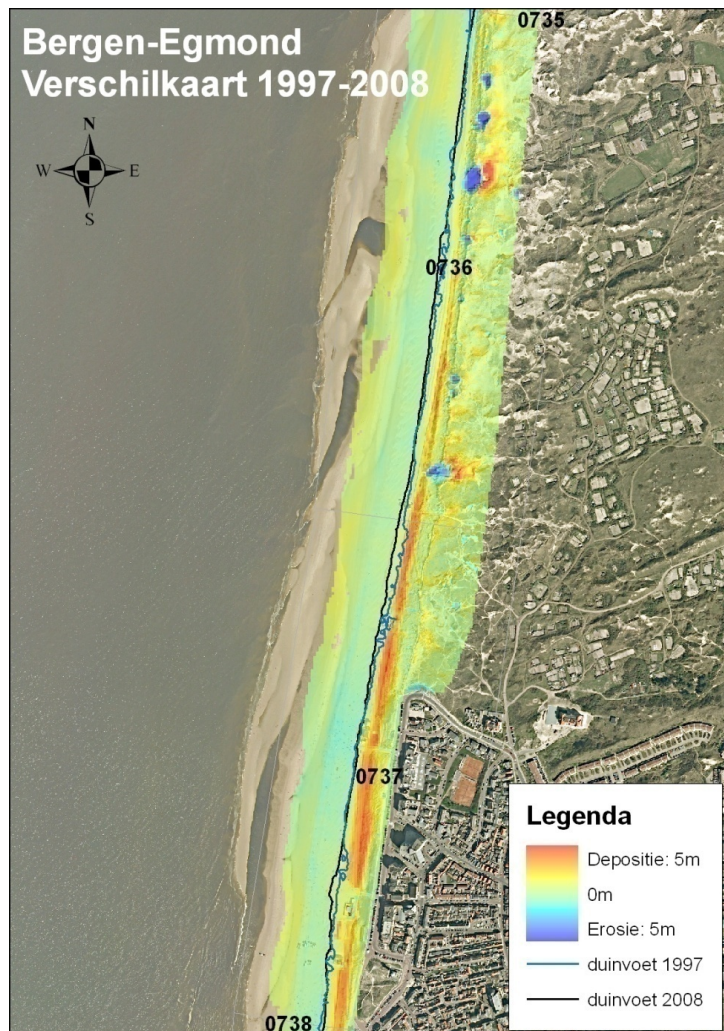


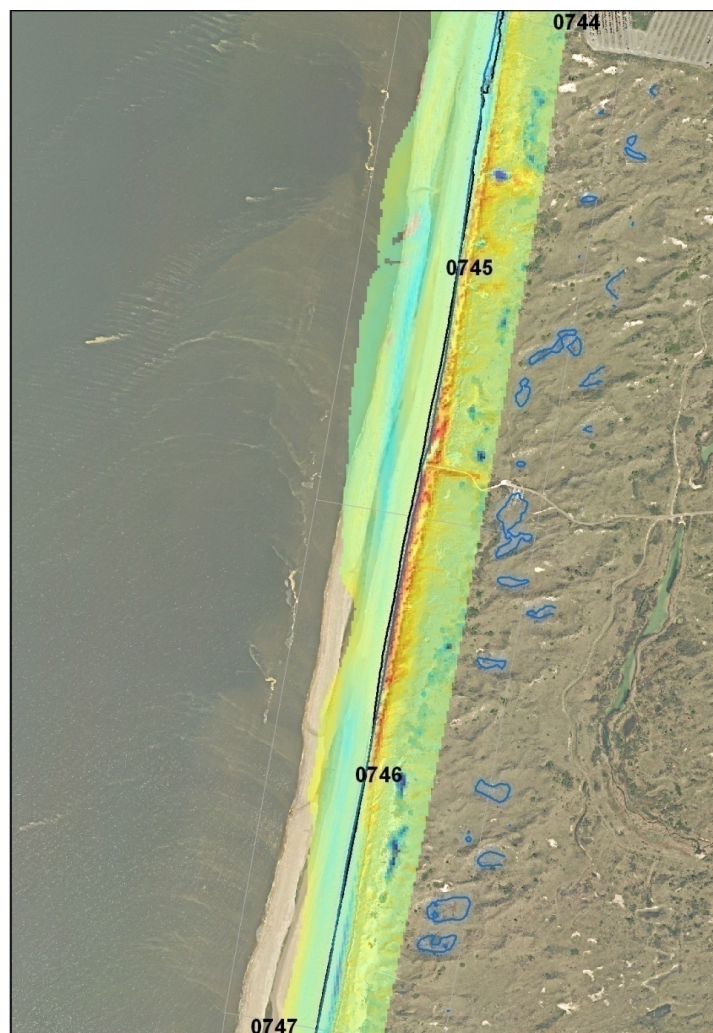
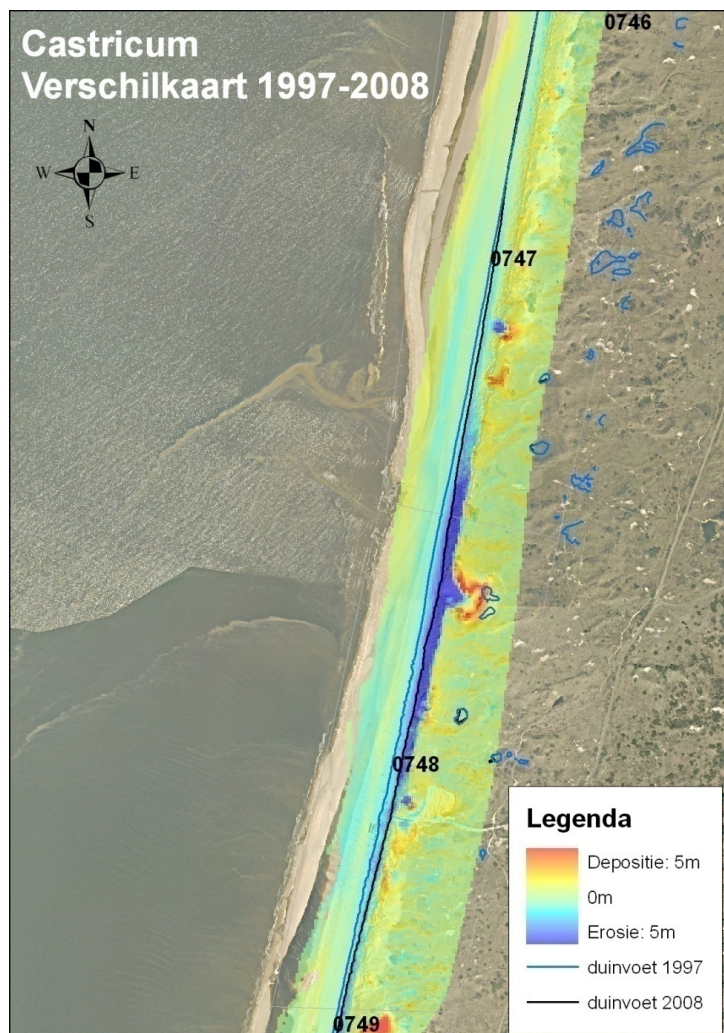
Correlatie volumeveranderingen volgens AHN en volgens Jarkus voor Wassenaar

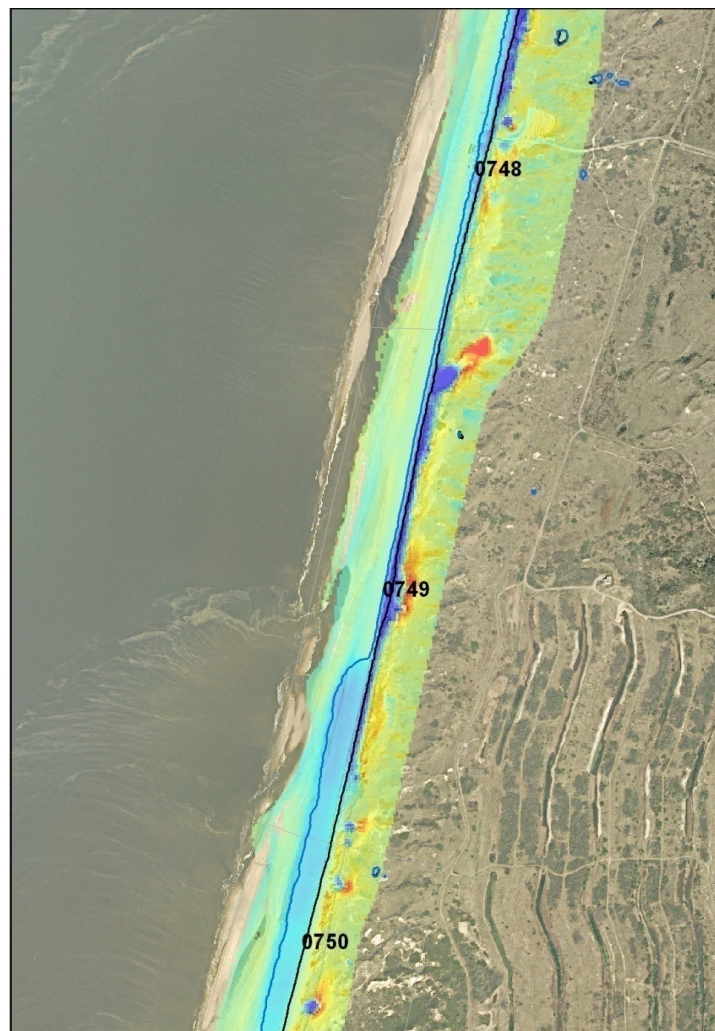
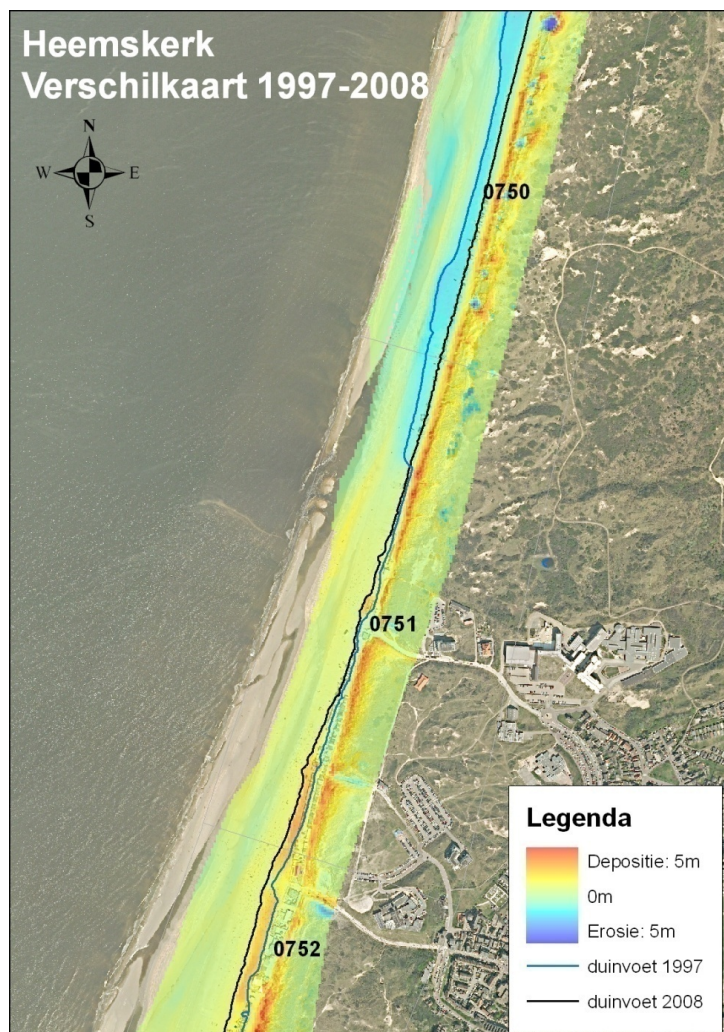
Bijlage D VERSCHILKAARTEN STUDIELOCATIES

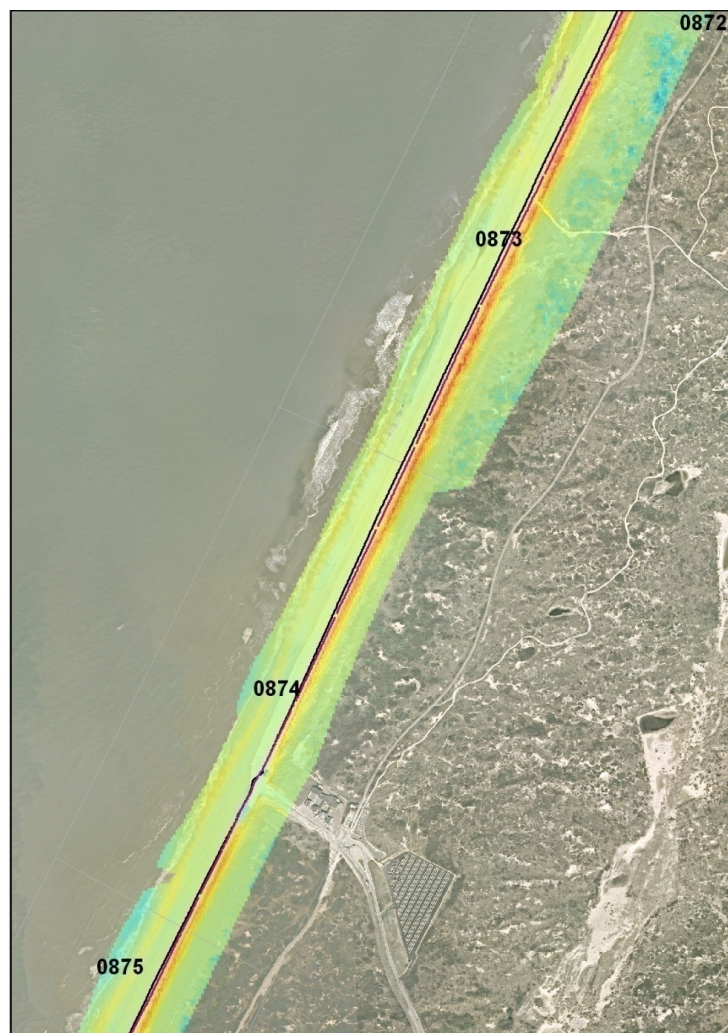
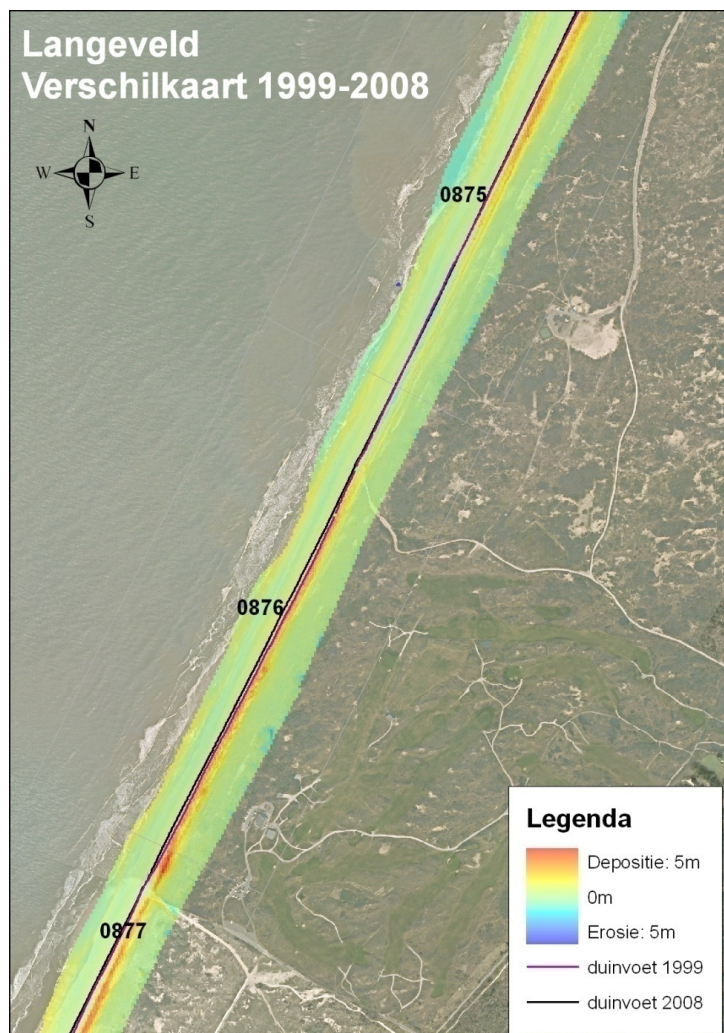


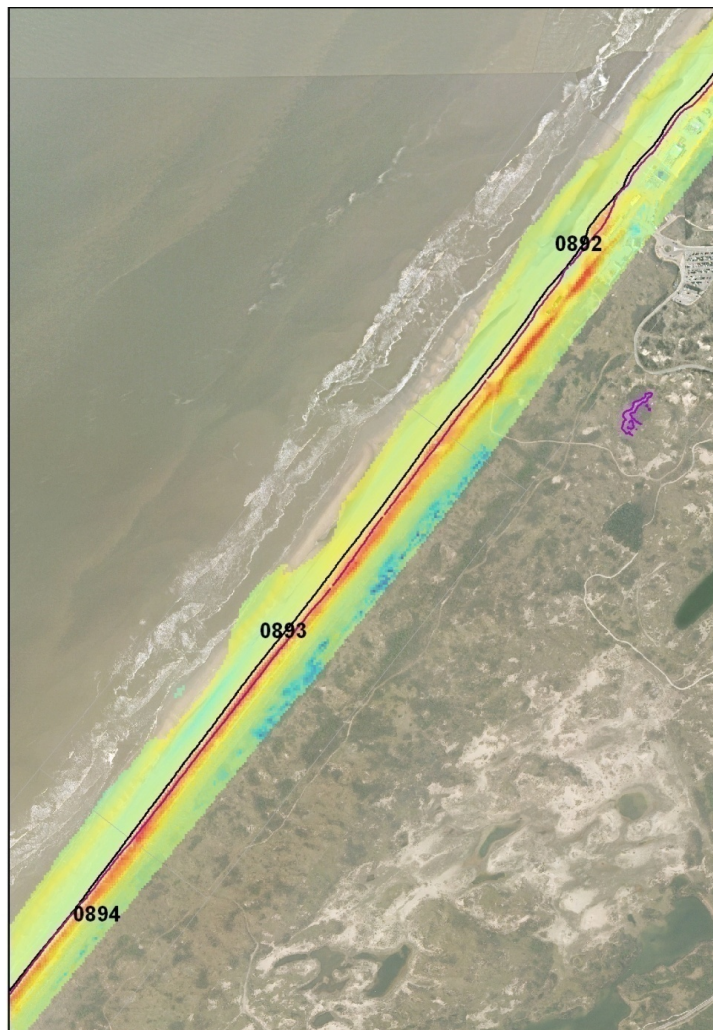
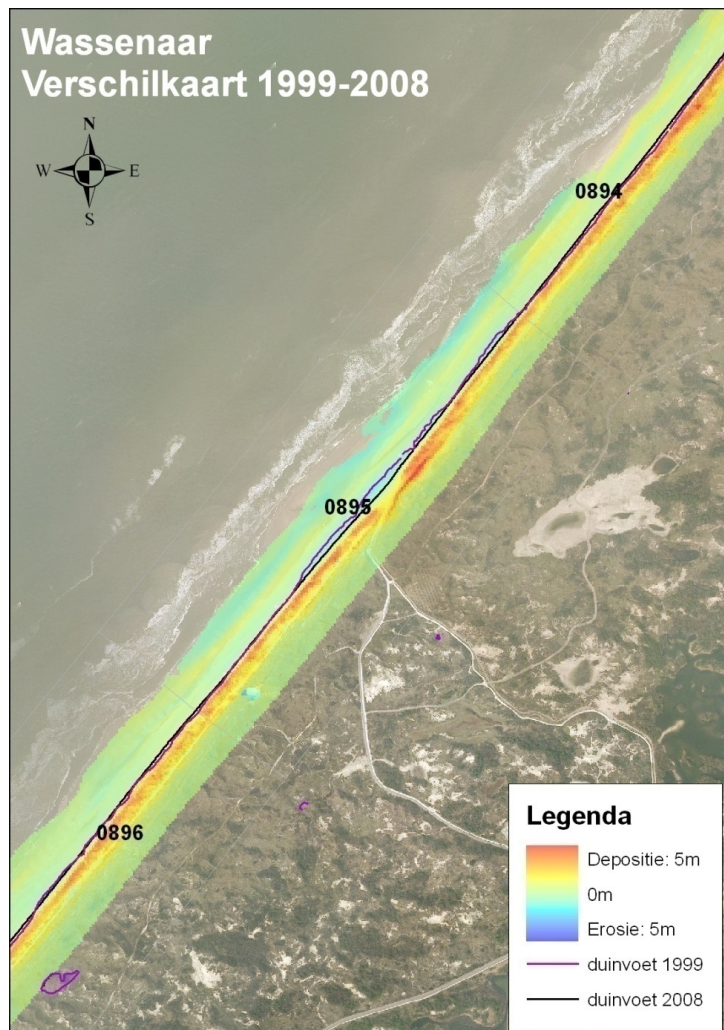












Bijlage E DYNAMIEK STUDIELOCATIES



