

Meetmethodiek eolisch zandtransport:

Het meten van overstuiving over de zeereep

Bachelor thesis

Tom Maatkamp

27-06-2014



Meetmethodiek eolisch zandtransport:

Het meten van overstuiving over de zeereep

Auteur:

Tom Maatkamp
s1166085
t.w.p.maatkamp@student.utwente.nl
Bachelor Civiele Techniek Universiteit Twente (B-CiT)
Bachelor Eindopdracht Witteveen+Bos

Begeleiders Witteveen+Bos (Rotterdam):

Ir. Maarten Jansen
Dr. Ir. Marije Smit
Drs. Ing. Ilse Nelisse-Rovers

Begeleiders Universiteit Twente (Enschede):

Ir. Lianne van der Weerd
Dr. Kathelijne Wijnberg

Datum:

27-06-2014

Afbeelding titel pagina:

<http://www.vildaphoto.net/photo/58536>, Lars Soerink

Samenvatting

In het duingebied achter de Zandmotor vindt momenteel monitoring van eolisch zandtransport, of overstuiving, plaats door inzet van PVC Zandvangers. Hiermee wordt het effect van een dergelijke mega-suppletie, via een mogelijke verandering in de hoeveelheid overstuiving op de ecologie bepaald. Vanuit Witteveen+Bos is gevraagd om meer onderzoek te doen naar de toepasbaarheid en effectiviteit van deze meetmethode en van de methode “knikkerbakken” en de saltifoon. De doelstelling van dit onderzoek is:

Inzicht verkrijgen in de toepasbaarheid en effectiviteit van drie meetmethodieken voor het meten van overstuiving over de zeereep te weten: PVC zandvangers, “knikkerbakken” en de saltifoon.

Er zal aandacht worden besteed aan de verschillen maar ook de overeenkomsten tussen deze drie meetmethodieken. Met toepasbaarheid wordt bedoeld of de meetmethodiek meet waarvoor deze ontworpen is. Hoe goed de meetmethodiek voldoet aan het beoogde doel wordt aangeduid met de term effectiviteit.

Om deze doelstelling te kunnen bereiken zijn drie onderzoeksvragen in dit onderzoek beantwoord, namelijk

- (1) Welk element van het eolisch zandtransport wordt in theorie gemeten door elk van de drie meetmethoden en wat betekent dit voor toepasbaarheid voor het meten van overstuiving over de zeereep?
- (2) Hoe goed is elk van de drie meetmethoden in staat om het onderdeel van het transport proces te meten waarvoor die methode bedoeld is (d.w.z. *effectiviteit* van de meetmethode)? Zowel qua ontwerp als qua meetnauwkeurigheid.
- (3) Hoe sluit in *de praktijk* de veldmonitoring van overstuiving (bij de Zandmotor) aan bij de theorie over *toepasbaarheid en effectiviteit*?

Door het doen van literatuuronderzoek en de interpretatie die heeft plaats gevonden van afgenomen interviews bij dhr. S. Arens, dhr. M. Riksen en dhr. S. de Vries is een beeld verkregen van de toepasbaarheid en effectiviteit van de verschillende methoden. Daarna is door data-analyse van metingen door PVC zandvangers in het duin achter de Zandmotor, en metingen in een nabij gelegen transect van de methode “knikkerbakken” bij Solleveld, gekeken hoe de toepasbaarheid en effectiviteit in het veld aansluit bij de beoogde “theoretische” toepasbaarheid.

In “theorie” lijken de methode “knikkerbakken” (MDCO) en de PVC zandvangers beide toepasbaar voor het meten van overstuiving over de zeereep. De saltifoon is niet toepasbaar voor het meten van overstuiving omdat deze niet in staat is om suspensie transport te meten. De saltifoon is alleen geschikt, rekening houdend met veel beperkingen, voor het meten van saltatie intensiteit en het daarmee inzicht geven in de factoren die een rol spelen bij het zandtransport op lokale schaal. De PVC zandvanger en de methode “knikkerbakken” (MDCO) geven beide inzicht in een andere component van overstuiving over de zeereep. De PVC zandvanger geeft een indicatie van het transport van sediment. De methode “knikkerbakken” geeft inzicht in de werkelijke maat van depositie. Het blijft de vraag of beide metingen wel goed te koppelen zijn aan de effecten van overstuiving op ecologie. Zo meet de MDCO wat neerkomt maar lijkt daarbij geen rekening te

houden met secundaire verstuiving en meet de PVC zandvanger geen absolute hoeveelheid overstuiving maar geeft deze slechts een indicatie hiervan.

Er zijn veel moeilijkheden met het meten van eolisch zandtransport die de effectiviteit van alle zandvangers beïnvloeden. Zo dient er rekening mee gehouden te worden dat het optreden en de mate van overstuiving van veel factoren afhankelijk is die variëren in tijd, locatie en ruimte, waardoor een lokale meting niet representatief is voor een groter gebied. Daarnaast moet er ook rekening worden gehouden met de relativiteit van de vangst. De zandvanger meet namelijk slechts een (onbekend) deel van de overstuivende zandkolom. Tevens dient de tijdschaal waarop veranderingen in de ecologie plaats vinden en de tijdschaal waarover gemeten wordt, op elkaar afgestemd te worden. Uit de “praktijk” blijkt verder dat niet alleen de (fysische) omstandigheden effect hebben op de effectiviteit en daarmee toepasbaarheid van een meetmethode, maar dat de eigenschappen en het ontwerp, welk deel van het transport wordt gemeten, van de zandvanger onder deze variërende omstandigheden (in tijd, ruimte en locatie) ook van invloed lijken op de effectiviteit.

Door deze feiten kan gesteld worden dat er drie aspecten zijn die ten grondslag zouden moeten liggen aan de keuze voor het meten met een bepaalde methodiek; welk proces dient in kaart te worden gebracht, wat is het achterliggende doel en over welke tijdschaal met welke precisie dient gemeten te worden? Door deze vragen te stellen is het mogelijk om ondanks alle haken en ogen toch op de beste mogelijke manier inzicht te geven in het proces dat gemeten dient te worden.

Als het doel is om een indicatie te geven van de mate van overstuiving lijkt de PVC zandvanger toepasbaar om een indicatie te krijgen van het in transport bevindende gedeelte en de methode “knikkerbakken” om inzicht te geven in de “werkelijke” maat van depositie. De saltifoon lijkt niet toepasbaar voor het inzicht geven in overstuiving, doordat deze niet in staat is om suspensie te meten. De saltifoon is toepasbaar voor het meten van saltatie intensiteit. Door inzicht te geven in de saltatie intensiteit onder verschillende omstandigheden kan meer inzicht worden gegeven in het proces eolisch zandtransport.

Om meer inzicht te krijgen in de toepasbaarheid en effectiviteit van de PVC zandvangers en de methode “knikkerbakken” zijn er twee aanbevelingen voor verder onderzoek, namelijk (1) Om deze twee methoden in het veld direct naast elkaar te plaatsen zodat meer inzicht kan worden verkregen in verschillen en overeenkomsten, en daarmee een specifiek inzicht in de toepasbaarheid en effectiviteit, in het meten van overstuiving over de zeereep door deze twee methoden; 2) Om verder onderzoek te doen naar een meetmethode die direct inzicht geeft in de overstuiving. Hierbij zou kunnen worden gekeken naar het meten in analogie met een cleanroom (van stof). De gedachten hierachter zijn dat door een vast debiet af te zuigen per tijdseenheid (op verschillende hoogtes), een inzicht kan worden verkregen in de concentratie van deeltjes in de lucht. Ook verdient het een aanbeveling om te kijken hoe goed gutsboringen of andere oppervlakte analyse methoden in staat zijn om overstuiving en het effect hiervan op de ecologie te kunnen bepalen.

Voorwoord

Voor u ligt de Bachelor Eindopdracht die is uitgevoerd gedurende 10 weken bij Witteveen+Bos te Rotterdam in het kader van het afsluiten van mijn driejarige bachelor studie Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Het onderwerp van deze Bachelor Eindopdracht “Meetmethodieken eolisch zandtransport” komt nauwelijks aan bod gedurende de studie CiT. Ik zocht een onderwerp met betrekking tot kustbeheer voor mijn Bachelor Eindopdracht. In een eerste gesprek met Martijn Booij kwamen wij samen tot de overeenstemming dat een opdracht rondom de Zandmotor interessant zou zijn. Na contact met Lianne van der Weerd bleek bij Witteveen+Bos de kans te liggen om op dit gebied een onderzoek uit te voeren en dan wel op een gebied dat veel uitdaging biedt en waar veel onzekerheid over is, namelijk het meten van eolisch zandtransport.

Na een intensief aanloop traject met veel zelfstudie en input van Lianne van der Weerd heb ik de mogelijkheid gekregen bij Witteveen+Bos om gedurende een periode van 10 weken onderzoek te doen naar het gene wat voor u ligt. Bij Witteveen+Bos werd ik hartelijk ontvangen door mijn eerste dagelijkse begeleidster, Ilse Nelisse-Rovers. Ik dank haar graag voor het wegwijs maken binnen zowel Witteveen+Bos als het “nieuwe” vakgebied. Na verloop van tijd nam eerst Marije Smit en daarna Maarten Jansen de dagelijkse begeleiding op zich. Ik heb beide als enthousiaste, kritische en toegankelijke begeleiders ervaren, mijn dank. Ook wil ik de gehele afdeling Hydrodynamica en Morfologie, ook wel de meest vitale groep van Witteveen+Bos, bedanken voor hun input en de dagelijkse gezelligheid, met als hoogtepunt het groepsuitje. Deze werkomgeving heeft mij veel nieuwe inzichten en prettige ervaringen opgeleverd.

Verder wil ik mijn dank betuigen aan de drie experts op het gebied van eolisch zandtransport voor het bereid zijn om deel te nemen aan een interview en het tijd nemen voor een terugkoppeling van de tussenrapportage. Michel Riksen (Wageningen University and Researchcenter), Sierd de Vries (TU Delft) en Bas Arens (Arens Bureau voor strand- en duinonderzoek) hartelijk dank hiervoor.

Ten slotte werd ik vanuit de Universiteit Twente begeleid door in eerste instantie Lianne van der Weerd en gedurende de afronding door Kathelijne Wijnberg. Beide wil ik bedanken voor de betrokkenheid, het enthousiasme en de leerzame feedback momenten.

Rotterdam, 27-06-2014

Tom Maatkamp

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	i
Voorwoord	iii
1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding.....	1
1.2 Probleemstelling.....	1
1.3 Doelstelling.....	2
1.4 Onderzoeksvragen.....	3
1.5 Methodologie	3
2 Theoretisch kader	4
2.1 Eolisch zandtransport	4
2.1.1 Transportation.....	4
2.1.2 Deposition	5
2.1.3 Initiërende en limiterende factoren	6
2.2 Rol eolisch zandtransport rond de zeereep	7
2.2.1 Duinaangroei	7
2.2.2 Overstuiving ('Sand spray').....	8
3 Onderzoeksmethode	9
3.1 Literatuuronderzoek.....	9
3.2 Interviews	9
3.3 Data-analyse	10
4 Onderzoeksresultaten	12
4.1 Theoretische toepasbaarheid.....	12
4.1.1 Zandvangers in het algemeen	12
4.1.2 PVC Zandvanger.....	13
4.1.3 Methode knikkerbakken.....	14
4.1.4 Saltifoon.....	16
4.1.5 Samenvattend	18
4.2 Effectiviteit van de meetmethoden	19
4.2.1 Factoren die de meeteffectiviteit beïnvloeden	19
4.2.2 PVC zandvangers	21
4.2.3 Methode knikkerbakken.....	22
4.2.4 Saltifoon.....	24
4.2.5 Samenvattend	25

4.3 Monitoring van overstuiving in <i>praktijk</i>	26
4.3.1 Variaties binnen dataset Zandmotor monitoring en Solleveld data	27
4.3.2 Correlaties in dataset Zandmotor monitoring	30
4.3.3 Vergelijking tussen dataset Zandmotor monitoring en Solleveld data	32
4.3.4 Samenvattend	35
5 Discussie, Conclusie & Aanbevelingen	36
6 Referenties	38
7 Bijlagen	42
Bijlage A Aanvulling theoretisch kader	42
Bijlage B interviewthema's en -vragen	43
Bijlage C Uitwerking interviews	50
Bijlage D Data, meetgegevens en locaties	59

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

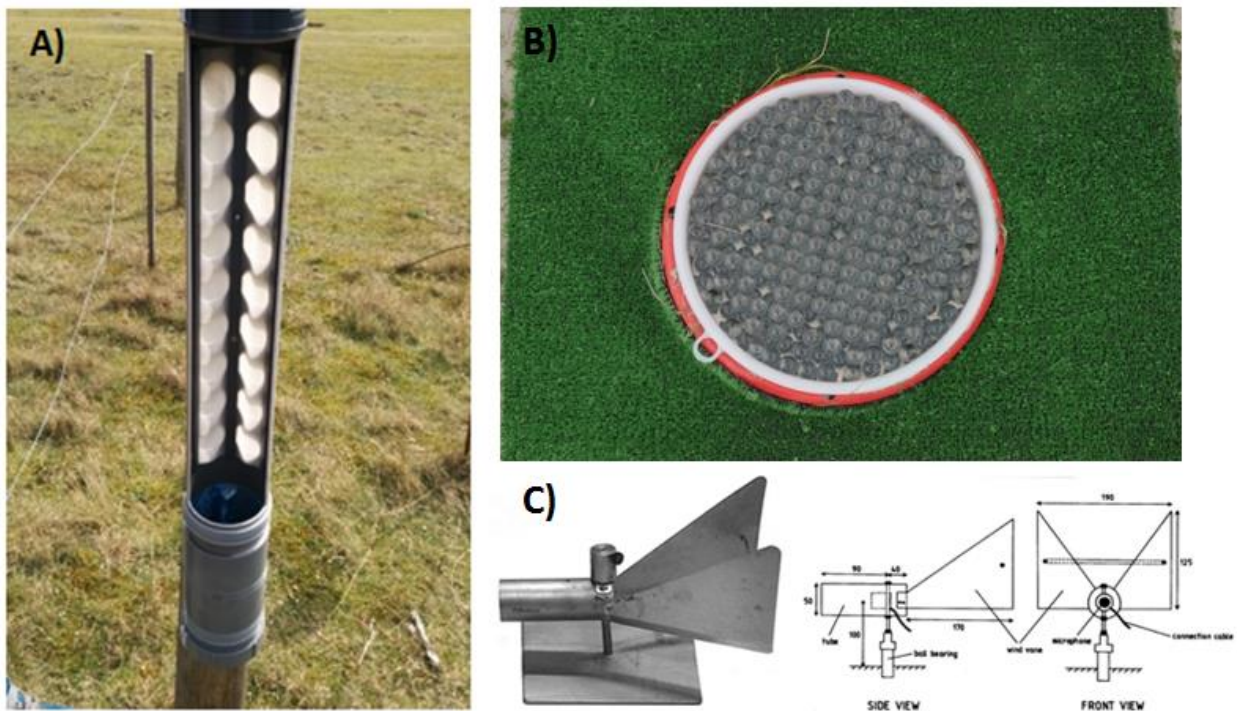
Door het optreden van klimaatverandering is de druk van de zee op de Nederlandse kust toegenomen, waardoor het noodzakelijk is om maatregelen te nemen omtrent waterveiligheid. De Nederlandse kustverdediging bestaat voor een groot deel uit duinen. Een belangrijke factor die direct invloed heeft op het duin is eolisch zandtransport. Eolisch zandtransport is het transport van zand door de wind en is verantwoordelijk voor ongeveer 25% van de zandverspreiding richting de duinen na een zandsuppletie (Arens, Slings, Geelen, & Van der Hagen, 2013).

Een lopend project waar eolisch zandtransport een rol speelt is de Zandmotor. De Zandmotor is tussen maart en oktober 2011 aangelegd als onderdeel van het Nederlandse kustbeschermingsprogramma. De Zandmotor is als schiereiland van 128 hectare aangelegd om op een natuurlijke manier, door golven, stroming en wind, zand te verspreiden langs de kustlijn tussen Hoek van Holland en Scheveningen (Projectbureau Pilot Zandmotor, 2014). Het doel hiervan is om de kust te versterken door onderwater zand aan te vullen en bovendien een alternatief te bieden voor reguliere suppleties ter versterking van de kust. Door deze alternatieve wijze van suppletie worden, naar verwachting, negatieve effecten op de ecologie, recreatie en andere stakeholders beperkt en ontstaan er bovendien extra voordelen in de vorm van een vergroting van het areaal natuurgebied en het extensief recreatiegebied. Momenteel bevindt het project zich in de monitoringsfase. Het consortium bestaande uit Witteveen+Bos, Bureau Waardenburg, Vertegaal ecologisch advies en Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek zorgt in dit project voor de monitoring van het duin en daarmee ook van het optredende eolisch zandtransport.

1.2 Probleemstelling

Centraal bij het doen van grootschalige suppleties, ook bij de Zandmotor, staat het monitoren van het effect (van eolisch zandtransport) op de aanzanding van de zeereep oftewel duinaangroei. Uit het monitoren volgt namelijk waar meer gesuppleerd zou moeten worden en wat het effect van een gedane suppletie is. Voor het meten van de aangroei of erosie van de kustreep worden topografische hoogtemetingen verricht. Deze metingen zijn in de zeereep betrouwbaar maar naarmate er meer vegetatiebedekking van bijvoorbeeld duindoorn is, worden de metingen minder betrouwbaar. Hierdoor moeten in het duin andere meetmethodieken worden toegepast. Ook blijken zich in het duin zich niet zo zeer morfologische effecten voor te doen als gevolg van eolisch transport, maar juist ecologische effecten (Arens, et al., 2012). Eolisch zandtransport, in het specifiek de mate van overstuiving, bepaalt namelijk de input van kalk en nutriënten vanuit de zeereep in het duingebied. Een verandering in de mate van overstuiving kan daardoor zorgen voor een verandering in ecologie. De Zandmotor is één van de projecten waarin op dit moment het monitoren van de overstuiving en de effecten hiervan worden gemonitord. Door aanleg van de Zandmotor wordt namelijk verwacht dat overstuiving zal afnemen als gevolg van een vergrote afstand tussen de zee en de achterliggende grijze duinen (DHV, 2010). Hierdoor kunnen er zich ecologische veranderingen in het duin voordoen. Bauer en Davidson-Arnott (2002) en Delgado-Fernandez en Davidson-Arnott (2011) stellen juist dat als de strandbreedte toeneemt er meer eolisch zandtransport plaatsvindt, waardoor meer overstuiving verwacht kan worden. Of de door de Zandmotor veranderde dynamiek werkelijk invloed heeft op de overstuiving en daarmee de ecologie in het bestaande duingebied moet nog blijken. Ook

omtrent de monitoring van overstuiving zijn er nog veel onduidelijkheden. Momenteel worden alleen PVC zandvangers ingezet om het eolisch zandtransport in kaart te brengen in het duingebied achter de Zandmotor (Figuur 1a). Vanuit Witteveen+Bos is ook gevraagd om onderzoek te doen naar de toepasbaarheid van twee andere meetmethodieken, de methode “knikkerbakken” en de saltifoon (Figuur 1b,c). Het valt echter op dat deze verschillende methodieken berusten op verschillende concepten en dus ook leiden tot verschillende resultaten. Dit maakt dat onderzoek naar de verschillende methodieken, de achterliggende gedachten, de resultaten en de interpretatie hiervan, gewenst is.



Figuur 1: A) De PVC zandvanger B) De methode knikkerbakken (foto dhr. M. Riksen) C) Saltifoon (Goossens & Offer, 2000)

1.3 Doelstelling

Inzicht verkrijgen in de toepasbaarheid en effectiviteit van drie meetmethodieken voor het meten van overstuiving over de zeereep te weten: PVC zandvangers, “knikkerbakken” en de saltifoon.

Er zal aandacht worden besteed aan de verschillen maar ook de overeenkomsten tussen deze drie meetmethodieken. Met toepasbaarheid wordt bedoeld of de meetmethodiek meet waarvoor deze ontworpen is. Hoe goed de meetmethodiek voldoet aan het beoogde doel wordt aangeduid met de term effectiviteit.¹

¹ De doelstelling is gedurende het onderzoek gewijzigd van het inzicht geven in meten van eolisch zandtransport in het algemeen naar het specifiek inzicht geven in het meten van overstuiving. Dit nadat bleek dat de Zandmotor monitoring met PVC zandvangers zich focuste op het meten van overstuiving.

1.4 Onderzoeksvragen

Om de gestelde doelstelling te kunnen behalen is het beantwoorden van de volgende onderzoeksvraag nodig:

Wat is de toepasbaarheid en effectiviteit van de eolisch zandtransport meetmethodieken, PVC zandvangers, “knikkerbakken” en saltifoon voor het meten van overstuiving over de zeereep?

Deze onderzoeksvraag is opgesplitst in verschillende deelvragen. Door de deelvragen te beantwoorden is het mogelijk om een antwoord te kunnen formuleren op de onderzoeksvraag. Hieronder zijn deelvragen in volgorde van beantwoorden puntsgewijs weergegeven:

- Welk element van het eolisch zandtransport wordt *in theorie* gemeten door elk van de drie meetmethoden en wat betekent dit voor *toepasbaarheid* voor het meten van overstuiving over de zeereep?
- Hoe goed is elk van de drie meetmethoden in staat om het onderdeel van het transport proces te meten waarvoor die methode bedoeld is (d.w.z. *effectiviteit* van de meetmethode)? Zowel qua ontwerp als qua meetnauwkeurigheid.
- Hoe sluit in *de praktijk* de veldmonitoring van overstuiving (bij de Zandmotor) aan bij de theorie over *toepasbaarheid en effectiviteit*?

1.5 Methodologie

Om inzicht te geven in welk element van eolisch zandtransport door de drie meetmethodieken in theorie gemeten wordt en wat dit betekent voor de toepasbaarheid ten aanzien van het meten van overstuiving over de zeereep is allereerst een literatuuronderzoek uitgevoerd. In dit literatuuronderzoek is aandacht besteed aan het onderzoeken van het proces eolisch zandtransport in het specifiek overstuiving, de achterliggende concepten van de elk van de drie meetmethodieken, de toepassing in veldexperimenten en de doelen van de verschillende metingen. Daarna zijn om dit te bevestigen en om een breder inzicht te verwerven in de toepasbaarheid interviews afgenomen bij verschillende experts. Uit de verzamelde objectieve en deels subjectieve informatie heeft een eigen interpretatie plaatsgevonden over de toepasbaarheid van elk van de drie meetmethodieken.

Om een goed beeld te verkrijgen van de effectiviteit van elk van de drie meetmethodieken is ook allereerst een literatuuronderzoek gedaan, maar dan met betrekking op de meetnauwkeurigheid van elke meetmethodiek. Hierbij is in bijzonder aandacht besteed aan windtunneltesten, veldkalibratie, problemen die optreden tijdens het meten en evaluaties van de meetmethodieken. Ook om in dit deel van het onderzoek een correcte eigen interpretatie te geven, is informatie ingewonnen en geverifieerd bij verschillende experts. Deze interviews hebben tevens inzicht gegeven in verdere problemen en voor- of nadelen van het meten met een bepaalde techniek.

Om inzicht te verkrijgen in hoe in praktijk de veldmonitoring van overstuiving aansluit bij de theorie over toepasbaarheid en effectiviteit zijn verschillende veldmetingen naast elkaar gelegd. Daarnaast is een data-analyse uitgevoerd, welke zich specifiek gefocust heeft op het koppelen van waargenomen verschillen in de datasets aan verschillende factoren waar rekening mee moet worden gehouden in het veld en daarmee ook de meeteffectiviteit van de methodieken.

2 Theoretisch kader

Het theoretische kader zal zowel ingaan op het proces eolisch zandtransport als op de verschillende elementen die hiervan gemonitord kunnen worden. Allereerst zal kort worden toegelicht wat het proces eolisch zandtransport inhoudt. Daarna zal worden beschreven waarvan het plaatsvinden en de hoeveelheid eolisch zandtransport afhankelijk is. Ten slotte zullen de elementen van eolisch zandtransport, die elk een apart aspect van het proces omvatten, worden beschreven. Het theoretisch kader is opgesteld op basis van informatie verkregen uit literatuur en op basis van geïnterpreteerde informatie vanuit interviews met drie experts: Dhr. S. Arens, Dhr. M. Riksen en Dhr. S. de Vries.

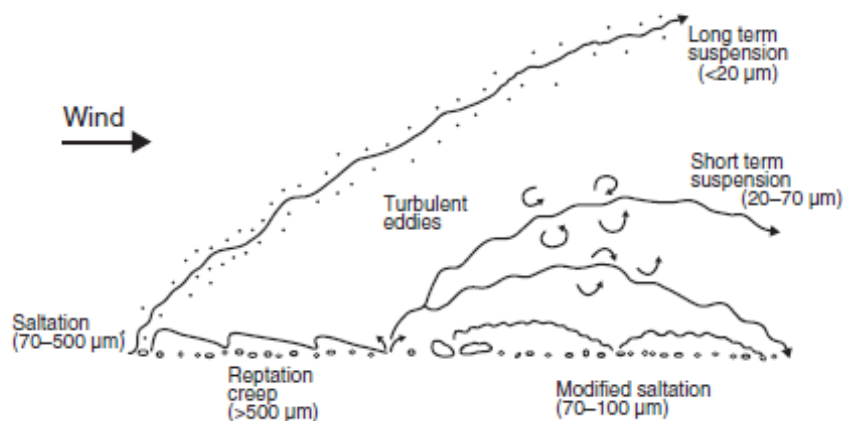
2.1 Eolisch zandtransport

Eolisch zandtransport is het transport van zand, geïnitieerd door de wind. Eolisch zandtransport bestaat grofweg uit drie verschillende fasen: “Sand removal, transportation en deposition” (Bagnold, 1954). De eerste fase betreft de initiatie van transport, de tweede fase omvat het daadwerkelijke transport en de derde fase omvat de depositie van het getransporteerde zand. Hieronder zullen de belangrijkste kenmerken van de “transportation” en de “deposition” fase, welke gemonitord kunnen worden, uiteen worden gezet. De eerste fase, “Sand removal”, is terug te vinden in bijlage A.1. Nadat inzicht is verkregen in het eolisch zandtransport, zullen de factoren die de mate hiervan bepalen worden besproken opdat zowel het proces zelf als de factoren waarvan deze afhankelijk is, inzichtelijk zijn.

2.1.1 Transportation

Gedurende de “transportation” fase zal de “critical threshold”, overschreden worden. Dit betekent dat de sleepkracht, ‘lift en drag’, die door de wind wordt geïnitieerd groter is dan de krachten die de zandkorrels bij elkaar houden. Doordat de “critical threshold” wordt overschreden kan er op drie verschillende wijzen transport van zand door de wind plaatsvinden, te weten suspensie, saltatie en kruip (Figuur 2) (Bagnold, 1954; Nickling & McKenna Neuman, 2009).

- **Suspensie** (“Suspension”). Suspensie is het transport van kleine (<70 µm), relatief lichte deeltjes (stof) die gemakkelijk in de lucht blijven. Door dit gegeven zullen deze deeltjes over grote afstanden en gedurende lange tijd getransporteerd worden.
- **Saltatie** (“Saltation”). Saltatie bestaat uit het transport van zandkorrels met een diameter tussen 70-500 µm. Deze korrels zullen door hun eigenschappen slechts een maximale transporthoogte van een meter bereiken. Het traject dat de salterende korrels vormen lijkt op een parabool waarvan het stijgende deel steiler is dan het dalende deel. Wanneer de zandkorrel op het oppervlak inslaat wordt de energie overgebracht op een aantal andere korrels, waardoor deze geïnitieerd worden om door de wind volgens een soort gelijk traject getransporteerd te worden.
- **Kruip** (“Creep”). Kruip behelst het transport van zandkorrels met een grote diameter (>500 µm). De grootte van de korrels, en daarmee het gewicht, maakt het voor de wind onmogelijk om deze van de grond te ‘liften’. De beweging van deze korrels wordt dus niet geïnitieerd door de wind maar vindt plaats doordat korrels uit saltatietransport inslaan op het oppervlak. Het overdragen van deze impact energie zorgt ervoor dat de relatief zware grote korrels beginnen te rollen over het oppervlak.



Figuur 2: Schematische weergave van eolisch transport (Pye, 1980)

De eerste vorm van transport, suspensie, speelt slechts een minimale rol op het strand (Bagnold, 1954). De verhouding tussen de transportmechanismen kruip en saltatie is volgens Bagnold (1954) 1:3, Arens (1994) In: Hijma & Lodder (2001) spreekt dit tegen. Hij suggereert dat op het (Nederlandse) strand deze verhouding niet opgaat en dat bijna het gehele transport bestaat uit saltatie. Bagnold (1954) geeft daarnaast aan dat saltatie en kruip voornamelijk in de eerste 50 centimeter boven het oppervlak plaatsvindt. Voor de specifieke case van zandtransport op het strand stellen Arens & van de Lee (1995) dat het transport beperkt blijft tot de eerste 25 centimeter boven het oppervlak.

Het plaatsvinden van “transportation” is niet oneindig. De wind heeft een maximale capaciteit wat betreft het transporteren van zand (Bagnold, 1954). In zowel windtunnel- als veldexperimenten is aangetoond dat na een zekere aanwaailengte (“critical fetch distance”), er een equilibrium wordt bereikt tussen het initiëren van transport en het plaatsvinden van depositie (“entrainment” en deposition”) ofwel saturatie van de lucht optreedt. Over de critical fetch distance is geen overeenstemming in de verschillende onderzoeken. Davidson-Arnott & Law (1990) beweren dat deze na een afstand van 40 meter bereikt wordt, Davidson-Arnott, et al (2008) na een afstand van 200 meter en weer andere onderzoekers beweren dat helemaal geen saturatie van de wind/lucht waarneembaar is (Jackson & Cooper, 1999; Lynch, Jackson, & Cooper, 2008) (In: (de Vries, 2013)).

2.1.2 Deposition

De laatste fase waarin het eolisch transport kan worden opgedeeld is de depositie (“deposition”). Er zijn volgens Bagnold (1954) drie verschillende manieren van afzetting, elk gekoppeld aan een van de drie transportwijzen:

- **Sedimentatie** (“sedimentation”). Deze wijze van depositie betreft het langzaam uit de lucht vallen van in suspensie verkerende deeltjes. Zelf blijft het deeltje op het oppervlak achter. Terwijl dit deeltje eventueel door de impact op het oppervlak, andere korrels in beweging brengt.
- **Aangroei** (“Accretion”). Deze wijze van depositie ontstaat door salterende korrels. Door het vallen van grotere korrels (70-500μm) dan bij sedimentatie (<70 μm) vindt meer impact op het oppervlakte plaats, waardoor meer secundaire korrels in beweging worden gebracht. Het feit blijft wel dat het aantal korrels dat deel gaat uitmaken van het oppervlak groter is dan

het aantal wat in beweging wordt gebracht door de impact. Een ander verschil ten opzichte van sedimentatie is dat de korrel die neerkomt vanuit de getransporteerde fase zelf niet direct stil komt te liggen maar door wordt gekaatst, totdat deze op een beschutte plek komt te liggen.

- **Ophoping** ("Encroachment"). Als het oppervlakte niet continu is en dus bestaat uit obstructies kan de transportmogelijkheid 'kruip' tot stilstand worden gebracht. Dit terwijl saltatie zal blijven plaatsvinden. De ophoping bestaat hierdoor op deze plekken slechts uit de door kruip getransporteerde korrels en niet door de andere transportmogelijkheden getransporteerde korrels.

2.1.3 Initiërende en limiterende factoren

Het plaatsvinden van eolisch zandtransport wordt in eerste instantie bepaald door de windsnelheid en daarmee samenhangend de sleepsnelheid (bijlage A.1). Het optredende eolisch zandtransport is niet alleen afhankelijk van de initiërende factor. Er zijn namelijk ook factoren die het mogelijke transport beperken, de 'supply limiting factors'. De omstandigheden en daarmee zowel de initiërende als de beperkende factoren bepalen zodoende gezamenlijk het daadwerkelijk optredende eolisch zandtransport. Hieronder zullen de factoren die de mate van eolisch zandtransport bepalen worden opgesomd. Tevens zal een korte uitleg worden gegeven van elke factor zodat inzichtelijk wordt waar het optreden en daarmee ook de hoeveelheid eolisch zandtransport van afhankelijk is.

Initiërende factoren

- **Windsnelheid.** De windsnelheid is van primair belang als het gaat om het bereiken van de "critical threshold". Hierbij gaat het vooral om de sleepsnelheid, ofwel "shear velocity", die ontstaat door de windsnelheid. Deze sleepsnelheid, welke de krachten 'lift en drag' bevat, moet zorgen voor het in beweging brengen van het zand (Bagnold, 1954).
- **Regen.** De inslag van regendruppels op het zandoppervlak ("splash") zorgt voor het loskomen van korrels uit het oppervlak, ook wel spaterosie genoemd (Riksen & Goossens, 2007; Hessel, Stolte, & Riksen, 2011). Door het inslaan van regendruppels, vergelijkbaar met de impact van korrels die zich in saltatie bevinden, kan transport op kleine schaal op gang worden gebracht.

Supply limiting factors

- **Windrichting.** De windrichting bepaalt in welke richting (onshore, offshore of alongshore) het transport plaatsvindt en bepaalt daarmee de mogelijkheid tot duinvorming. Tevens bepaalt de windrichting de effectieve (strand)lengte waarover eolisch zandtransport kan plaatsvinden (Bauer & Davidson-Arnott, 2002).
- **Vochtgehalte van het sediment.** Het vochtgehalte van het strand is zeer bepalend voor de mogelijkheid tot eolisch zandtransport. Een hoog vochtgehalte beperkt de transportmogelijkheid in zeer grote mate (Davidson-Arnott, Yang, Ollerhead, Hesp, & Walker, 2008) (Nickling & McKenna Neuman, 2009) (Delgado-Fernandez & Davidson-Arnott, 2011)
- **Strandbreedte.** De strandbreedte bepaalt de effectiviteit van andere oppervlakte gerelateerde variabelen die restricties opleggen aan het eolisch zandtransport. De strandbreedte varieert per tijdseenheid door getijdenwerking en windrichting (Bauer & Davidson-Arnott, 2002) (Delgado-Fernandez & Davidson-Arnott, 2011).

- **Korrel dichtheid, -grootte en -verdeling.** Deze eigenschappen van het sediment zijn bepalend voor het punt, 'de critical threshold', waarop het transport wordt geïnitieerd (Bagnold, 1954).
- **Vegetatie.** Vegetatie zorgt ervoor dat zand wordt vastgehouden en verandert tevens het windpatroon dat geldt (Hesp, 1989). Vooral het breken van de wind door vegetatie zorgt voor het beperken van het zandtransport.
- **Schelpen of schelpfragmenten.** De aanwezigheid van schelpen op het strand (door suppleties) zorgt enerzijds door een verandering in korrelverdeling en anderzijds door het beschutting geven aan onder- en omliggende zandkorrels voor een verhoging van de 'critical threshold' (van der Wal, 1998).
- **Luchtvochtigheid/temperatuur.** De luchtvochtigheid in combinatie met de luchttemperatuur bepalen de dichtheid van de lucht, de efficiëntie van het transport en het (wind)snelheidsprofiel (Sherman & Hotta, 1990).
- **(Storm) afzetting op het strand.** Deze afzettingen, bijvoorbeeld wier, zorgen dat zand wordt vastgehouden (Sherman & Hotta, 1990).
- **Helling.** De helling van het gebied is bepalend is voor het soort transport dat plaats kan vinden. Hierdoor is deze ook bepalend voor de hoeveelheid die getransporteerd kan worden. Een helling afwaarts verlaagt de threshold, waardoor sneller transport wordt geïnitieerd terwijl een opwaartse helling het transport limiteert door een verhoging in threshold (Bagnold, 1954).
- **Zoutkorsten.** Zoutkorsten vergroten de cohesie van het oppervlak en beperken hierdoor het eolisch zandtransport (Nickling & Ecclestone, 1981) (de Vries, 2013).

2.2 Rol eolisch zandtransport rond de zeereep

Eolisch zandtransport kan invloed hebben op twee verschillende processen aangaande kustverandering. Het eerste proces is het plaatsvinden van duinaangroei en het tweede proces betreft het plaatsvinden van ecologische veranderingen geïnitieerd door overstuiving.

2.2.1 Duinaangroei

Het proces duinaangroei wordt bepaald door de mate van depositie in de zeereep en hangt daardoor samen met de transportwijzen: kruip en saltatie. Deze twee transportwijzen hebben het grootste aandeel in eolisch zandtransport (paragraaf 2.1.1) en kunnen hoogteverschillen initiëren. In het Nederlandse duin vinden deze twee transportwijzen nauwelijks, alleen in de nabijheid van stuifkuilen, plaats door het effect van de supply limiting factors, met in het bijzonder de vegetatie. Vegetatie zorgt voor het breken van de wind waardoor de wind nauwelijks kans krijgt om losliggende korrels te kunnen transporteren. Tevens kan door de bedekking van het oppervlak met vegetatie saltatie niet optreden omdat de inslaande korrels niet kunnen botsten op losliggend zand. Hierdoor blijft initiatie van nieuw transport achterwege blijft. Kruip en saltatie vinden hierdoor voornamelijk plaats op het strand tot aan de duinvoet en daarmee dus ook duinaangroei. In het geval van depositie van saltatie- en kruiptransport vindt duinaangroei plaats. Deze depositie is afhankelijk van veel factoren. Een eerste factor die de mate van duinaangroei bepaald is de hoeveelheid transport. Deze wordt bepaald door de "fetch" (aanwaai) afstand (de Vries, 2013), de aanwezigheid van supply limiting factors (paragraaf 2.1.3) en de erosieve kracht van de wind (Bagnold, 1954). Een tweede factor die bepaalt of duinaangroei plaatsvindt, is de richting van het transport (Bauer & Davidson-Arnott, 2002). Voor duinaangroei is het namelijk van belang dat het zand richting het duin wordt

getransporteerd om daar te kunnen worden afgezet. Maar hoe groter de aanwaai afstand hoe groter het transport, waardoor een windrichting kustlangs (een beetje richting de duinen) ideaal is. Wel moet hierbij ook rekening worden gehouden met de critical fetch distance. Een derde factor die bepaalt waar de depositie plaatsvindt, zijn de supply limiting factors. In het bijzonder is de supply limiting factor hellingshoek van invloed op de depositie en dus de duinaangroei. Door een vergroting van de hellingshoek neemt de threshold toe waardoor nieuw transport niet geïnitieerd wordt en het zand zich afzet (Bagnold, 1954).

2.2.2 Overstuiving ('Sand spray')

Het tweede proces aangaande kustverandering omvat, overstuiving ofwel "sand spray". Overstuiving betreft het transport van fijn zand over het voorduin heen. De transportwijze die gemeten moet worden als inzicht moet worden gegeven in de overstuiving is short-term suspensie (Figuur 2). *Short term suspensie* betreft immers het transport van fijn zand, geïnitieerd op het strand of op de eerste duinkruin. Dit transport legt grotere afstanden af dan saltatie- of kruiptransport, de orde van tiental of soms een paar honderd meter afstand (in het geval van extreme windsnelheden). De hoeveelheid zand die in suspensie wordt getransporteerd is significant kleiner dan de in saltatie en kruip getransporteerde hoeveelheid. Het gaat bij in suspensie verkerend transport, in het specifiek overstuiving over het duin, niet om het ontstaan van grote hoogteverschillen door depositie maar om de invloed van deze kleine hoeveelheid transport op het duinecologie. Zo stelt de Groot, et al. (2012) dat een kleine verandering in de hoeveelheid overstuiving al invloed kan hebben op de duinecologie. De mate van overstuiving in combinatie met de zandsamenstelling (de hoeveelheid kalk) geeft namelijk inzicht in de capaciteit van het stuifzand om de verhoogde atmosferische stikstofdepositie te bufferen. Deze buffering is gewenst omdat een verhoogde atmosferische stikstofdepositie de duindynamiek kan verminderen en daarmee kan zorgen voor een afname in biodiversiteit (de Groot, et al., 2012). Dit is vanuit ecologisch oogpunt niet gewenst. Ondersteunend stelt DHV (2010) dat kleine hoeveelheden overstuiving invloed kunnen hebben op de "verruiging" van de grijze duinen. De beschikbare hoeveelheid zand op het strand die voor overstuiving beschikbaar is, is afhankelijk van suppleties langs de kust (van der Wal, 1998), het plaatsvinden van stormen (Pye & Blott, 2008) en het toepassen van dynamisch kust/duinbeheer (de Jong, Slim, Riksen, & Krol, 2011; Arens, Slings, Geelen, & Van der Hagen, 2013). De overstuiving neemt toe als gevolg van een verandering (meer variatie) in korrelverdeling en in het geval van dynamisch kust/duinbeheer doordat er op sommige plaatsen geen beheer meer plaatsvindt. Hierdoor krijgt de natuur de mogelijkheid krijgt om stuifkuilen en kerven te vormen, wat er toe leidt dat meer zand in/over het duin getransporteerd kan worden.

3 Onderzoeksmethode

Om meer inzicht te krijgen in de meetmethodieken PVC zandvanger, “knikkerbakken” en de saltifoon is literatuuronderzoek uitgevoerd. Hierbij is gekeken naar het meten van eolisch zandtransport in het algemeen, de daarbij optredende problemen, de toepasbaarheid en tevens effectiviteit van verschillende meetmethodieken. Daarna zijn ter verificatie van de gevonden informatie interviews afgenomen. Door de verworven inzichten hierna met een data-analyse te ondersteunen een objectieve beoordeling mogelijk geweest.

3.1 Literatuuronderzoek

Om een eerste inzicht te krijgen in de toepasbaarheid en effectiviteit van de drie meetmethodieken heeft allereerst een literatuuronderzoek plaatsgevonden. In dit literatuuronderzoek is de focus gelegd op:

1. Het achterhalen van de verschillende concepten die ten grondslag liggen aan elk van de drie meetmethodieken;
2. Het proces eolisch zandtransport om de achterliggende concepten van de meetmethodieken hieraan te kunnen koppelen;
3. De toepassing van de verschillende methoden en daarmee een eerste inzicht in de toepasbaarheid van elk van de drie meetmethodieken te verkrijgen;
4. De problemen die in de literatuur bekend zijn over het meten van eolisch zandtransport en daarmee samenhangend de effectiviteit van de drie meetmethodieken.

Ook is specifiek aandacht besteed aan het onderzoeken van de Zandmotor monitoring. Het literatuuronderzoek heeft op deze manier bijgedragen aan het inzichtelijk maken van de achterliggende concepten. Daarnaast heeft deze het mogelijk gemaakt om een eerste toepasbaarheid te schetsen door koppeling met het proces eolisch zandtransport. Ook is het hierdoor mogelijk geweest om inzicht te geven in de doelen en situaties waarin elke meetmethodiek gebruikt wordt. Ten slotte is tevens een beeld gekregen van de (geëvalueerde) effectiviteit.

3.2 Interviews

In het kader van dit onderzoek zijn interviews bij drie verschillende experts afgenomen. Om een beter beeld te hebben krijgen van de meetmethodiek PVC zandvanger is dhr. S. Arens geïnterviewd. Dhr. S. Arens is oprichter en eigenaar van Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek. Dit bureau zorgt in het Zandmotor monitoringsproject voor het monitoren van de overstuiving in het duin door middel van de zelf ontworpen PVC zandvanger. Tevens is dhr. S. Arens een expert op het gebied van kustgeomorfologie. Daarnaast is dhr. M. Riksen geïnterviewd om een beter inzicht te hebben kunnen verwerven in de meetmethodiek “knikkerbakken” (MDCO). Dhr. M. Riksen heeft de nodige ervaring met het meten van depositie met de MDCO. Verder is dhr. M. Riksen expert op het gebied van winderosie (in ecologische context). Een derde expert die geïnterviewd is, is dhr. S. de Vries. Dhr. S. de Vries is een post-doc binnen het NeMo project aan de TU Delft en is in 2013 gepromoveerd op het onderwerp “The Physics of Blown Sand and Coastal Dunes”. In dit interview is meer informatie ingewonnen over de meetmethodiek saltifoon, welke dhr. S. de Vries gebruikt heeft voor zijn promotie onderzoek. Tevens is gedurende elk interview algemene informatie verkregen over het proces eolisch zandtransport en de mogelijke monitoren hiervan.

Het interview dat is afgenomen bij de drie experts is opgebouwd uit acht verschillende thema's die hieronder uiteen zijn gezet. Een uitgebreide toelichting over wat de grondslag is voor elk thema en het doel van de vragen die per thema zijn opgesteld is in bijlage B.1 opgenomen.

1. Algemene informatie over het meten van eolisch zandtransport en de rol van (verschillende) meetmethodieken hierin
2. Algemene informatie en kenmerken van de betreffende meetmethodieken (PVC zandvanger, "knikkerbakken" en de saltifoon)
3. Vragen naar aanleiding van de informatie en meetdata van de desbetreffende meetmethodiek ("knikkerbakken", "PVC zandvangers" of de saltifoon) die ontvangen is van de verschillende experts
4. Evaluatie van het meten met de meetmethodiek
5. De toepasbaarheid van de meetmethodiek
6. Optimaliseren van het meten van eolisch zandtransport en de rol van de desbetreffende meetmethodiek daarbij
7. Zandmotor monitoring en de eventuele toepassing van de desbetreffende meetmethodiek in dat kader
8. Het meten van bepaalde doelen met bepaalde technieken (zandvangers/meetmethodiek of modellen)

Er zijn in de drie verschillende interviews een aantal dezelfde vragen gesteld om de antwoorden te bevestigen of om tegenstrijdigheden te indiceren. Bij tegenstrijdigheden heeft extra literatuuronderzoek plaatsgevonden of zijn aan de andere expert hierover vragen gesteld.

Door het houden van interviews is in dezelfde aspecten (zowel toepasbaarheid als effectiviteit) inzicht gegeven als door het doen van het literatuuronderzoek (paragraaf 3.1). Het houden van interviews heeft de specifieke rol gehad om informatie uit de literatuur te verifiëren, een breder inzicht te verkrijgen in de effectiviteit en toepasbaarheid van elk van de drie meetmethodieken en ervaringen van elk van de experts met het meten van eolisch zandtransport in kaart te brengen, met daarbij in het specifiek aandacht voor de drie meetmethodieken. Hierdoor is het mogelijk geweest om de theoretische toepasbaarheid en effectiviteit kritisch te bekijken en te evalueren.

De specifieke interviewvragen per thema die aan de verschillende experts zijn gesteld, zijn terug te vinden in bijlage B. Tevens is in bijlage C een goedgekeurde uitwerking van de drie interviews te vinden.

3.3 Data-analyse

Voorafgaand is data opgevraagd van metingen met de PVC zandvangers in vijf transecten ten behoeve van de Zandmotor monitoring (dank aan dhr. S. Arens hiervoor) en is data van een nabijgelegen transect met "knikkerbakken" verkregen (dank aan dhr. M. Riksen hiervoor).

De data die in dit onderzoek gebruikt zijn, zijn genormaliseerd om vertrouwelijkheid te kunnen garanderen. Om deze reden zijn dus alleen relatieve verschillen en geen absolute verschillen in de data-analyse meegenomen. De data is genormaliseerd naar de maximale waarde die geldt voor iedere (aparte) dataset of vergelijking. Dit houdt in dat de maximale waarde ("1") per onderdeel van de data-analyse verschillend is.

Het eerste onderdeel van de data-analyse heeft bestaan uit het beschrijven van variaties binnen de twee datasets. Hierin is vooral inzicht gegeven in opvallende gemeten verschillen zowel binnen de transecten als tussen de verschillende transecten.

In het tweede onderdeel zijn opvallende elementen in de datasets verklaard. Enerzijds is gezocht naar correlaties tussen de dataset van de PVC zandvangers en fysische omstandigheden, en anderzijds naar de mogelijke correlatie met de “theoretisch” geïndiceerde problemen met het meten van overstuiving in het veld. Dit is niet gedaan voor de dataset met “knikkerbakken” bij Solleveld, wat komt door het feit dat de samplingperioden van de MDCO zeer lang zijn, er binnen de dataset veel verstoringen zijn te vinden en er slechts data beschikbaar is van één transect bij Solleveld.

De fysische factoren waarmee de data eventueel correlaties zou kunnen vertonen, zijn winddata en topografische ligging. Om een eventuele correlatie met winddata aan te tonen zijn dagelijkse windgegevens bij de Hoek van Holland (Witteveen+Bos, 2014) (Bijlage D.3) gebruikt om te bepalen hoe sterk de wind is geweest en waar deze vandaan kwam (kwalitatief) gedurende de meetperiode. Door deze te koppelen aan periodes waarin “kwantitatief” veel overstuiving is gemeten, is inzicht verkregen in een eventuele correlatie. Daarnaast is het ook mogelijk dat de gemeten verschillen zowel binnen als tussen transecten gemeten verklaarbaar zijn door omgevingsfactoren. Hiervoor zijn luchtfoto's en topografische kaarten bekeken. Hierbij is gekeken naar hoogteverschillen en open zandige plekken in de nabijheid van de PVC zandvangers, die de opvallende elementen zouden kunnen verklaren. Een laatste mogelijkheid die is onderzocht, en de opvallende elementen mogelijk zou kunnen verklaren, is de eventuele invloed van factoren die de meeteffectiviteit van de methode beïnvloeden. Hierbij is in het specifiek gekeken naar de factoren waarvan in het literatuuronderzoek is geïndiceerd dat deze invloed zouden kunnen hebben op de meeteffectiviteit.

Als derde en tevens laatste onderdeel van de data-analyse is een vergelijking gemaakt tussen gemeten data bij transect 1 van de Zandmotor (PVC zandvangers) en het MDCO transect bij Solleveld. Hierin is (vergelijkend) onderzoek gedaan naar gemeten trends binnen de transecten, tussen de gemeten grootte in waarden, naar de geschatte depositie op basis van PVC zandvanger data en gemeten depositie (MDCO data) en naar de problemen die zich voordoen met het maken van een vergelijking. Dit alles tezamen heeft gezorgd voor een inzicht in de (individuele) factoren die de meeteffectiviteit mogelijk hebben beïnvloed. Hiermee is een beter inzicht gekregen van de toepasbaarheid en effectiviteit van de MDCO en PVC zandvangers ten aanzien van het in kaart brengen van overstuiving .

Door de data van de methode “knikkerbakken” en de PVC zandvangers te bekijken, is het mogelijk geweest meer inzicht te verwerven in de variaties die optreden bij het toepassen in “praktijk” van deze meetmethodieken. Verder is het hierdoor mogelijk geweest om de meeteffectiviteit en daarmee toepasbaarheid in kaart te brengen door de wisselende omstandigheden die optreden bij het meten in het veld, te koppelen aan factoren die invloed zouden kunnen hebben op de meeteffectiviteit. Dit heeft er toe geleid dat de theoretische toepasbaarheid in perspectief is kunnen plaatsen. Door te kijken naar overeenkomsten en verschillen tussen de datasets is daarnaast inzicht verkregen of de gemeten variaties overeenkomstig waren bij beide meetmethodieken. Daardoor is geïndiceerd of algemene factoren een rol spelen bij de meeteffectiviteit of dat juist gemeten variaties worden veroorzaakt door individuele factoren (het ontwerp en de eigenschappen) de meeteffectiviteit beïnvloeden.

4 Onderzoekresultaten

In dit hoofdstuk zal informatie verkregen uit zowel literatuuronderzoek als interviews met experts ten aanzien van toepasbaarheid en effectiviteit naar eigen inzicht worden geïnterpreteerd. De door experts (Dhr. S. Arens, Dhr. M. Riksen en Dhr. S. de Vries) goedgekeurde uitwerking van de interviews zijn terug te vinden in bijlage C. Ten slotte zijn in dit hoofdstuk ook de resultaten van de data-analyse uiteengezet. De genormaliseerde (ten aanzien van betrouwbaarheid) data ten behoeve van de data-analyse is terug te vinden in bijlage D.

4.1 Theoretische toepasbaarheid

In deze paragraaf zullen achtereenvolgens het meten van eolisch zandtransport met behulp van zandvangers, de PVC zandvangers, de “knikkerbakken” en de saltifoon worden besproken. Hierbij zal gekeken worden naar welke elementen van eolische zandtransport er met elke methodiek in theorie gemeten kan worden.

4.1.1 Zandvangers in het algemeen

Zandvangers zijn te verdelen in drie hoofdcategorieën als wordt gekeken naar de manier van meten: verticale, horizontale en sensorische zandvangers. Voor het kwantificeren van het horizontale transport worden verticale zandvangers toegepast. Verticale zandvangers, zoals bijvoorbeeld de PVC zandvanger (Figuur 3a), zouden in staat moeten zijn om transportvolumes (horizontale flux) te bepalen. Een nadeel van verticale zandvangers is dat ze de windstroming verstoren, waardoor minder (of meer) sediment wordt gevangen dan dat de werkelijke flux bevat (Goossens & Offer, 2000).

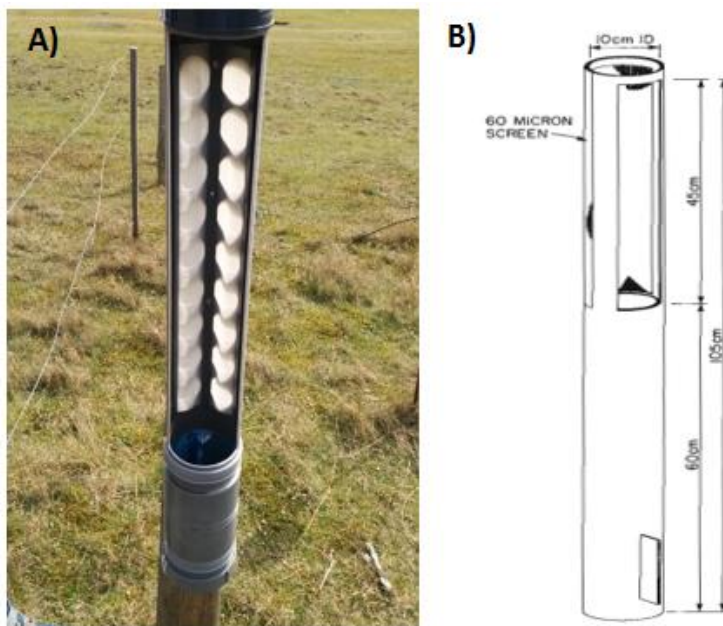
De tweede manier van meten betreft het meten van eolisch zandtransport door middel van horizontale zandvangers. Een voorbeeld hiervan is de methode “knikkerbakken” (Figuur 1b, Figuur 4). Horizontale zandvangers zouden in staat moeten zijn om verticaal transport ofwel depositie/accumulatie te meten. Naar aanleiding van verkregen meetgegevens kan inzicht worden verkregen in de mate van depositie en eventueel in de verticale flux, als verschillende vangers boven elkaar zijn gemonteerd. Sommige horizontale zandvangers worden echter ingezet ten behoeve van een ander doeleinde, namelijk het kwantificeren van “kruip” transport of als de vanger groot genoeg is voor saltatie transport (Bagnold, 1954; Greeley, Blumberg, & Williams, 1996).

Een derde manier van meten betreft het meten met een sensorische zandvanger (SIS), een voorbeeld hiervan is de akoestische methodiek de saltifoon (Figuur 1c, Figuur 5). Deze zandvangers lijken niet zo zeer instaat om de exacte hoeveelheid transport te meten maar kunnen nauwkeurig bepalen (gedurende korte events) wanneer eolisch zandtransport plaatsvindt (Scott van Pelt, Peters, & Visser, 2009). Door deze gegevens te koppelen aan de gegevens over de “lokale” weers- of sedimentomstandigheden kan bepaald worden wat de invloed van deze factoren zijn op het optreden van eolisch zandtransport (de Lima, van Dijk, & Spaan, 1992; Arens S., 1996; Scott van Pelt, Peters, & Visser, 2009).

Hieronder zal een gedetailleerdere uitwerking worden gemaakt van de meetmethodieken: PVC zandvangers (verticale zandvanger), “knikkerbakken” (horizontale zandvanger) en de saltifoon (sensorische zandvanger).

4.1.2 PVC Zandvanger

De PVC zandvanger (Figuur 3a) behoort tot het type verticale 'sand traps'. De PVC zandvanger die is gebruikt voor de Zandmotor is gebaseerd op de Leatherman trap (Figuur 3b) (Leatherman, 1978). De Leatherman trap heeft aan de voorkant een sleuf die 45 cm hoog is en een breedte heeft van 40 mm. Aan de achterkant heeft deze een opening om de luchtstroom zo min mogelijk te beïnvloeden. Om zand te vangen, de horizontale component van het transport, is gaas met een maaswijdte van 60 μm over deze opening gespannen. De PVC zandvanger die is gebruikt voor de Zandmotor is bijna identiek aan de Leatherman trap. Er zijn ook een aantal verschillen. Een eerste verschil is dat het gaas dat voor de opening aan de achterzijde gespannen is, een maaswijdte heeft van 100 μm in plaats van 60 μm (Arens, et al., 2012). Een andere aanpassing van het originele concept diende plaats te vinden om de vanger geschikt te maken voor het meten van overstuiving op lange tijdschaal te midden van vegetatie te meten. Dit heeft tot gevolg gehad dat de vanger op één meter van de grond aan een paal wordt gemonteerd. Een derde aanpassing van het originele concept is er op gericht om het legen van de zandvanger te vergemakkelijken. Aan de onderkant van de vanger is een opvangreservoir met daarin een zakje bevestigd. Door simpelweg dit reservoir van de vanger te schroeven kan de inhoud van het zakje worden gewogen, waarmee de hoeveelheid zand kan worden bepaald.



Figuur 3: a) De PVC zandvanger

b) De Leatherman trap (Leatherman, 1978)

Op basis van het proces eolisch zandtransport kan gesteld worden dat de PVC zandvanger geschikt lijkt voor het in kaart brengen van "short term suspensie" ofwel overstuiving in tegenstelling tot het concept (de leatherman trap) waarop deze gebaseerd is, welke geschikt is voor het meten van kruip en saltatie (op het strand). Dit is enerzijds af te leiden uit de plaats waar de zandvanger geplaatst is, in het duin wordt nauwelijks transport geïnitieerd zoals in paragraaf 2.2.1 is besproken, en anderzijds uit het feit dat de PVC zandvanger pas zand vanaf één meter hoogte zand vangt. Hierdoor worden kruip en saltatie, die zich boven het oppervlak plaatsvinden (paragraaf 2.1.1), niet ingevangen. De PVC zandvanger probeert voornamelijk inzicht te geven in de horizontale component van de overstuiving. De twijfels die er zijn omtrent het meten van overstuiving met de PVC zandvanger zijn uiteengezet in paragraaf 4.2.2. In paragraaf 4.2.2 wordt ingegaan op de effectiviteit van de PVC zandvanger voor het meten van overstuiving.

Toepassing

Het gegeven dat de PVC zandvanger in theorie toepasbaar moet zijn om inzicht te geven in overstuiving wordt ondersteund door de toepassing in praktijk. Arens, Everts, Kooijman, Leek, Nijssen en de Vries (2012) zetten de PVC zandvangers in om de hoeveelheid overstuiving (kwalitatief) te bepalen bij verschillende type kustrepen (op verschillende plaatsen langs de Nederlandse kust, zoals op Texel, Vlieland en bij Castricum). Tevens wordt aan de hand van deze metingen gekeken naar de invloed van suppleties op de mate van overstuiving. Door PVC zandvangers vanaf de kustreep in een transect te plaatsen (landwaarts) kan een indicatie worden gekregen van de overstuiving (geen absolute kwantiteit), de transportgradiënt en daarmee de tussen de meetpunten plaatsvindende depositie. Het leeg halen van de opvangreservoirs in meerjarige monitoringsprojecten hoeft idealiter volgens Arens et al. (2012) slechts één keer per jaar plaats te vinden. Voor de Zandmotor wordt vanwege de, betrouwbaarheid om de twee weken het reservoir geleegd. De overweging hiertoe is toegelicht in paragraaf 4.2.2.

Daarnaast wordt de PVC zandvanger toegepast in het monitoringsproject van de Zandmotor (DHV , 2010; Witteveen+Bos, 2014). In het kader van het Zandmotor project worden PVC zandvangers achter de zeereep geplaatst, zoals is weergegeven in Figuur 8. In dit project wordt de PVC zandvanger ook specifiek gebruikt voor meten van “sand spray” ofwel (fijne) overstuiving. Door dit te doen moet een beeld worden verkregen in de mate waarin de eventuele nieuwe duindynamiek invloed heeft op de natuurwaarden in het huidige duingebied. Het toepassen van PVC zandvangers moet in dit project inzicht geven in de verandering in overstuiving (indicatief) achter de Zandmotor. Door de meetresultaten te koppelen aan vegetatiemonitoring zou eventueel uitspraak kunnen worden gedaan naar de invloed van de Zandmotor op eventuele ecologische veranderingen.

Uit toepassing in verschillende onderzoeken (Arens, et al., 2012; Witteveen+Bos, 2014) blijkt dat de PVC zandvanger toepasbaar lijkt voor het meerjarig monitoren van overstuiving over de zeereep, mits deze frequent wordt gecontroleerd en leeg gehaald (meerdere keren per jaar). De precieze frequentie van legen hangt af van de duindynamiek en de afstand tot de zeereep. Andere toepassingsmogelijkheden zijn niet bekend want, door de constructie kan het zich niet richten op het meten van saltatie of kruip en daarmee het bepalen van duinaangroei. De PVC zandvanger lijkt in theorie toepasbaar om een indicatie van het in transport bevindende gedeelte van overstuiving te geven en de overstuivingsgradiënt over een transect te bepalen. Door het feit dat de PVC zandvanger de horizontale component van het transport meet kan niet direct de depositie worden bepaald. Echter lijkt deze te kunnen worden geschat aan de hand van het verschil in ingevangen zand tussen 2 meetpunten op een transect.

4.1.3 Methode knikkerbakken

De “knikkerbakken methode”, in de literatuur beter bekend als de Marble Dust Collector(MDCO) (Ganor, 1975) is een horizontale ‘sand trap’ (Figuur 4).



Figuur 4: De methode “knikkerbakken” (MDCO) (de Groot, et al., 2012)

De MDCO bestaat uit een rechthoekige plastic bak, 52,5 cm lang, 31,5 cm breed en 10 cm hoog, met daar bovenop een filter. Deze filter bestaat uit een zeef, met openingen van 0,5 cm, met daar bovenop twee lagen met knikkers ($\varnothing 1,5$ cm). De knikkers zorgen voor ruwheid op microschaal waardoor zand/stof wordt vastgehouden en niet gemakkelijk uit de vanger verdwijnt. Door water over de knikkerbak te spoelen, ofwel door regen, zal het vastgehouden zand in het opvangreservoir komen. Door dit reservoir te wegen, nadat water en ander organisch materiaal zijn verwijderd, kan de hoeveelheid depositie gedurende een periode worden bepaald (Goossens, 2004).

Toepassing

Op basis van het proces eolisch zandtransport mag verwacht worden dat de MDCO, als horizontale zandvanger met het opvangoppervlak op maaiveldhoogte, in staat moet zijn om de transportwijzen kruip en saltatie te meten. De MDCO is hier echter niet geschikt voor, doordat opvangcapaciteit van de MDCO te beperkt is om grote hoeveelheden transport op te vangen. Tevens treedt het probleem op dat als de opvangcapaciteit wordt bereikt, de betrouwbaarheid van de meting niet gegarandeerd kan worden. Er vindt dan namelijk uitspatting en uitstuiving plaats uit het opvangreservoir.

De MDCO wordt voornamelijk toegepast voor het meten van stof ($< 63 \mu\text{m}$) in woestijngebieden (Goossens & Offer, 1994; Goossens & Offer, 2000; Offer & Goossens, 2001; Sow, Goossens, & Rajot, 2006; Goossens & Rajot, 2008). In deze onderzoeken wordt de MDCO toegepast om een inzicht te krijgen in de depositie en accumulatie (met een korte meettijd (halve dagen tot 3 dagen) over een lange termijn (jaren)), of in de verticale depositie flux ten opzichte van de horizontale flux of om de transportflux over de hoogte te bepalen. Geconcludeerd wordt dat de MDCO voor deze doelen als standaard meetinstrument zou moeten dienen omdat deze eenvoudig is in gebruik en onderhoud (Goossens & Offer, 1994). Daarnaast wordt geconcludeerd dat voor het meten van de horizontale flux op basis van een gemeten verticale flux met de MDCO niet betrouwbaar is door de lage efficiëntie. De efficiëntie (welk percentage wordt ingevangen) van de MDCO ten aanzien van het meten van de verticale flux ligt meestal onder de 50%, afhankelijk van korrelgroottes, windsnelheden en de windrichting. Voor het bepalen van de horizontale flux bedraagt deze echter slechts een paar procent. Gesteld door Goossens & Rajot (2008) dat door de bekende efficiëntie van de MDCO een (ruw) inzicht kan worden gegeven in het werkelijk plaatsvindende transport of de transportflux over de hoogte (door de MDCO's in een mast boven elkaar te plaatsen). De samplingtijd van de MDCO dient te worden beperkt. Als de knikkerbak verstopt begint te raken, kan er zand op de knikkers blijven liggen. Dit zorgt voor een verandering in efficiëntie en beïnvloed daarmee de betrouwbaarheid van de meting. Om deze reden is de MDCO in het onderzoek van Goossens (2004) om de twee weken geleegd.

Een andere omgeving waar de MDCO wordt toegepast om de verticale accumulatie flux ofwel depositie te bepalen, is een binnenlands stuifzandgebied (Kootwijkerzand) (Riksen & Goossens, 2007). De MDCO is hier te midden van vegetatie geplaatst zodat door "splash" (spaterosie) geïnitieerd zandtransport niet wordt gevangen. Volgens Riksen en Goossens (2007) is in een laag dynamisch gebied de MDCO te midden van vegetatie mits een frequente samplingtijd zodat de betrouwbaarheid van de meting gegarandeerd kan worden, zeer geschikt. De MDCO's werden in dit onderzoek op 4 locaties (in een transect van de hoofdverstuivingswindrichting) geplaatst om de gradiënt van depositie te bepalen.

Daarnaast wordt de MDCO ook toegepast om in het duin depositie van short term suspensie (Figuur 2), zowel kwantitatief als over een landwaarts transect vanaf het voorduin in kaart te brengen gedurende storm events (de Groot, et al., 2012). Het in kaart brengen van “short term suspension”, ofwel overstuiving, is vanuit ecologisch perspectief belangrijk (paragraaf 2.2.2). Er kan dus worden gesteld dat de MDCO voor hetzelfde doel als de PVC zandvangsers ingezet kan worden. Het verschil is dat de PVC zandvangsers, door de constructie, het in de lucht bevindende transport meet en de MDCO op maaiveldhoogte de depositie meet. Beide methodieken proberen dus op verschillende wijze een maat van de overstuiving te bepalen. Over beide methodieken bestaat twijfel over de effectiviteit ten aanzien van het meten van overstuiving. De effectiviteit ten aanzien van het meten van overstuiving met de MDCO is te vinden in paragraaf 4.2.3. In paragraaf 4.3 is een analyse gedaan van de beschikbare data bij Solleveld om meeteffectiviteit “in praktijk” van beide meetmethodieken te vergelijken.

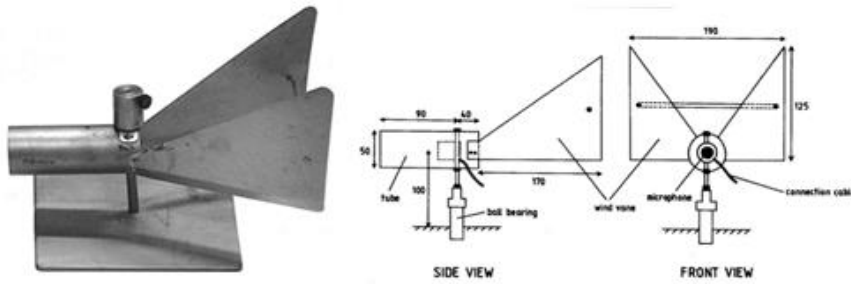
Kortom kan worden gesteld dat de MDCO theoretisch toepasbaar lijkt, om inzicht op zowel korte tijdschaal (dagen/weken) als lange tijdschaal (jaren) te geven in stofdepositie en verdelingen over de hoogte in agrarische en woestijnomgevingen. Tevens lijkt de MDCO ook toepasbaar voor het inzicht geven in de mate van overstuiving in een stuifzand of duingebied (meerjarige monitoring). De MDCO lijkt in deze situaties specifiek toepasbaar voor het meten van (werkelijke) depositie en de gradiënt in de overstuiving vanaf het voorduin, mits deze frequent (meerdere keren per jaar) wordt gelegeerd. De precieze frequentie van legen hangt af van de duindynamiek en de afstand tot de zeereep.

4.1.4 Saltifoon

De saltifoon (Spaan & van den Abeele, 1991) is een akoestische sensor die impacts van salterende deeltjes registreert doormiddel van een gevoelige microfoon (Figuur 5). De microfoon bestaat uit een gevoelig membraam met een diameter van 10 mm, welke zich bevindt in het midden van een stalen buis die 130 mm lang is en een diameter van 50 mm heeft (Figuur 5). Deze buis beschermt de microfoon tegen weersinvloeden. Op de achterzijde buis bevinden zich twee windvanen die ervoor zorgen dat de microfoon te allen tijde in de windrichting staat gericht. De saltifoon wordt door een 500 mm lange stalen pin in de grond gezeerd. De saltifoon is in hoogte verstelbaar tot een hoogte van 50 cm boven het oppervlak, zodat deze in het gebied waar saltatie bevindt geplaatst kan worden. Als er saltatie optreedt registreert de microfoon een signaal met hoge frequentie. Door dit signaal te versterken en de laag frequente signalen er uit te filteren, kan onderscheid worden gemaakt tussen tonen veroorzaakt door de impact van zandkorrels en die door wind en regen. De saltifoon kan twee verschillende signalen doorsturen naar de datalogger, een digitaal signaal welke alleen de intensiteit registreert en een analoog signaal welke zowel de intensiteit als de kinetische energie van de inslaande korrel registreert.

Toepassing

De toepassing van de saltifoon wordt sterk beïnvloed door het registratievermogen van de microfoon. Er bestaat hier geen consensus over. De Lima, van Dijk en Spaan (1992) beweren dat impacts door korrels met een grootte van 50 μm al worden gemeten terwijl Scott van Pelt, Peters en Vissers (2009) beweren dat dit pas vanaf een grootte van 106 μm gebeurt. Er kan gesteld worden dat de saltifoon hierdoor alleen geschikt is voor het in kaart brengen van saltatie intensiteit.



Figuur 5: De saltifoon (Goossens, Offer, & London, 2000)

Bij het meten met de saltifoon ondervindt men problemen met het omzetten van de gemeten intensiteit (een aantal counts) naar een transportvolume (m^3/s). Coquet (2010) heeft hiertoe een poging gedaan. Dit heeft echter niet tot het gewenste resultaat geleid doordat naast de gemeten intensiteit de transportverdeling over de hoogte bekend moet zijn, het registratie oppervlak van de saltifoon niet goed te meten is en het output signaal moeilijk is te relateren aan massa (Poortinga, et al., 2013). In de windtunnel is door Poortinga et al. (2013) wel een goed verband gevonden tussen transportvolume en de gemeten intensiteit. Dit verband is gevonden door de geregistreeerde kinetische energie over de hoogte te bepalen, de snelheid van de korrels te bepalen en uit deze twee gegevens een flux te berekenen. De problemen die zich voordoen met het toepassen van de saltifoon om transport te kwantificeren en inzicht te geven in duinaangroei, oftewel de effectiviteit ten aanzien van deze aspecten, zijn uiteengezet in paragraaf 4.2.4.

Met enige zekerheid valt wel te zeggen dat de saltifoon geschikt is om de invloed van verschillende variabelen die de mate van eolisch zandtransport bepalen in kaart te brengen, zoals gedaan is in de Lima, van Dijk en Spaan (1992), Arens (1994) en de Vries (2013). Door variabelen te isoleren kan meer inzicht worden verkregen in de tijds- en ruimtelijke gebondenheid van het optreden van eolisch zandtransport. Transportmodellen kunnen mogelijk verbeterd worden door meer inzicht in eolisch zandtransport. Voor deze toepassing is het niet nodig om kwantitatief transport te bepalen, maar kan aan de hand van een gemeten intensiteit al waardevolle informatie worden verkregen. Door het vermogen van de saltifoon om op zeer kleine tijdschaal (seconden) transportintensiteit te meten kan gesteld worden dat deze hiervoor geschikt is. Een inzicht in de effectiviteit ten aanzien van dit aspect is terug te vinden in paragraaf 4.2.4.

Een andere situatie waarin de saltifoon toepasbaar lijkt, is als inzicht gegeven moet worden in de verticale transportverdeling (intensiteit). Hierin kan inzicht worden verworven door meerdere saltifoons boven elkaar te plaatsen. Hierbij dient rekening te worden gehouden met het feit dat het registratievermogen van de saltifoon verschilt voor verschillende korrelgroottes. Doordat de korrelgrootte van de in transport bevindende deeltjes afneemt met de hoogte en de saltifoon inslag van kleinere korrels minder goed registreert, verschilt de efficiëntie van de saltifoon over de hoogte. Ten aanzien van het gebruiken van de saltifoon voor het inzicht geven in de verticale transportverdeling zijn nog meer twijfels (paragraaf 4.2.4).

Kortom, er kan gesteld worden dat de saltifoon geen inzicht lijkt te kunnen geven in de mate van overstuiving. De saltifoon is namelijk alleen in staat de intensiteit van saltatie te meten. Saltatie omvat wel het grootste deel van het transport op het strand (Bagnold, 1954) en is daarmee bepalend voor duinaangroei, maar in het duin is deze nauwelijks aanwezig. Als in de toekomst een beter inzicht is verworven in de relatie tussen het meten van intensiteit door de saltifoon en de bijbehorende

transporthoeveelheid lijkt de saltifoon toepasbaar voor het meten van duinaangroei op kleine tijdschaal. Dit door saltifoons in een transect te plaatsen en te veronderstellen dat de tussenliggende afname van transport gelijk is aan de depositie die er plaats vindt. Ook lijkt de saltifoon in theorie toepasbaar om op korte tijdschaal de intensiteit van het eolisch zandtransport te bepalen en daarmee eventueel inzicht te kunnen geven in de invloed van verschillende supply limiting factors.

4.1.5 Samenvattend

Samenvattend kan gesteld worden dat in theorie de PVC zandvangers, de MDCO en de saltifoon voor de volgende aspecten toepasbaar zijn:

- De MDCO lijkt toepasbaar in een gebied waar de transport hoeveelheid laag is om de depositie (werkelijke maat) door overstuiving in het duin gedurende een lange periode te bepalen.
- De saltifoon zou in staat moeten zijn om op korte tijdschaal inzicht te geven in de saltatie intensiteit. Hierdoor lijkt de saltifoon toepasbaar om de invloed van een aantal supply limiting factors op het optreden van eolisch zandtransport te bepalen. In de toekomst zou de saltifoon ook toepasbaar kunnen zijn voor het kwantificeren van transport en daarmee duinaangroei (korte tijdschaal) door het feit dat dit in de windtunnel al mogelijk is gebleken. De saltifoon is niet in staat om suspensie te meten waardoor deze ongeschikt lijkt voor het meten van overstuiving.
- De PVC zandvanger lijkt toepasbaar om gedurende langdurige monitoring een indicatie te geven van het in transport bevindende gedeelte van overstuiving, de gradiënt van overstuiving te bepalen en een schatting te geven van de depositie (door in transecten te meten).

De hiervoor beschreven punten zijn in de onderstaande kruistabel (Tabel 1) overzichtelijk weergegeven:

Tabel 1: Theoretische toepasbaarheid meetmethodieken

Toepassing	PVC zandvanger	MDCO	Saltifoon
Lange tijdschaal monitoring (jaren)	X ¹	X ¹	
Korte tijdschaal monitoring (weken/maanden)	X	X	
Zeer korte tijdschaal (events) (uren/dagen)	X ²	X ²	X
Duinaangroei			X ³
Inzicht in het proces en bepalende factoren			X
Overstuiving	X	X	
Indicatie	X	X	
Depositie	X ⁴	X	

1) Mits frequente controle en leeghalen opdat de betrouwbaarheid gewaarborgd wordt.

2) De invloed van events op de totale hoeveelheid transport en lange termijn effecten hiervan als de termijn van legen frequent is.

3) Eventueel na meer onderzoek naar de correlatie tussen gemeten intensiteit en transport hoeveelheid in de toekomst.

4) Als in een transect geplaatst en verondersteld mag worden dat ondertussen geen nieuw transport wordt geïnitieerd.

4.2 Effectiviteit van de meetmethoden

Theoretisch gezien zijn deze meetmethodieken elk in staat om een inzicht te geven in de doelen waarvoor ze worden ingezet, echter zijn er in het veld een aantal factoren die de meeteffectiviteit beïnvloeden en daarmee het accuraat meten van deze doelen bemoeilijken. Allereerst worden de factoren die de meeteffectiviteit beïnvloeden uiteengezet. Vervolgens zal voor elke methodiek worden bekeken welke problemen zich voordoen en met welke factoren (die de meeteffectiviteit mogelijk beïnvloeden) rekening moet worden gehouden met het meten van het beoogde doel. Dit zal tezamen leiden tot een samenvattende interpretatie over de effectiviteit van de meetmethoden.

4.2.1 Factoren die de meeteffectiviteit beïnvloeden

Een eerste factor die de meeteffectiviteit beïnvloed is dat de meeste meetmethodieken wel in windtunnels zijn geëvalueerd, en daar accuraat zijn bevonden, maar dat hun prestaties in het veld anders kunnen zijn (Baas, 2008; Goossens & Rajot, 2008). De reden hiervoor is dat in een windtunnel alle variabelen die de hoeveelheid gevangen zand door de vanger bepalen gecontroleerd kunnen worden. Zo kan systematisch worden bepaald bij verschillende wind- en sedimentparameters hoeveel transport van het totaal wordt ingevangen, zonder dat rekening gehouden hoeft te worden met bijvoorbeeld windturbulenties. In het veld zijn de omstandigheden daarentegen dermate wisselend, hier treden veel (ruimtelijk wisselende) turbulenties op, en variëren de variabelen die de mate van transport bepalen in zowel tijd als ruimte. Dit zorgt ervoor dat de evaluaties gedaan in de windtunnel komen niet overeenkomen met de werkelijkheid (Baas, 2008; Goossens & Rajot, 2008). Dit maakt het nodig dat bij het kwantificeren van zandtransport een referentiemeter moet worden gebruikt, waarvan de eigenschappen onder allerlei omstandigheden bekend zijn. Zodat de efficiëntie van de zandvanger kan worden bepaald (Nickling & McKenna Neuman, 1997; Goossens & Offer, 2000).

De efficiëntie is volgens Goossens & Offer (2000) en Sow, Goossens & Rajot (2006) afhankelijk van vijf factoren: de grootte en de vorm van de vanger, de relatieve (ten opzichte van de vanger) windsnelheid, de korrelgrootte, het depositie oppervlak in de vanger en de tijd (doordat de vanger minder gaat vangen naar mate meer is opgevangen). Een goede manier om een zandvanger in een windtunnel te kalibreren is door gebruik te maken van een isokinetische zandvanger. Isokinetisch betekent dat de windsnelheid en luchtstroming door het opvanggedeelte gelijk is aan dat van de voorzijde (Nickling & McKenna Neuman, 1997). Hierdoor is deze zandvanger in staat om onder verschillende omstandigheden een efficiëntie van bijna 100% te halen. Deze meetmethodiek is door de constructie alleen geschikt voor het gebruik van kalibratie in een windtunnel. In het veld ondervindt ook deze methodiek hinder van wisselende omstandigheden. Een probleem dat hiermee samenhangt, en zowel van invloed is op de kwantificatie door de zandvanger zelf als de gestelde 100% efficiëntie van de referentie zandvanger, is dat niet bepaald kan worden welk percentage van de totale zandkolom wordt gemeten. De zandkolom die gemeten dient te worden fluctueert namelijk in tijd ruimte en locatie. Het bepalen van deze zandkolom is daardoor onmogelijk. Dit heeft tot gevolg dat het gebruik maken van een referentiemeter geen verbetering oplevert in het inzicht krijgen in het totale transport op een bepaalde locatie in het veld. Met enige voorzichtigheid kan hieruit geconcludeerd worden dat het meten van een transporthoeveelheid niet mogelijk blijkt te zijn met behulp van zandvangers. Wel kan een betere schatting van het totale transport worden gemaakt als bekend is wat de efficiëntie van een zandvanger in een windtunnelexperiment (onder ideale meetomstandigheden) is. Mocht blijken dat de efficiëntie van een zandvanger in een

windtunnelexperiment laag is dan hoeft dit niet te betekenen dat deze slecht is. Goossens en Offer (2000) stellen juist dat een lage efficiëntie onder events met hoge intensiteit, zoals stormen, een voordeel kan bieden. Zo kan hierdoor langer gemeten worden voordat het reservoir vol raakt. Echter heeft een lage efficiëntie tot gevolg dat met een grotere factor vermenigvuldigd moet worden om een beeld te krijgen van het werkelijke transport. Dit leidt er toe dat meetfouten ook met deze factor vermenigvuldigd worden.

Een andere factor die de meeteffectiviteit beïnvloedt, komt voort uit de constatering dat gemeten data locatie- en tijdsgebonden is. De oorzaak hiervan is dat het proces eolisch zandtransport in de ruimte en de tijd sterk fluctueert (Goossens & Offer, 2000). De fluctuaties in het proces eolisch zandtransport zijn het gevolg van windfluctuaties (in het bijzonder turbulenties en richting) en de het variëren van de aanwezigheid en invloed van de supply limiting factors. Dat dit een probleem is wordt bevestigd door het feit dat vaak is geprobeerd om transportvolumes (uit laseraltimetrie) te correleren aan windstatistieken, maar hier nooit een correlatie tussen is gevonden. Om gemeten data goed te kunnen interpreteren zou bekend moeten zijn in welke mate welke supply limiters in het gemeten gebied aanwezig is, in welke mate deze van invloed is op het transport en hoe het windpatroon en de daarbij horende turbulenties er in de ruimte uitzien. Door deze onzekerheid is het onmogelijk om data verkregen met puntmetingen (zandvangers) te extrapoleren over een groter gebied danwel tijdspanne. Als een correcte schatting moet worden gemaakt van het transport dan dienen om deze reden op een groot aantal plaatsen in een gebied metingen te worden verricht. Het meten over een groot gebied brengt weer moeilijkheden met zich mee op het gebied van logistiek (het aantal meetpunten, benodigde apparatuur en mankracht) en invloeden van buitenaf zoals dierlijke en menselijke activiteit zowel op het strand als in het duin. Uit deze optredende problemen kan worden opgemaakt dat het meten met (verticale, PVC) zandvangers nog geen nauwkeurig inzicht kan geven in het werkelijk optredende transport. Daarnaast moet voorzichtig worden omgegaan met meetresultaten van alle zandvangers (geen extrapolatie mogelijk).

Een derde factor die de meeteffectiviteit beïnvloedt, is dat per locatie verschillend is wanneer de grootste hoeveelheden transport plaatsvinden en als grote hoeveelheden transport plaatsvinden deze complex zijn om te meten. In landbouwgebieden, stuifzandgebieden en in woestijnen zijn extreme events bepalend voor het grootste gedeelte van het transport op jaarbasis (Offer & Goossens, 2001; Riksen & Goossens, 2007). Terwijl langs de kust eolisch zandtransport het grootst is gedurende gemiddelde events (Bauer & Davidson-Arnott, 2002). Events bepalen een groot deel van het jaarlijkse transport waardoor het meten hiervan cruciaal lijkt te zijn. Het meten van events is erg lastig, doordat er grote lokale en tijdsgebonden verschillen optreden in de meetomgeving. Deze optredende verschillen worden veroorzaakt door sterke variatie in de aanwezigheid van supply limiting factors, veranderingen in bodemhoogte en de aanwezigheid van veel windturbulentie gedurende een event. Deze zorgen niet alleen voor grote ruimtelijk verschillen in het zandtransport maar bemoeilijken ook de interpretatie van de gemeten resultaten. Daarnaast doet zich een ander probleem voor bij het meten van zandtransport in hoog dynamische gebieden, strand, en in het bijzonder events. De opvangcapaciteit van een zandvanger is namelijk beperkt, wat er toe leidt dat deze snel kan vol raken. Het vol raken van het opvangreservoir kan invloed hebben op de efficiëntie van de zandvanger, zoals bijvoorbeeld beschreven is door Sow, Goossens en Rajot (2006) voor de MDCO. Gedurende events kan de opvangcapaciteit van een zandvanger na tien minuten al bereikt zijn. Om de betrouwbaarheid van de meting te kunnen garanderen dienen om deze reden zandvangers zeer frequent leeg te worden gemaakt. Uit het voorgaande kan worden afgeleid dat

zandvangers moeilijk in staat zijn om in dynamische gebieden over een langere termijn te zorgen voor monitoring. In het duin treedt het vol raken van het opvangreservoir minder snel op, maar er moet wel met zorg gekeken naar de locatie waar de zandvanger geplaatst dient te worden.

4.2.2 PVC zandvangers

In theorie is de PVC zandvanger in staat om een indicatie te geven van de transporthoeveelheid, de transportgradiënt te bepalen en de depositie ten gevolge van overstuiving over de zeereep te schatten. Hieronder zal aan de hand van kritische noten en specifiek optredende problemen met het meten een inschatting worden gemaakt van de effectiviteit voor de voorgestelde “theoretische” toepasbaarheid.

Een eerste kritische noot is afkomstig van dhr. M. Riksen (bijlage C.1). Hij is kritisch op het feit dat het originele concept waarop de PVC zandvanger is gebaseerd (Leatherman), inzicht geeft in saltatie transport op het strand en niet wordt gebruikt voor het meten in het duin. Gesteld kan worden dat het concept zich nog niet bewezen heeft in het meten van overstuiving in het duin. Door het ontbreken van bewijs dat de PVC zandvanger daartoe goed instaat is, blijft het gissen naar de kwaliteit van de metingen. Dhr. S. Arens stelt daarentegen dat de juiste aanpassingen (zoals in de constructie) zijn verricht om een indicatie te kunnen geven van het transport en de transportgradiënt van overstuiving over een lange termijn in het duin te meten.

Een andere factor die de effectiviteit van de PVC zandvanger mogelijk beïnvloedt, komt voort uit de constructie. Het afdekgaas aan de achterzijde van de PVC zandvanger heeft een zeefdiameter van 100 μm . Dit kan tot gevolg hebben dat waarschijnlijk een deel van de overstuiving (zeer kleine korrels, kleiner dan 100 μm) niet wordt ingevangen. Zandkorrels in overstuiving hebben in het algemeen namelijk een diameter tussen de 20 en 70 μm (mogelijk ook iets groter), waardoor dus niet al het transport wordt ingevangen. De PVC zandvanger is op deze mogelijke tekortkoming (in een windtunnel) nog niet getest. Een uitspraak doen over de invloed hiervan op de efficiëntie van de zandvanger is dus niet mogelijk. Voor het geven van een indicatie van het transport (tussen transecten) en een transportgradiënt vormt dit waarschijnlijk geen probleem als de manier van meten maar gelijk wordt gehouden. Wel dient hiermee rekening te worden gehouden dat als data vergeleken wordt met een meting uitgevoerd door een andere zandvanger. Ook heeft dit tot gevolg dat de effectiviteit afneemt door de constatering dat de efficiëntie van de zandvanger landwaarts mogelijk zal afnemen. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat dichtbij de kust de in transport verkerende korrels groter zijn dan landwaarts hiervan. Mogelijk kan daardoor worden verondersteld dat dicht bij de kust een groter deel van het transport wordt gevangen dan landwaarts daarvan.

Een derde factor die mogelijk de meeteffectiviteit van de PVC zandvanger beïnvloedt, komt ook voort uit de constructie. De PVC zandvanger is statisch, wat wil zeggen dat de vanger niet meedraait met de wind. Een groot deel van het transport wordt mogelijk hierdoor niet ingevangen. De windrichting die zorgt voor het meeste transport is kustlangs en staat dus niet loodrecht op de zandvanger. Gesteld kan worden dat de PVC zandvanger dus mogelijk een onderschatting van de hoeveelheid transport op jaarbasis geeft, waardoor slechts data ten opzichte van een andere PVC zandvanger of transect kan worden vergeleken.

Een vierde probleem met de toepasbaarheid van de PVC zandvanger is dat het afdekgaas aan de achterzijde af en toe door kraaien wordt stuk gemaakt. Als over de lange termijn betrouwbaar moet worden gemeten, dient door dit optredend probleem regelmatige controle (om de twee weken) van de vanger plaats te vinden. Mocht dit niet worden gedaan dan kunnen grote ongewenste datagaps optreden in de monitoring van het proces. Een gevolg hiervan is dat het meten met deze methodiek arbeidsintensief is. Het frequent legen brengt ook een voordeel met zich mee, zo kan meer inzicht

worden gegeven in de invloed van events op de totale overstuiving en de relatie van events met lange termijn processen.

Een laatste factor die mogelijk de effectiviteit van het meten van overstuiving beïnvloedt, is dat het in de lucht bevindend zand wordt gemeten. Dit terwijl de input van zand (kalk) op het oppervlak juist zeer belangrijk is bij het meten van overstuiving in ecologische context (paragraaf 2.2.2). De PVC zandvanger geeft hier dus niet direct inzicht in. Door de PVC zandvanger in een transect te plaatsen en aan te nemen dat het verschil tussen twee meetpunten gelijk is aan de tussengelegen depositie kan wel een schatting worden gemaakt van de hoeveelheid kalk input. De mogelijkheid hiertoe zal verder bekeken worden in paragraaf 4.3.3.

Samenvattend kan gesteld worden dat er een aantal factoren zijn die de effectiviteit en daarmee de toepasbaarheid van de PVC zandvanger beïnvloeden. Door met de PVC zandvanger te meten kan een indicatie gekregen worden van het transport en de transportgradiënt van overstuiving. Dit onder de voorwaarden dat er met zorg wordt gekeken naar het ingevangen resultaat en er regelmatige (arbeidsintensieve) controle en leeghalen van het reservoir plaatsvindt. Tevens valt ten behoeve van het meten van het effect van overstuiving niet met zekerheid te zeggen of de zandvanger hier direct inzicht in geeft door het feit dat niet direct de depositie van stuivend zand kan worden bepaald. De toepasbaarheid hieromtrent komt uitgebreider aan de orde in paragraaf 4.3.3.

4.2.3 Methode knikkerbakken

In theorie lijkt de MDCO toepasbaar voor het meerjarig monitoren van de werkelijk plaatsvindende depositie en de transportgradiënt vanaf het voorduin van overstuiving. Hieronder zal aan de hand van kritische noten en specifiek optredende problemen een inschatting worden gemaakt van de effectiviteit ten aanzien van de voorgestelde toepasbaarheid.

Een eerste factor waar rekening mee moet worden gehouden als de effectiviteit gegarandeerd moet worden, is dat zorgvuldig dient te worden gekeken naar de locatie waar de MDCO wordt geplaatst en de termijn van legen. Het eerste opvangreservoir van de MDCO is beperkt en er vindt alleen doorspoeling van het ingevangen zand naar het tweede reservoir onder de knikkerbak plaats als het regent. Zodra het eerste opvangreservoir vol begint te raken, verandert de efficiëntie en is de meting niet betrouwbaar (paragraaf 4.2.1). De MDCO is daardoor niet effectief in omgevingen waar veel transport en weinig regen plaatsvindt. Alleen als regelmatige controle wordt uitgevoerd kan een effectieve meting worden gegarandeerd. De hoeveelheid controles en daarbij het legen van de MDCO is afhankelijk van de locatie en de wens tot het meten van events (frequenter).

Daarnaast deden zich bij het originele concept een aantal problemen voor die invloed hadden op de effectiviteit. Een eerste probleem hangt samen met de hiervoor genoemde locatiekeuze. Als de MDCO op een locatie wordt geïnstalleerd wordt de vegetatiebedekking kleiner is dan 90%, dan werd “splash” transport (spaterosie) ingevangen. Het optredend probleem is dat in die situatie naast depositie ook transport door regendruppelinslag wordt ingevangen. Dit leidt tot een verstoring van hetgeen gemeten dient te worden. Een ander probleem op een dergelijke locatie is dat dierlijke activiteit kan zorgen voor ruis in de meting. Zo is bij een meting bij Solleveld van dhr. M. Riksen een muis langs de knikkerbak aan het graven geweest, die daarmee zand in de MDCO heeft “getransporteerd”. Een derde probleem die de meeteffectiviteit beïnvloedde is dat de originele knikkerbak geen extern reservoir heeft. Wanneer het lang en hard regent zorgde dit ervoor dat het reservoir vol liep met water en daardoor het opvangen van zand niet meer mogelijk was. Tevens

zorgde dit ook voor uitspoeling van ingevangen zand en de ontwikkeling van (kleine) dierlijke activiteit in de knikkerbak. Om deze reden heeft dhr. M. Riksen het originele concept van de MDCO aangepast en daarmee de effectiviteit verhoogd. Er is allereerst een(tweede) extern opvangreservoir (Figuur 6) onder de knikkerbak gemonteerd waar zowel het doorgespoelde zand als het water in wordt opgevangen. Doordat zand op de bodem van het externe reservoir terecht komt heeft extreme regenval geen invloed meer op de effectiviteit van de meting.



Figuur 6: a) De "nieuwe MDCO" met extern opvangreservoir b) Het doorspoelen zodat alles in het opvangreservoir komt (foto's (13-11-2013) afkomstig van dhr. M. Riksen)

Daarnaast wordt voor het meten in een omgeving met een vegetatiebedekking onder de 90% een kunststof grasmat om de MDCO heen geplaatst. Dit beperkt de invloed van spaterosie en voorkomt eventuele invloed dierlijke activiteit rondom de knikkerbak (Figuur 7). Door deze aanpassingen stelt dhr. M. Riksen dat het nieuwe concept rekening houdend met de locatie (niet te dynamisch) een invangefficiëntie voor depositie, als gevolg van overstuiving, heeft van 100%. Ook is het verbeterde concept een stuk minder bewerkelijk, makkelijker te legen en zijn de kosten van een MDCO gedaald naar 60 euro per stuk.



Figuur 7: De "nieuwe MDCO" te midden van een kunstgrasmatje ter voorkoming van het invangen van spaterosie en invang door dierlijke activiteit (foto's afkomstig van dhr. M. Riksen)

Er zijn nog wel een paar dingen die naast een plaatsing op de verkeerde locatie de effectiviteit van de MDCO zouden kunnen beperken. Zo bestaat een knikkerbak uit een kunstmatig oppervlak met harde elementen. Hierdoor kan uitstuiving en het "afketsen" van zand optreden. Al wordt door dhr. M. Riksen gesteld dat het gladde oppervlak van de "knikkerbak" juist voorkomt dat uitspatting/-stuiving plaatsvindt. Een oordeel hierover blijft in het midden aangezien voor beide wat valt te zeggen. Zo kan

de ruwheid van de knikkerbak zorgen voor het vasthouden van zand maar heeft een kunstmatig oppervlak altijd iets andere eigenschappen dan het daadwerkelijke (omliggende) oppervlak. Tevens meet de MDCO wel depositie (bruto), maar wat zegt dit nu eigenlijk over de zand input (netto). De MDCO meet alleen depositie, maar door erosie verdwijnt er ook sediment. Dit kan overschatting tot gevolg hebben van de werkelijke input van kalk, oftewel vindt dan mogelijk onderschatting plaats van het effect van overstuiving op de duinecologie plaats. Het verschil tussen bruto en netto depositie is echter zeer klein, doordat er nauwelijks erosie optreedt op een locatie met een hoge vegetatiebedekking.

Kortom, er kan gesteld worden dat problemen omtrent de bewerkelijkheid en betrouwbaarheid van de MDCO zijn verholpen door het introduceren van een verbeterd concept door dhr. M. Riksen. Dit heeft tot gevolg dat de MDCO effectief lijkt voor zijn toepassing in het meten van de depositie als gevolg van overstuiving. Wel dient bij het meten met de MDCO nog steeds met zorg worden gekeken naar de locatie van meten. Zowel qua vegetatiebedekking als de hoeveelheid transport die daar plaatsvindt. Deze factoren hebben invloed op zowel de termijn van legen als de meeteffectiviteit. Echter kan er wel getwijfeld worden aan de effectiviteit van het meten van overstuivingseffecten in het duin door het feit dat geen rekening wordt gehouden met secundaire verstuiving en het oppervlak van de knikkerbak afwijkt van een natuurlijk oppervlak.

4.2.4 Saltifoon

De saltifoon lijkt in theorie toepasbaar voor het meten van saltatie intensiteit, het op korte tijdschaal inzicht geven in (de invloed van) de supply limiting factors en in de toekomst eventueel voor het in kaart brengen van duinaangroei. Hieronder zal aan de hand van kritische noten en specifiek optredende problemen een inschatting worden gemaakt van de effectiviteit ten aanzien van de voorgestelde toepasbaarheid.

Een eerste factor die effectiviteit van de saltifoon beïnvloedt, is dat elk geregistreerd signaal na 1 ms wordt afgebroken. Hierdoor kan de saltifoon maximaal 1000-1200 impacts per seconde meten (de Vries, 2013). Het aantal impacts op de microfoon kan daarentegen hoger zijn, doordat er meerdere impacts gedurende de 1 ms meettijd kunnen plaatsvinden (Sterk, Jacobs, & van Boxel, 1998). Dit kan een meetfout bij hoge saltatie intensiteiten veroorzaken. Een gevolg hiervan is dat metingen gedurende hevige events niet altijd betrouwbaar zijn (onderschatting van de werkelijke intensiteit). Ook geeft volgens Goossens, Offer en London (2000) de gemeten saltatiedata alleen een goed beeld op het punt waarop gemeten wordt en mag deze niet geëxtrapoleerd worden over het strand, wat invloed heeft op de gehele toepasbaarheid van de saltifoon.

Een tweede factor die de effectiviteit beïnvloedt, zijn de logistieke nadelen die de saltifoon heeft. Ten eerste is bij het meten altijd een (stroom)kabel nodig. Dit maakt het moeilijk om een lang transect of op veel verschillende plaatsen te meten. Een ander logistiek nadeel is dat het membraam (voor de microfoon) na verloop van tijd vervangen zou moeten worden als gevolg van slijtage of moet de microfoon na de meting opnieuw gekalibreerd worden om de betrouwbaarheid van de resultaten te kunnen waarborgen.

Daarnaast ondervindt de saltifoon ook problemen met de effectiviteit ten aanzien van het in kaart brengen van factoren die invloed hebben op de transportintensiteit. Het meten van (de invloed van) "splash" gedreven transport zoals de Lima et al. (1992) beschrijven lijkt niet mogelijk door de

constatering dat de saltifoon gedurende regen niet betrouwbaar kan meten. Dit wordt veroorzaakt (interview dhr. S. Arens (Bijlage C.3)) doordat de buis van de saltifoon gedurende regen verstopt raakt met zand, wat enorme invloed heeft op de meetresultaten. Dhr. S. Arens heeft (Arens S. , 1994) met behulp van de saltifoon een veldonderzoek van negen maanden een correlatie gevonden tussen vochtigheid en de transport intensiteit. Hieruit kan worden afgeleid dat de saltifoon toch effectief lijkt te zijn om inzicht te geven in bepaalde factoren die invloed hebben op het proces eolisch zandtransport. Rekening moet er wel mee gehouden worden dat de gevonden correlatie zowel het gevolg kan zijn van een fysische relatie als een verschil in meeteffectiviteit onder verschillende omstandigheden.

Ook doen er zich problemen voor ten aanzien van effectiviteit met het kwantificeren van een hoeveelheid transport door middel van een gemeten transport intensiteit. Poortinga et al. (2013) stellen dat tot op heden alleen in de windtunnel op kleine schaal een goede relatie is gevonden tussen de gemeten intensiteit en een transporthoeveelheid. Ook moet rekening worden gehouden met het feit dat om een transport flux te kunnen bepalen, informatie over de “shear velocity”, sleepsnelheid, benodigd is. Deze is in het veld zeer moeilijk te bepalen (Poortinga, et al., 2013). Er kan dus geconstateerd worden dat op dit moment de saltifoon nog niet toepasbaar is voor het kwantificeren van eolisch zandtransport. Ook het koppelen van een eventueel gemeten transporthoeveelheid aan duinaangroei is lastig. Dit komt door het feit dat gedurende events, wanneer er veel transport is, niet nauwkeurig met de saltifoon gemeten kan worden zoals in de tweede alinea is toegelicht.

Kortom, er kan gesteld worden dat de saltifoon op alle fronten beperkingen heeft, zowel wat betreft meetnauwkeurigheid, logistiek, betrouwbaarheid als de interpretatie van de gemeten data. Dit heeft serieuze invloed op de effectiviteit en daarmee toepasbaarheid van de saltifoon. Wel lijkt de saltifoon in “normale” situaties op korte tijdschaal in staat om transportintensiteit goed te meten en de invloed van een aantal supply limiting factors op de transportintensiteit te kunnen bepalen. De saltifoon is niet in staat om suspensie en gedurende events te meten waardoor deze ongeschikt is voor het meten van overstuiving.

4.2.5 Samenvattend

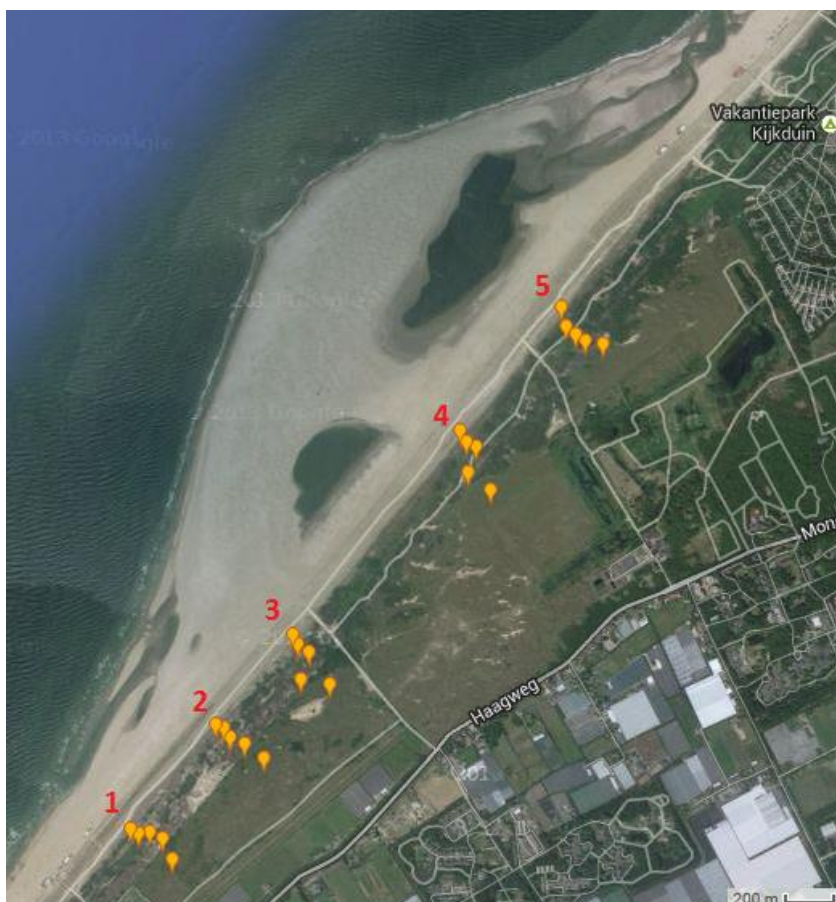
De effectiviteit van alle meetmethodieken moet in perspectief worden geplaatst door het feit dat er veel moeilijkheden optreden met het meten van eolisch zandtransport. Zo is de schaal waarop gemeten wordt niet gelijk aan de schaal waarop effecten en het te meten proces plaatsvindt. Tevens is er veel variabiliteit in het optreden (en de hoeveelheid) van transport. Overige moeilijkheden en problemen die optreden met het meten zijn terug te vinden in paragraaf 4.2.1. Als deze problemen in ogenschouw worden genomen lijkt het er op dat de PVC zandvanger in staat is om een indicatie te geven van het werkelijke transport en de transportgradiënt van overstuiving. De MDCO lijkt een goede kwantificatie te kunnen geven van de werkelijke depositie van overstuiving, doordat nu veel meetproblemen zijn verholpen. De vraag blijft of de metingen met deze twee meetmethodieken goed te koppelen zijn aan de effecten van overstuiving. Zo meet de MDCO depositie maar lijkt daarbij geen rekening met secundaire verstuiving te worden gehouden en geeft de PVC zandvanger alleen een indicatie (geen absolute hoeveelheden) van de overstuiving. De saltifoon heeft op alle fronten beperkingen zowel wat betreft meetnauwkeurigheid, logistiek, betrouwbaarheid als de interpretatie van de gemeten data. De saltifoon kan in “normale” situaties op korte tijdschaal wel de transportintensiteit goed meten. Hierdoor is het wel mogelijk om de invloed van een aantal supply

limiting factors op de transportintensiteit te kunnen bepalen. Een inzicht in overstuiving kan met de saltifoon daarentegen niet gegeven worden, doordat deze niet geschikt is om suspensie en gedurende events te meten.

4.3 Monitoring van overstuiving in praktijk

Om uitspraak te kunnen doen over hoe de veldmonitoring van overstuiving in de praktijk aansluit bij de theorie over toepasbaarheid en effectiviteit is een data-analyse gedaan. Dit aan de hand van data van metingen met de PVC zandvangers bij de Zandmotor en van metingen met de MDCO bij Solleveld. Allereerst zal in deze paragraaf worden gekeken naar correlaties binnen de datasets en zullen opvallende elementen nader worden bekeken. Daarna zal data van transect 1 van de PVC zandvangers vergeleken worden met de data van het MDCO transect bij Solleveld (Figuur 15). Dit om te kijken of de factoren geïndiceerd in paragraaf 4.2 mogelijk van invloed zijn op de toepasbaarheid van deze twee meetmethodieken voor het meten van overstuiving. Doordat de data restricties kent, zullen in dit rapport alleen genormaliseerde data gebruikt worden (bijlage D).

Dhr. S. Arens heeft in een interview aangegeven dat tot op heden nog te weinig zand is ingevangen door de PVC zandvangers achter de Zandmotor om een gedegen analyse te doen. Dit is volgens Dhr. S. Arens te wijten aan het feit dat de eerste kustverdedigingzone is versterkt (suppletie) en is ingepland met helm. Dit heeft er toe geleid dat overstuiving maar beperkt kan optreden. De vijf transecten met PVC Zandvangers die achter de Zandmotor zijn geplaatst ten behoeve van het monitoren van de overstuiving zijn hieronder topografisch weergegeven (Figuur 8). (De coördinaten van de meetpunten zijn afkomstig van dhr. S. Arens).



Figuur 8: De vijf transecten van PVC zandvangers achter de Zandmotor

4.3.1 Variaties binnen dataset Zandmotor monitoring en Solleveld data

PVC zandvanger data

De eerste variatie die opvalt binnen de dataset van de Zandmotor monitoring (bijlage D.1) is dat bij drie van de vijf transecten op locatie D meer wordt ingevangen dan op locatie B (Figuur 9). Een mogelijke verklaring hiervoor zal worden gegeven in de volgende paragraaf (paragraaf 4.3.2). Hier zal worden ingegaan op de “kwantitatieve vergelijking” tussen deze data.

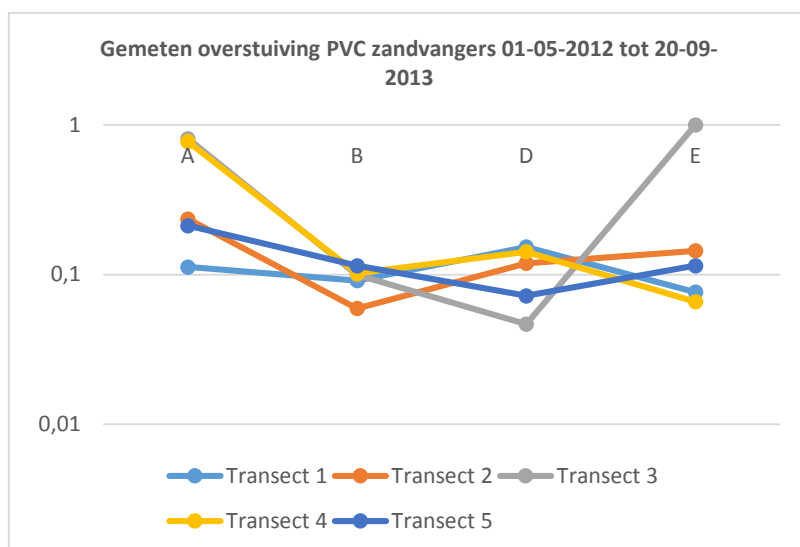


Figuur 9: Transect (1) met karakteristieke eigenschappen

In Tabel 2 is te zien welke verhouding bestaat tussen de zandvangst op locatie B respectievelijk D. Grafisch is dit weergegeven in Figuur 10. De verschillen zowel binnen als tussen de verschillende transecten zijn hierin waarneembaar. Zo valt te zien dat bij transect 2 twee keer zoveel wordt ingevangen bij D dan bij B, terwijl bij transect 3 twee keer zoveel wordt ingevangen bij plek B dan bij plek D. De spreiding in de gemeten overstuiving is dus aanzienlijk achter de Zandmotor. Tevens valt uit Figuur 10 af te leiden dat een kwadratisch afnemende gradiënt, zoals in Arens et al. (2012), niet waarneembaar is in deze dataset. Deze kwadratisch afnemende gradiënt is gevonden in een vergelijkbare duinsituatie. Dit betekent dat er mogelijk factoren in het spel zijn die de meeteffectiviteit op deze locatie beïnvloeden of het feit dat de meeteffectiviteit per locatie verschilt door verschillende factoren zoals genoemd in paragraaf 4.2.1 en 4.2.2. Hier zal dieper op in worden gegaan in paragraaf 4.3.2.

Tabel 2: Genormaliseerde gemeten overstuiving van 01-05-2012 tot 20-09-2013 met factor D/B per transect

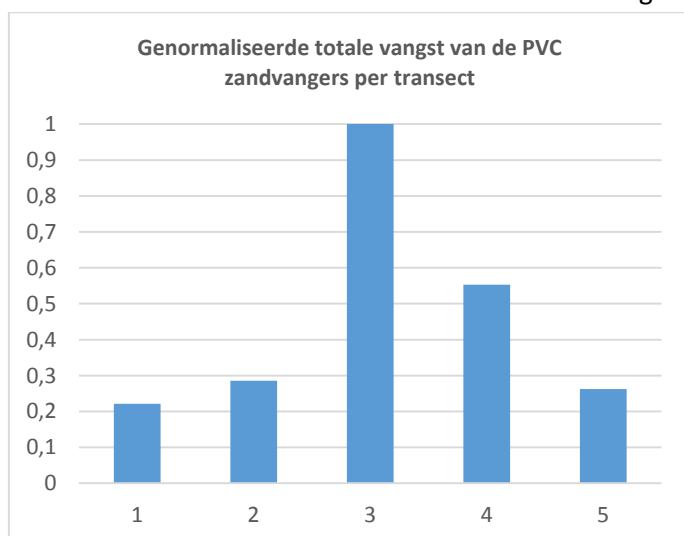
Transect	Locatie A	locatie B	Locatie D	Locatie E	Factor D/B
1	0,113	0,091	0,153	0,076	1,68
2	0,236	0,059	0,119	0,144	2,02
3	0,811	0,100	0,047	1,000	0,47
4	0,773	0,102	0,142	0,066	1,39
5	0,212	0,115	0,072	0,115	0,63



Figuur 10: Gemeten overstuiving op de verschillende transecten

Tevens is in de dataset waar te nemen dat gedurende begin januari 2011 de gemeten hoeveelheden veel hoger zijn dan in de rest van de monitoring. Een verklaring hiervoor wordt door dhr. S. Arens (2013) gegeven. Gedurende deze maand hebben werkzaamheden aan het duinfietspad plaatsgevonden, waardoor er zich in het meetgebied open zandhopen bevonden. Dit losliggende zand is gemakkelijk transporteerbaar, wat tot meer overstuiving heeft geleid. Hierdoor wordt de data die tijdens deze periode is verzameld onbetrouwbaar geacht voor een data-analyse. Dit heeft tot gevolg dat de data die gemeten is vanaf 1 mei 2011 pas gebruikt zal worden voor een analyse.

Verder is variatie te ontdekken in de totale hoeveelheid zandvangst over de verschillende transecten. In transect 3 wordt 4,5x zo veel ingevangen als in transect 1 (Bijlage D.1). Een verklaring hiervoor kan zijn dat de Zandmotor invloed heeft op de mate van overstuiving. Er is geen nul meting verricht zodat niet kan worden gesteld dat dit daadwerkelijk het geval is. Wel kan vanuit de theorie gesteld worden dat als de strandbreedte en de voor hoeveelheid beschikbaar zand toenemen, het transport dan ook toeneemt (paragraaf 2.2.2). Ook is te zien dat (Figuur 11) in de transecten 1,2 en 5 ongeveer dezelfde hoeveelheid wordt ingevangen, maar dat in transect 4 al twee keer zoveel wordt ingevangen en dat in transect 3 zelfs meer dan vier keer zoveel wordt ingevangen.



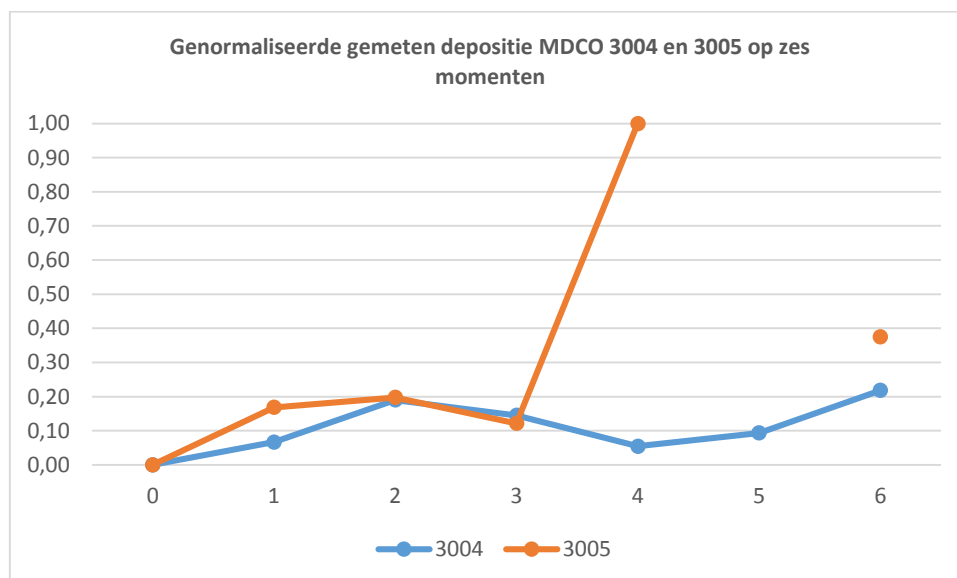
Figuur 11: Genormaliseerde totale vangst van PVC zandvangers (A,B,D en E) per transect (01-05-2012 tot 20-09-2013). Op basis van Tabel 7 (bijlage D.1)

De transecten 1 en 2 (Figuur 8) liggen ten zuiden van de Zandmotor, waardoor misschien verklaart kan worden dat hier minder zand wordt gevangen. Transect 5 ligt direct achter de Zandmotor. Een verklaring is hierdoor niet direct te geven. Wel valt op te merken dat transect 5 achter de lagune ligt (Figuur 8), wat invloed kan hebben op de resultaten. Saltatie en kruip transport zullen hier bij aanlandige wind namelijk grotendeels in verdwijnen. Daarnaast ondervindt de omgeving geen invloed van de getijdenwerking. Een beperkte invloed van getijdenwerking veroorzaakt een statische korrelverdeling. Deze statistische korrelverdeling kan mogelijk een lagere zandvangst mogelijk verklaren. Een statische korrelverdeling houdt in dat al sortering van korrels heeft plaats gevonden en de toplaag bijna alleen bestaat uit relatief grote zandkorrels, welke moeilijker transporteerbaar zijn. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat op verschillende punten op een transect de meeteffectiviteit van de PVC zandvanger verschilt, doordat de grootte/hoogte van de zandwolk over het transect mogelijk verandert. Dit zorgt er voor dat op de minimale vangst die de PVC zandvanger doet dit effect serieuze invloed kan hebben. Ook zou de meetefficiëntie van de methode voor verschillende korrelgroottes (paragraaf 4.2.2) een verklaring kunnen zijn voor de gemeten verschillen. Deze mogelijke verklaring komt voort uit het feit dat de korrelgrootteverdeling per locatie kan verschillen, waardoor het deel dat van het totale transport op een locatie wordt ingevangen verschilt.

MDCO data

Het eerste dat opvalt binnen de genormaliseerde MDCO dataset (bijlage D.2) is dat meetpunt 3003 kustwaarts ligt van 3002. Dit terwijl de afstand tot de bron volgens dhr. M. Riksen zou moeten toenemen vanaf het eerste meetpunt. In de onderstaande vergelijkingen en correlaties zullen de coördinaten, zoals bekend (3003 kustwaarts van 3002) en de daaruit volgende locaties als uitgangspunt worden genomen.

In de MDCO dataset bij Solleveld (bijlage D.2) en in de onderstaande Figuur 12 valt waar te nemen dat bij 3005 landwaarts van 3004 meer wordt ingevangen in 4 van de 5 perioden.



Figuur 12: Genormaliseerde gemeten depositie MDCO 3004 en 3005 op zes momenten tussen 25-02-2011 en 14-10-2013

Dit is dus overeenkomstig met de meting van de PVC zandvangers, waar op locatie D meer wordt ingevangen dan op locatie B. Daarnaast valt op dat er één meting (door 3002) is die verreweg de

grootste hoeveelheid heeft gemeten. Dit is in de periode tussen 19-8-2011 en 13-1-2012. Ook de periode die aansluitend gemeten is, is zeer groot in vergelijking met de rest van de ingevangen depositie. Een ander opvallend detail is dat de depositie die gemeten is op locatie 3003 en 3002 om de beurt hoger zijn. Dit terwijl verondersteld mag worden dat de locatie landwaarts (3003) minder zou moeten worden gemeten omdat er een kwadratisch afnemend verband bestaat met een toenemende afstand tot de bron (Arens, et al., 2012). Dit kan het gevolg zijn van variërende omstandigheden zowel in de tijd als per locatie die zoals vermeld in paragraaf 4.2.1 de meeteffectiviteit (wisselend) kunnen beïnvloeden.

4.3.2 Correlaties in dataset Zandmotor monitoring

Wind

Voordat naar de correlaties tussen wind en de gemeten hoeveelheid overstuiving wordt gekeken moeten de volgende punten in acht worden genomen:

- Dhr. S. Arens heeft in het interview (bijlage C.3) aangegeven dat hij geen correlatie gevonden heeft tussen wind en een hoeveelheid transport (in het algemeen).
- De winddata die beschikbaar is, is afkomstig van een KNMI meetpunt bij de Hoek van Holland. Dit betekent dat er rekening moet worden gehouden met het feit dat deze data kan afwijken wind bij de Zandmotor (paragraaf 4.2.1). Dit is ook geconstateerd in de tussenevaluatie van de Zandmotor (Witteveen+Bos, 2014).
- Doordat wind en andere factoren op het strand zeer bepalend zijn voor de hoeveelheid transport (paragraaf 4.2.1) kan winddata niet direct de verschillen binnen de data van de vijf PVC zandvanger transecten verklaren.

Ondanks deze optredende problemen met het onderzoeken van een correlatie van de sedimentdata met winddata, zal globaal gekeken worden aan de hand van dagelijks gemeten (wind)gegevens (bijlage D.3) naar de invloed hiervan op de hoeveelheid gemeten overstuiving (events) (bijlage D.1).

In Tabel 3 zijn de weken weergegeven waarin de gemeten hoeveelheden (genormaliseerde data is terug te vinden in bijlage D.1) door de PVC zandvangers relatief hoog waren en de gemeten windstatistieken in die zelfde periode bij de Hoek van Holland. Doordat de zandvangers “statisch” zijn, meten ze alleen transport dat (bijna) loodrecht op het invangoppervlak staat en wordt hierdoor onderscheid gemaakt tussen relatief aanlandige wind (West en Noord) en aanlandige wind (Noordwest).

Het beeld is zeer wisselend zoals te zien is in Tabel 3. Dagen met harde (aanlandige) wind vallen samen met zowel weinig als grote gemeten hoeveelheden. Terwijl ook dagen met relatief weinig harde aanlandige samen vallen met zowel grote als kleine gemeten hoeveelheden overstuiving. Er zijn dus naast wind ook andere factoren die invloed hebben op de hoeveelheid overstuiving (paragraaf 2.1.3). Als meer inzicht in een correlatie met wind verkregen zou moeten worden, zijn naast winddata per uur ook zandvangsten per uur benodigd. De gevangen kwantiteit overstuiving zal gedurende een uur hier helaas te minimaal voor zijn.

Tabel 3: Globale relevante winddata bij grotere gemeten (absolute) hoeveelheden overstuiving (kwalitatieve benadering in verband met vertrouwelijkheid gegevens).

14 dagen vanaf	1-5-2012	11-6-2012	21-8-2012	13-11-2012	27-11-2012
Wind	2 dagen zacht relatief aanlandig. 1 dag zacht en 1 dag redelijk aanlandig.	1 dag zacht relatief aanlandig. 1 dag zacht en 1 dag redelijk aanlandig.	1 dag hard relatief aanlandig. 1 dag hard en 1 zeer dag hard aanlandig.	2 dagen zacht aanlandig.	2 dagen zacht, 1 dag redelijk en 1 dag zeer hard relatief aanlandig. 1 dag zacht, 2 dagen hard en 1 dag zeer hard aanlandig.
Transport-hoeveelheid (kwalitatief)	Redelijk	Weinig	Redelijk	Redelijk	Weinig met redelijke uitschieter
14 dagen vanaf	14-12-2012	11-1-2013	5-4-2013	3-5-2013	14-6-2013
Wind	2 dagen zacht relatief aanlandig.	1 dag zacht, 1 dag redelijk en 3 dagen hard relatief aanlandig. 2 dagen zeer hard aanlandig.	1 dag zacht aanlandig.	2 dagen zacht en 2 dagen redelijk aanlandig.	2 dagen zacht en 2 dagen redelijk relatief aanlandig. 1 dag zacht en 2 dagen redelijk aanlandig
Transport-hoeveelheid (kwalitatief)	Weinig met grote uitschieter	Heel weinig	Weinig met enorme uitschieter	Weinig	Redelijk

Topografische ligging

Omdat geen directe correlatie te vinden is tussen windgegevens en gemeten hoeveelheden overstuiving door de PVC zandvangers bij de Zandmotor dient gekeken te worden naar mogelijk andere bepalende factoren. Omdat geen data beschikbaar is van de supply limiting factors gedurende de monitoring, zal gekeken worden naar de invloed van topografische ligging van de verschillende zandvangers.

De eerste variatie die eventueel verklaard zou kunnen worden door het kijken naar topografische ligging is dat op locatie D van de transecten 1,2 en 4 (Figuur 8) meer wordt ingevangen dan op locatie B. Bij transect 1 voor locatie D is een open zandplek voor de zandvanger waar te nemen (Figuur 9). Hierdoor is het mogelijk dat secundaire verstuiving kan plaatsvinden, welke een hogere vangst zou kunnen verklaren. Bij transect 2 is dit niet zo expliciet het geval, al zou kunnen worden gesteld dat door een grote open zandige plek ten zuidwesten van locatie D en een overwegend zuidwestenwindklimaat eventueel de hogere zandvangst verklaard zou kunnen worden. Bij dit transect op locatie B is namelijk ook redelijk wat open zand rondom de zandvanger te herkennen (Figuur 13), waardoor deze hogere zandvangst in perspectief geplaatst moet worden.



Figuur 13: Transect 2 PVC zandvangers



Figuur 14: Transect 4 PVC zandvangers

Bij transect 4 is in de buurt van locatie B geen open zandvlakte te bekennen, terwijl voor locatie D een kleine open zandvlakte ten Noordwesten van de zandvanger is te herkennen (Figuur 14).

Een algemene hypothese voor de constatering dat een grotere hoeveelheid ingevangen zand op de D locatie dan op de B locatie is dat alle zandvangers die geplaatst zijn op locatie D zich achter de derde duintop bevinden, terwijl de zandvangers op de B locaties zich in de laagte tussen de eerste en tweede duintop bevinden. Dit zou tot gevolg kunnen hebben dat het gemeten transport hier hoger is. Tijdens een hevig event kan immers op de kruin van een duintop en in de laagte tussen de eerste en tweede duintop op de open zandige vlakken nieuw transport geïnitieerd worden door de wind.

Er dient wel rekening te worden gehouden dat bij slechts drie van de vijf transecten meer transport wordt ingevangen op locatie D dan B. Een algemene conclusie valt niet te trekken maar er zijn dus wel mogelijkheden, die eventueel deze verschillen kunnen verklaren. Verder spelen ook lokale omstandigheden een grote rol, wat tot gevolg heeft dat de meeteffectiviteit per locatie en in de tijd zeer wisselend kan zijn. Het meten vindt namelijk plaats in het veld waar zich veel turbulenties voordoen. Het betreft niet het meten in gecontroleerde omgeving (windtunnel) waarin verondersteld mag worden dat een verschil direct verklaard kan worden door de ene of andere opvallende variatie in omstandigheden of locatie. Turbulenties kunnen op locatie B, achter de eerste duintop, sterker aanwezig zijn op locatie D, achter de derde duintop, wat de zandkolom kan doen verschillen. Dit zou het verschil in vangst kunnen verklaren. Tevens zou de meeteffectiviteit hierdoor kunnen verschillen per locatie (paragraaf 4.2.1).

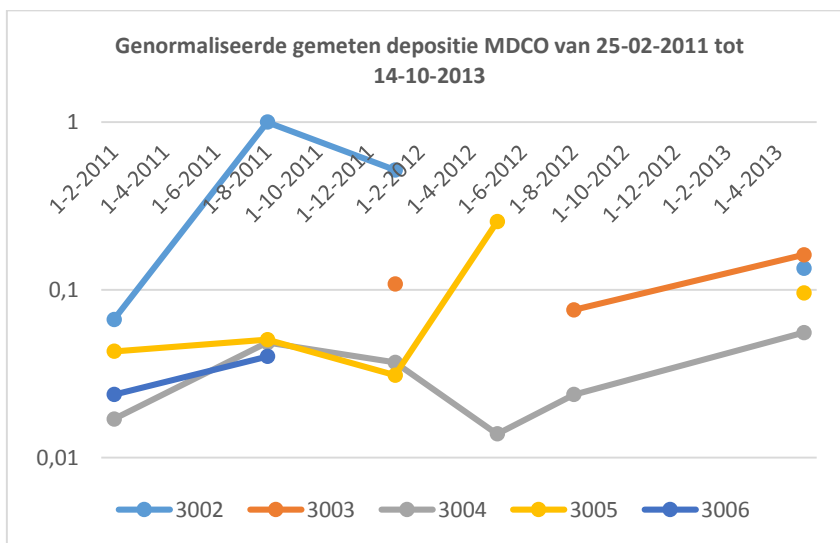
4.3.3 Vergelijking tussen dataset Zandmotor monitoring en Solleveld data

Voor het vergelijken van beide datasets is gekozen voor het vergelijken van PVC zandvanger transect 1 met gemeten data door de MDCO bij Solleveld. Deze transecten liggen op relatief kleine afstand ten opzichte van elkaar (Figuur 15) en zijn daardoor enigszins vergelijkbaar.



Figuur 15: Transect 1 PVC zandvangers en het MDCO transect bij Solleveld

In beide datasets is een zelfde soort trend (Figuur 10 en Figuur 16) te herkennen. Beide geven op een plek achter het duin, D respectievelijk 3005, een hogere ingevangen waarden dan de hiervoor gelegen plek (landwaarts), B respectievelijk 3004. Wat te wijten zou kunnen zijn aan veel verschillende factoren, fysische en eigenschappen van de vanger zelf, die zowel invloed hebben op lokale als globale meeteffectiviteit (paragraaf 4.3.2).



Figuur 16: Genormaliseerde gemeten depositie MDCO bij Solleveld tussen 25-02-2011 tot 14-10-2013 per transect

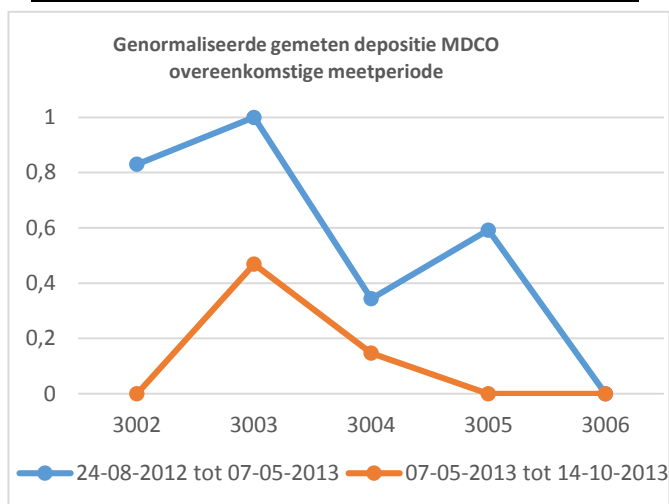
Het probleem dat zich voordoet met het vergelijken van beide datasets is dat slechts gedurende de perioden 21-8-2012 tot 3-5-2013 en 7-5-2013 tot 14-10-2013 ongeveer tegelijkertijd is gemeten. In andere periodes ontbreekt te veel data. Hierdoor is voor deze perioden geen vergelijking mogelijk. De laatst genoemde periode moet wel met zorg bekeken worden, doordat de meting van de PVC zandvangers slechts tot 20-9-2013 gaat waardoor bijna 4 weken van meetresultaten niet wordt meegenomen.

Tabel 4: Genormaliseerde gemeten depositie overeenkomstige perioden

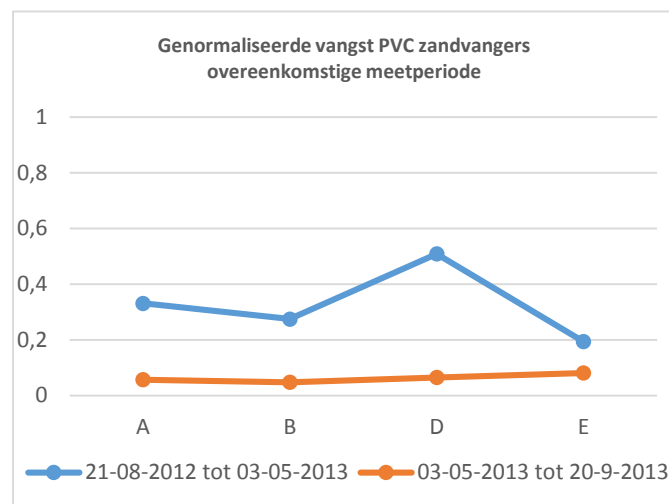
Meetpunt/ Datum	24-08-2012 tot 07-05- 2013	07-05-2013 tot 14-10-2013
3002	0	0,830
3003	0,469	1
3004	0,147	0,344
3005	verstoord	0,592
3006	Geen data	Geen data

Tabel 5: Genormaliseerde vangst PVC MDCO zandvangers transect 1 overeenkomstige perioden

Meetpunt/ Datum	21-08-2012 tot 03-05-2013	03-05-2013 tot 20-09-2013
A	0,331	0,057
B	0,275	0,048
D	0,509	0,065
E	0,194	0,081



Figuur 17: Grafische weergave overeenkomstige data: a) MDCO



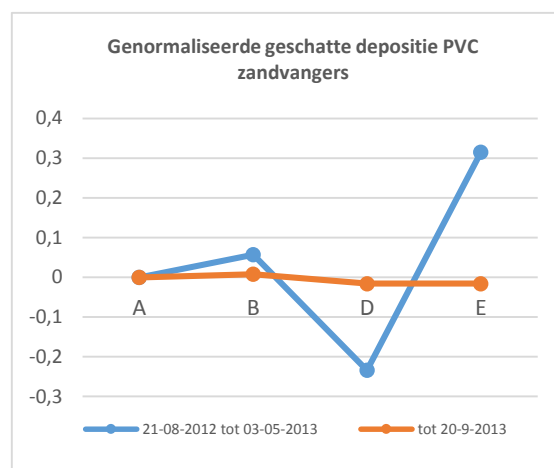
B) PVC Zandvanger

Op basis van deze overeenkomstige data (Tabel 4, Tabel 5 en Figuur 17) is het niet mogelijk om een conclusie te trekken doordat zowel te weinig data beschikbaar is, als het feit dat de MDCO depositie meet en de PVC zandvangers het transport in de lucht. Er vallen wel twee dingen op tussen Tabel 4 en Tabel 5 (grafisch weergegeven in Figuur 17 en Figuur 18). De perioden waar veel wordt ingevangen komen overeen en de kwantiteit die de MDCO heeft ingevangen ligt significant hoger voor de tweede “overeenkomstige” periode. Dit kan het gevolg zijn van de mogelijkheid dat de meeteffectiviteit onder bepaalde, extremere in dit geval, van de MDCO of de PVC zandvanger toeneemt of afneemt. Een toename in meeteffectiviteit kan veroorzaakt worden doordat onder bepaalde omstandigheden relatief meer wordt ingevangen van hetgeen de vanger meet (hogere efficiëntie). Maar het kan ook veroorzaakt worden door een afname van efficiëntie als gevolg van het feit dat extra, ander, transport wordt ingevangen dan bedoeld is. Een andere mogelijke verklaring is dat een hogere zandvangst in deze periode mogelijk verklaard wordt door het gegeven dat de meetperiode van de MDCO 4 weken langer is dan die van de PVC zandvanger.

Door het feit dat de MDCO direct depositie meet en de PVC zandvangers de horizontale component meet zijn de meetgegevens niet direct vergelijkbaar. Door te veronderstellen dat tussen twee meetpunten op een transect (PVC zandvangers) geen nieuw transport geïnitieerd wordt, de hoeveelheid afname van transport gelijk is aan de depositie die heeft plaatsgevonden tussen deze twee punten. De veronderstelde geschatte tussenliggende depositie is hieronder in Tabel 6 en Figuur 18 weergegeven.

Tabel 6: Genormaliseerde geschatte depositie PVC zandvangers

Datum	21-08-2012 tot 03-05-2013	03-05-2013 tot 20-09-2013
A	0	0
A-B	0,057	0,008
B-D	-0,234	-0,016
D-E	0,315	-0,016



Figuur 18: Geschatte depositie PVC zandvangers

Als men dit vergelijkt met de MDCO data (Tabel 4 en Figuur 17a) valt op dat de geschatte depositie met de PVC zandvanger data niet goed overeenkomt met de gemeten depositie. Dit valt enerzijds mogelijk te wijten aan het feit dat de PVC zandvanger op locatie 1B minder meet dan op locatie 1D waardoor een negatieve waarde te vinden is in de depositie. Volgens de PVC zandvanger zou erosie optreden terwijl volgens de data van de MDCO verondersteld kan worden dat accumulatie optreedt. Anderzijds valt dit mogelijk te verklaren door het gegeven dat de PVC zandvanger niet in staat zou zijn om depositie te schatten ofwel de MDCO niet in staat zou zijn om secundaire verstuiwing of erosie te meten.

4.3.4 Samenvattend

Er is één (overeenkomstige) zeer opvallende variatie te vinden binnen de data van de PVC zandvanger en die van de MDCO, namelijk dat op de meetlocatie direct achter de derde duintop meer zand wordt ingevangen dan in de duinvallei. Dit geldt zelfs voor 3 van de 5 transecten van de Zandmotor monitoring over de gehele meetduur. Verklaringen voor deze overeenkomstige variaties kunnen fysische verschillen betreffen maar kunnen ook duiden op een verschil in meetefficiëntie en daarmee effectiviteit op verschillende locaties en onder verschillende omstandigheden. Dit mogelijke verschil in meeteffectiviteit kan eventueel voortkomen uit de mogelijkheid dat turbulenties op de ene locatie meer aanwezig zijn dan op de andere. Een andere mogelijke verklaring is dat onder bepaalde omstandigheden de zandvanger (PVC zandvanger of MDCO) meer of minder invangt dan het specifieke transport waarvoor deze ontworpen is. De effectiviteit en daarmee toepasbaarheid van beide meetmethodieken kunnen daardoor verschillen van de “theoretische” toepasbaarheid. Bij het meten in het veld kan gesteld worden dat verschillen in zandvangsten niet direct worden veroorzaakt door de omgeving, invloed van supply limiting factors, (turbulenties in) wind of topografische ligging, maar dat de eigenschappen, efficiëntie en effectiviteit (welk deel van het variërende transport (zandkolom) wordt gevangen) van een meetmethodiek die inzicht probeert te geven in een bepaald deel van overstuiving ook gemeten verschillen kan verklaren.

In ogenschouw moet hierbij wel genomen worden dat de gemaakte vergelijking en data-analyse wel een aantal beperkingen heeft. Ten eerste is volgens dhr. S. Arens nog te weinig ingevangen door de PVC zandvangers voor een werkelijke data-analyse en daarnaast zijn de periodes die de vergelijking tussen de MDCO en de PVC zandvanger mogelijk hebben gemaakt niet van lange duur en ontbreekt veel data. Er zijn dus geen “harde” conclusies te trekken ten aanzien van meeteffectiviteit maar er zijn wel een aantal factoren geïndiceerd die invloed hierop zouden kunnen hebben.

5 Discussie, Conclusie & Aanbevelingen

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in de toepasbaarheid en effectiviteit van de eolisch zandtransport meetmethodieken PVC zandvangers , “knikkerbakken” en de saltifoon voor het meten van overstuiving over de zeereep. Door het koppelen van de “theorie” over toepasbaarheid en effectiviteit van elk van de drie meetmethodieken aan daadwerkelijke metingen kunnen ten aanzien van het doel, conclusies worden geformuleerd. In dit hoofdstuk worden de conclusies gepresenteerd, zal een discussie hiervan plaatsvinden en zullen aanbevelingen voor verder onderzoek worden gedaan.

Er kan worden gesteld dat in “theorie” de methode “knikkerbakken”(MDCO) en de PVC zandvangers toepasbaar lijken voor het inzicht geven in de overstuiving over de zeereep, maar dat in “praktijk” opvalt dat er veel verschillende factoren zijn die de meeteffectiviteit zouden kunnen beïnvloeden. De saltifoon is niet toepasbaar voor het meten van overstuiving door het gegeven dat deze niet in staat is om suspensie verkerend transport te meten. De saltifoon is alleen geschikt voor het meten van de intensiteit van saltatie en geeft daarmee inzicht in de factoren die een rol spelen bij het zandtransport op lokale schaal. De PVC zandvanger en de methode “knikkerbakken” geven beiden inzicht in een andere component van overstuiving over de zeereep. De PVC zandvanger geeft een indicatie van het in transport bevindende gedeelte. De methode “knikkerbakken” geeft inzicht in de werkelijke maat van depositie. De vraag blijft of beide metingen wel goed te koppelen zijn aan de effecten van overstuiving. Zo meet de MDCO wat neerkomt maar lijkt daarbij geen rekening te houden met secundaire verstuiving en meet de PVC zandvanger geen absolute hoeveelheid overstuiving maar geeft deze slechts een indicatie hiervan.

Ook moet de effectiviteit van alle meetmethodieken in perspectief worden geplaatst door het feit dat er veel moeilijkheden optreden met het meten van eolisch zandtransport, zowel geconstateerd in “theorie” als in “praktijk”. Zo is de schaal waarop gemeten wordt niet gelijk aan de schaal waarop effecten en het te meten proces plaatsvindt. Tevens is er veel variabiliteit in het optreden (en de hoeveelheid) van transport door de variatie van de supply limiting factors en wind(turbulenties) in tijd, ruimte en locatie. Hierdoor mag geen extrapolatie plaatsvinden en leidt er toe dat gemeten resultaten moeilijk te interpreteren zijn. Daarnaast treedt het probleem op dat de grootte en hoogte van de gemeten zandkolom niet bekend is en deze varieert in tijd en ruimte. Een ander probleem met het meten van transport komt voort uit de beperkte opvangcapaciteit van de zandvangers. Hierdoor kunnen events en situaties waar veel transport optreedt lastig gemeten worden. In “praktijk” valt verder op dat de effectiviteit niet alleen af hangt van de omstandigheden, maar ook van de eigenschappen en het ontwerp van een vanger onder deze wisselende omstandigheden. De toepasbaarheid en effectiviteit van de PVC zandvangers en MDCO kan dus alleen gegarandeerd worden in een situatie (in het duin) waarin de hoeveelheid transport relatief klein is en deze in perspectief wordt geplaatst met de moeilijkheden die er zijn met het meten van eolisch zandtransport.

Uit het voorgaande kan worden afgeleid dat er drie aspecten zijn die ten grondslag zouden moeten liggen aan de keuze voor het meten met een bepaalde methodiek; welk proces dient in kaart te worden gebracht, wat is het achterliggende doel en over welke tijdschaal met welke precisie dient gemeten te worden. Hierdoor is het mogelijk om ondanks alle haken en ogen toch op de beste mogelijke manier inzicht te geven in het proces dat gemeten dient te worden.

Aanbevelingen voor verder onderzoek zijn:

1) Om de PVC zandvangers en de methode “knikkerbakken” in het veld direct naast elkaar te plaatsen zodat meer inzicht kan worden verkregen in verschillen en overeenkomsten, en daarmee een specifiek inzicht in de toepasbaarheid en effectiviteit, in het meten van overstuiving over de zeereep door deze twee methoden.

2) Om verder onderzoek te doen naar een meetmethode die direct inzicht geeft in de overstuiving. Dit zou enerzijds kunnen door een nieuwe meetmethodiek te ontwerpen die onafhankelijk van de windsnelheid en richting is en op verschillende hoogtes in staat is om een werkelijke hoeveelheid transport te bepalen. Hierbij zou kunnen worden gekeken naar het meten in analogie met een cleanroom (van stof). De gedachten hierachter zijn dat door een vast debiet af te zuigen per tijdseenheid (op verschillende hoogtes), een inzicht kan worden verkregen in de concentratie van deeltjes in de lucht. Ook verdient het een aanbeveling om te kijken hoe goed gatsboringen of andere oppervlakte analyse methoden in staat zijn om overstuiving en het effect hiervan op de ecologie te kunnen bepalen.

6 Referenties

- Arens, S. (1994). *Aeolian processes in the Dutch foredunes*. Doctoral dissertation, University of Amsterdam, Amsterdam.
- Arens, S. (1996). Rates of aeolian transport on a beach in a temperate humid climate. *Geomorphology*, 17, 3-18.
- Arens, S. (2013). *Notitie effecten aanleg van fietspad op monitoring Zandmotor*.
- Arens, S., & van der Lee, G. (1995). Saltation sand traps for the measurement of aeolian. *Soil Technology*(8), 61-74.
- Arens, S., Everts, F., Kooijman, A., Leek, S., Nijssen, M., & de Vries, N. (2012). *Ecologische effecten van zandsuppletie op de duinen langs de Nederlandse kust*. Driebergen: Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij.
- Arens, S., Slings, Q., Geelen, L., & Van der Hagen, H. (2013). Restoration of dune mobility in the Netherlands. In M. Martinez, J. Gallego-Fernandez, & P. Hesp (Eds.), *Restoration of coastal dunes* (pp. 107-124). Dordrecht: Springer.
- Baas, A. (2008). Challenges in aeolian geomorphology: investigating aeolian streamers. *Geomorphology*(93), 3-16.
- Bagnold, R. (1954). *The physics of blown sand and desert dunes* (2nd ed.). London: Methuen and Co., Ltd.
- Bauer, B., & Davidson-Arnott, R. (2002). A general framework for modeling sediment supply to coastal dunes including wind angle, beach geometry, and fetch effects. *Geomorphology*(49), 89-108.
- Coquet, M. (2010). *Aeolian transport on beach based on field measurements on the Dutch coast*. Delft University of Technology: M.Sc. Thesis Hydraulic Engineering Section.
- Davidson-Arnott, R. G., Yang, Y., Ollerhead, J., Hesp, P. A., & Walker, I. J. (2008). The effects of surface moisture on aeolian sediment transport threshold and mass flux on a beach. *Earth Surface Processes and Landforms*(33), 55-74.
- Davidson-Arnott, R., & Law, M. (1990). Seasonal patterns and controls on sediment supply to coastal foredunes, long point, lake erie. In K. F. Nordstrom, N. P. Psuty, & R. W. Carter (Eds.), *Coastal Dunes: Form and Process*. (pp. 177-200). John Wiley & Sons Ltd.
- de Groot, A., de Vries, S., Keijsers, J., Riksen, M., Ye, Q., Poortinga, A., . . . van Thiel de Vries, J. (2012). Measuring and modeling coastal dune development in the Netherlands. *Jubilee Conference Proceedings, NCK-days*, (pp. 105-110).
- de Jong, B., Slim, P., Riksen, M., & Krol, J. (2011). *Ontwikkeling van de zeereep onder dynamisch kustbeheer op Oost-Ameland*. Wageningen UR, Alterra, Wageningen.

- de Lima, J., van Dijk, P., & Spaan, W. (1992). Splash-Saltation Transport under Wind-Driven Rain. *Soil Technology*(5), 151-166.
- de Vries, S. (2013). *Physics of blown sand and coastal dunes*. doctoral dissertation, TU Delft.
- Delgado-Fernandez, I., & Davidson-Arnott, R. (2011). Meso-scale aeolian sediment input to coastal dunes: The nature of aeolian transport events. *Geomorphology*(126), 217-232.
- DHV . (2010). *Monitoring- en evaluatieplan Zandmotor*. Provincie Zuid-Holland.
- Ganor, E. (1975). *Atmospheric Dust in Israel. Sedimentological and Meteorological Analysis of Dust Deposition*. Ph.D. Thesis, Hebrew University of Jerusalem.
- Goossens, D. (2004). Wind erosion and tillage as a dust production mechanism on North European farmland. In D. Goossens, & M. Riksen (Eds.), *Wind Erosion and Dust Dynamics: Observations, Simulations, Modelling* (pp. 15-40). Wageningen: ESW Publications.
- Goossens, D., & Offer, Z. Y. (1994). An evaluation of the efficiency of some aeolian dust collectors. *Soil Technology*(7), 25-35.
- Goossens, D., & Offer, Z. Y. (2000). Wind tunnel and field calibration of six aeolian dust samplers. *Atmospheric Environment*(34), 1043-1057.
- Goossens, D., & Rajot, J. (2008). Techniques to measure the dry aeolian deposition of dust in arid and semi-arid landscapes: a comparative study in West Niger. *Earth Surface Processes and Landforms*(33), 178-195.
- Goossens, D., Offer, Z. Y., & London, G. (2000). Wind tunnel and field calibration of five aeolian sand traps. *Geomorphology*, 35, 233-252.
- Greeley, R., & Iversen, J. (1985). *Wind as a geological process*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Greeley, R., Blumberg, D. G., & Williams, S. H. (1996). Field measurements of the flux and speed of wind-blown sand. *Sedimentology*(43), 41-52.
- Hesp, P. (1989). A review of biological and geomorphological processes involved in the initiation and development of incipient foredunes. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*(96B), 181-201.
- Hessel, R., Stolte, J., & Riksen, M. (2011). *Huidige maatregelen tegen water- en winderosie*. Wageningen UR, Alterra, Wageningen.
- Hijma, M., & Lodder, Q. (2001). *An evaluation of aeolian sand transport models using four different sand traps*. Utrecht: Universiteit Utrecht.
- Jackson, D. W., & Cooper, J. A. (1999). Beach fetch distance and aeolian sediment transport. *Sedimentology*, 46(3), 517-522.
- Leatherman, S. (1978). A new aeolian sand trap design. *Sedimentology*(25), 303-306.

- Lynch, K., Jackson, D. W., & Cooper, J. A. (2008). Aeolian fetch distance and secondary airflow effects; the influence of micro-scale variables on meso-scale foredune development. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(7), 991-1005.
- Nickling, W., & Ecclestone, M. (1981). The effects of soluble salts on the threshold sheart velocity of fine sand. *Sedimentology*(28), 505-510.
- Nickling, W., & McKenna Neuman, C. (1997). Wind tunnel evaluation of a wedge-shaped aeolian sediment trap. *Geomorphology*(18), 333-345.
- Nickling, W., & McKenna Neuman, C. (2009). Aeolian Sediment Transport. In A. J. Parson, & A. D. Abrahams, *Geomorphology of Desert Environments* (pp. 517-555). Springer Science+Business Media B.V.
- Offer, Z. Y., & Goossens, D. (2001). Ten years of aeolian dust dynamics in a desert region (Negev desert, Israel): analysis of airborne dust concentration, dust accumulation and the high-magnitude dust events. *Journal of Arid Environments*(47), 211–249.
- Poortinga, A., van Minnen, J., Keijzers, J., Riksen, M., Goossens, D., & Seegers, M. (2013). Measuring Fast-Temporal Sediment Fluxes with an Analogue Acoustic Sensor: A Wind Tunnel Study. *PLoS ONE*, 8(9).
- Projectbureau Pilot Zandmotor. (2014, April). *De Zandmotor*. Retrieved from Zandmotor Delflandse Kust: <http://www.dezandmotor.nl/nl-NL/de-zandmotor/>
- Pye, K. (1980). Beach salcrete and eolian sand transport: evidence from North Queensland. *Journal of Sedimentary Petrology*(50), 257-261.
- Pye, K., & Blott, S. (2008). Decadal-scale variation in dune erosion and accretion rates: An investigation of the significance of changing storm tide frequency and magnitude on the Sefton coast, UK. *Geomorphology*(102), 652-666.
- Riksen, M., & Goossens, D. (2007). The role of wind and splash erosion in inland drift-sand areas in the Netherlands. *Geomorphology*, 88, 179-192.
- Scott van Pelt, R., Peters, P., & Visser, S. (2009). Laboratory wind tunnel testing of three commonly used saltation impact sensors. *Aeolian Research*(1), 55–62.
- Sherman, D., & Hotta, S. (1990). Aeolian sediment transport: theory and measurement. In K. Nordstrom, N. Psuty, & R. Carter, *Coastal Dunes: Form and Process* (pp. 17-37). Chichester: John Wiley.
- Soerink, L. (n.d.). *Stuivend zand in de duinen, Zuid-Kennemerland, Nederland* . Retrieved Juni 11, 2014, from Vildaphoto: <http://www.vildaphoto.net/phot/58536>
- Sow, M., Goossens, D., & Rajot, J. L. (2006). Calibration of the MDCO dust collector and of four versions of the inverted frisbee dust deposition sampler. *Geomorphology*(82), 360-375.
- Spaan, W., & van den Abeele, G. (1991). Wind borne particle measurements with acoustic sensors. *Soil technology*(4), 51-63.

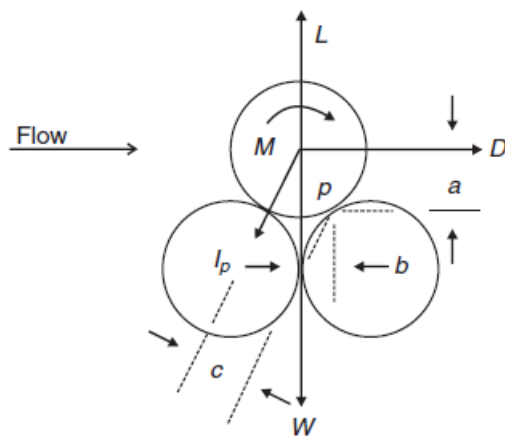
- Sterk, G., Jacobs, A., & van Boxel, J. (1998). The effect of turbulent flow structures on saltation sand transport in the atmospheric boundary layer. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 877–887.
- van der Wal, D. (1998). The Impact of the Grain-size Distribution of Nourishment Sand on Aeolian Sand Transport. *Journal of Coastal Research*, 14(2), 620-631.
- Witteveen+Bos. (2014). *Tussenevaluatie Monitoring Pilot Zandmotor, onderdeel duinen*. Den Haag: Witteveen+Bos.

7 Bijlagen

Bijlage A Aanvulling theoretisch kader

A.1 Sand removal

Tijdens de eerste fase, “Sand removal”, probeert de wind de cohesie tussen de zandkorrels te verbreken waarna de wind transport mogelijk maakt. De zandkorrels komen in beweging door de wind, wanneer de krachten die door de wind, ‘Lift en Drag’, worden uitgeoefend op het oppervlak groter zijn dan de zwaartekracht van de korrel en de cohesiekracht tussen de korrels (Nickling & McKenna Neuman, 2009). Een schematische weergave van de krachten die op een zandkorrel werken is hieronder in Figuur 19 te vinden.



Figuur 19: Schematisatie van de krachten op een zandkorrel. D = Drag, L = Lift, I_p = Cohesie en W = Massa. De momenten om het punt bij zijn gegeven door a, b, c (Greeley & Iversen, 1985)

In deze fase zal de door Bagnold (1954) gedefinieerde “critical threshold” niet worden bereikt doordat de limiterende factoren, paragraaf 2.1.3, groter zijn dan de initiërende factor (de windsnelheid). De “critical threshold” is het punt waarop transport van zand plaatsvindt. De krachten die de verplaatsing initiëren groter zijn dan groter degene die de korrels op hun plaats houden. In deze fase zal slechts een verruwing van de bovenste oppervlaktelaag zand plaatsvinden. Alleen de kleinste zandkorrels in minimale beweging worden in beweging gebracht totdat ook deze zich verenigen tot een beschermende laag (Bagnold, 1954).

Bijlage B interviewthema's en -vragen

Allereerst zijn in deze bijlage de thema's die de basis vormden voor het interview toegelicht. Daarna zijn in deze bijlage de specifieke interviewvragen die hieruit voortkwamen per geïnterviewde expert weergegeven.

B.1. Toelichting thema's voor interviewvragen

1. Algemene informatie over het meten van eolisch zandtransport en de rol van (verschillende) meetmethodieken hierin

In dit eerste thema zijn vragen gesteld op basis van de uit literatuur naar voorkomende onduidelijkheden over het meten van eolisch zandtransport. Daarnaast is gericht gevraagd naar de rol die is weggelegd voor zandvangers in het meten van dit proces en de geschiktheid hiervoor. De zandvangers waarna in dit thema gevraagd is, betreffen zowel verschillende horizontale, verticale als andere soorten. Door hierover vragen te hebben gesteld is een algemeen inzicht in het meten en de daarbij optredende problemen verkregen.

2. Algemene informatie en kenmerken van de betreffende meetmethodieken (PVC zandvanger, "knikkerbakken" en de saltifoon)

De vragen in dit thema hebben zich specifiek gericht op de drie te beschouwen meetmethodieken. Er is gevraagd naar zowel objectieve als subjectieve informatie. Dit allereerst om meer inzicht te verwerven in deze meetmethodieken, de literatuur hieromtrent te kunnen verifiëren en daarnaast om een eerste idee te verkrijgen van de verschillende meningen over deze meetmethodieken. Dit heeft het mogelijk gemaakt om de drie meetmethodieken goed te vergelijken. Zowel zijn op deze wijze overeenkomsten, verschillen en vermeende voor- en nadelen geïndiceerd.

3. Vragen naar aanleiding van de informatie en meetdata van de desbetreffende meetmethodiek ("knikkerbakken", "PVC zandvangers" of de saltifoon) die ontvangen is van de verschillende experts

Voorafgaand aan het interview is contact gelegd met de drie experts. Gedurende dit eerste contact is meer specifieke informatie over de meetmethodiek per expert verkregen. Deze informatie was vanuit de literatuur niet altijd direct beschikbaar. Dit heeft geholpen om inzicht te verkrijgen in welke context deze meetmethodiek wordt gebruikt.

Daarnaast is meetdata, van metingen in de buurt van de Zandmotor, van de verschillende meetmethodiek opgevraagd, zodat voorafgaand aan het interview al een korte analyse hiervan gedaan kon worden. Deze (korte) analyse heeft geleid tot input voor vragen over de metingen zelf, de gemeten waarden en hoe de gemeten data van iedere zandvanger wordt gebruikt. Door dit te doen is inzicht verworven in de situatie waarin de meetmethodiek gebruikt wordt, wat de meetmethodiek eigenlijk meet en hoe deze daartoe in staat is.

4. Evaluatie van het meten met de meetmethodiek

Tijdens dit thema in het gesprek is specifiek gevraagd naar de ervaringen van de experts met de verschillende meetmethodieken. Dit strekt zich van de vraag of meetmethodiek wel altijd geschikt was in de situatie waarin deze gebruikt is tot de vraag of het concept nog verbeterd kan worden. Door dit thema te bespreken zijn niet alleen tekortkomingen van de meetmethodiek geïndiceerd maar zijn ook direct verbeterpunten ofwel aanbevelingen voor de inzetbaarheid naar voren gekomen.

5. De toepasbaarheid van de meetmethodiek

Gedurende dit deel van het interview is rechtstreeks gevraagd naar de toepasbaarheid van de desbetreffende meetmethodiek. In dit thema zijn vragen gesteld over in welke situatie, voor welke tijdsspanne, voor welk doel en vooral waarom de meetmethodiek geschikt is. Tevens is ook gevraagd naar welke aanvullende gegevens nodig zijn om een inzicht te kunnen geven in het reële optredende transport. Met de in dit thema verkregen inzichten is het mogelijk geweest om voorlopige conclusies te trekken over de toepasbaarheid van de drie meetmethodieken.

6. Optimaliseren van het meten van eolisch zandtransport en de rol van de desbetreffende meetmethodiek daarbij

Naast dat het van belang is om de toepasbaarheid in kaart te hebben brengen, speelt het optimaliseren van het meten van eolisch zandtransport ook een rol in dit onderzoek. Daarom zijn in het interview ook vragen over het optimaliseren van het meten van eolisch zandtransport gesteld. Door experts daarover hun mening te vragen, is duidelijk geworden in welke mate welke meetmethodiek van belang is bij de monitoring. Ook is in dit thema gevraagd naar ervaringen met andere meetmethodieken en is daardoor direct in kaart gebracht over hoe de experts idealiter zouden willen meten en welke factoren hierbij een rol spelen. Tevens is naar de mening van de verschillende experts gevraagd ten aanzien van “elkaars” meetmethodiek en zijn daarover opvallende uitspraken of resultaten input geweest voor verder onderzoek ofwel voor vragen aan de andere experts.

7. Zandmotor monitoring en de eventuele toepassing van de desbetreffende meetmethodiek in dat kader

Om een beeld te verkrijgen van hoe bij soortgelijke projecten als de Zandmotor gemonitord zou moeten worden in de toekomst, zijn in dit thema vragen gesteld over de huidige monitoring, hoe de experts hierover denken en welke lessen hieruit getrokken kunnen worden. Ook is gevraagd naar de toepasbaarheid van de meetmethodiek, waar zij expert van zijn, in een dergelijke situatie. Welk aandeel zou deze kunnen hebben in de monitoring en met welke andere methodiek(en) zou deze gecombineerd moeten worden.

8. Het meten van bepaalde doelen met bepaalde technieken (zandvangers/meetmethodiek of modellen)

Het laatste thema dat besproken is heeft zich in het specifiek op het meten van eolisch zandtransport in het algemeen gericht, zodat de toepasbaarheid in perspectief kon worden geplaatst. Zo is allereerst gevraagd of zandvangers, in het specifiek deze drie meetmethodieken, geschikt zijn voor het in kaart brengen van eolisch zandtransport in verschillende situaties en voor verschillende doeleinden. Daarnaast is gevraagd naar de toepasbaarheid van andere technieken (modellen/hogtemetingen) om zodoende inzicht te kunnen krijgen in het meten van eolisch zandtransport ten aanzien van verschillende doelen. De doeleinden strekken zich van het bepalen van duinaangroei tot het bepalen van overstuiving ten behoeve van het in kaart brengen van ecologische ontwikkelingen ofwel veranderingen die geïnitieerd worden door eolisch zandtransport.

Er zijn in de drie verschillende interviews een aantal dezelfde vragen gesteld om ofwel de antwoorden te verifiëren ofwel tegenstrijdigheden te indiceren. Bij tegenstrijdigheden heeft extra literatuuronderzoek plaatsgevonden of zijn aan de andere expert hierover vragen gesteld.

Hieronder zijn op volgorde van afnemen de interviewvragen die gesteld zijn aan de verschillende experts te vinden. Er dient opgemerkt te worden dat de strekking niet was om een strikt interview af te nemen maar juist om meer kennis over de verschillende thema's zoals besproken in paragraaf 3.2 in te winnen. In de verschillende gesprekken zijn dan ook sommige vragen te vervallen gekomen en zijn andere juist toegevoegd.

B.2 Vragen voorafgaand aan gesprek met dhr. M. Riksen

- Wat is het concept achter de knikkerbakken methode (MDCO)? Uit de literatuur blijkt dat de MDCO wordt ingezet om stof(<63µm) depositie te bepalen, hoe is dit mogelijk aangezien in suspensie verkerende deeltjes zich over lange afstand en op grote hoogte getransporteerd worden?
- Is deze methode ook geschikt voor het in kaart brengen van eolisch zandtransport?
- Heeft u ook voorbeelden waar de MDCO voor eolisch zandtransport monitoring wordt gebruikt?
- Is het mogelijk om met de MDCO een verticale verdeling van eolisch transport te meten door deze in een mast boven elkaar te plaatsen?
- Meet de MDCO depositie en is die daarmee in staat een indicatie te geven van het plaatsvindende horizontale transport?
- Wat is de geschikte plek (lokaal) om een MDCO te plaatsen? of hangt dit af van het doel van de meting?
- Hoe zit het met het vangen van saltatie transport en kruip. Op basis van het proces eolisch zandtransport zou de MDCO hier ook uitermate geschikt voor moeten zijn, is dat zo? Levert dit dan geen conflicten op met het doel waarvoor die nu wordt ingezet?
- Waarvoor dient de gemeten data bij Solleveld? en hoe wordt de analyse van deze data uitgevoerd?
- Het valt me op dat er zeer wisselende hoeveelheden sedimentatie worden gemeten, is hier een verklaring voor?
- Waarom varieert het interval waarmee de MDCO's zijn geleegd?
- Waarom is meter 3006 opgeheven na verloop van tijd en waarom is 3003 er bij gekomen?
- Vindt analyse plaats op basis van gemiddelde condities en gemiddelde efficiëntie of wordt gekeken naar events binnen de meetperiode? Of vind er helemaal geen analyse van de resultaten plaats?
- Is er een kalibratie uitgevoerd op locatie? of is van een windtunnel kalibratie (hoe en wat zegt dit?) uit gegaan? Is een kalibratie in het veld nodig? Zo ja, hoe dient deze dan te worden uitgevoerd?
- Is er gebruik gemaakt van andere gegevens (wind gegevens/ korrelverdeling) om de data te interpreteren?
- Hoe wordt een goed beeld verkregen tussen data en werkelijkheid? Of zijn er ondanks rekening te houden met de omstandigheden waaronder gemeten wordt nog onduidelijkheden?
- Hoe is het mogelijk om in te schatten wat gemeten is ook daadwerkelijk is wat gemeten dient te worden?
- Voor welk doel werd de MDCO bij het Solleveld ingezet?
- Kan met de gemeten data het doel worden behaald? Met andere woorden, kan naar aanleiding van een analyse van de resultaten uitspraak worden gedaan over de overstuiving of is de data door verstoringen te incompleet?

- Zijn de MDCO's geschikt voor het monitoren van de korte(events), middellange of lange termijn?
- Ten behoeve van welke doelen is de MDCO geschikt om eolisch transport te meten?
- In welke situatie wordt de MDCO ingezet? (anders dan de Zandmotor) zijn er ook gevallen waarin de MDCO juist niet of juist wel worden toegepast (voorbeelden)? (welke vangers zijn instaat hetzelfde te meten?)
- Waren er projecten waar na afloop bleek dat de MDCO niet voldeed? Of waren er projecten waarnaar afloop geconcludeerd werd dat de MDCO juist had moeten worden ingezet?
- Wordt de MDCO vaak als zelfstandig meetinstrument ingezet of wordt deze gecombineerd met anderen?
- Zou u de MDCO combineren met een andere methode? In welke situatie zou u dit doen? En met welk doel? Zou dit optimaal zijn? waarom wordt dit nu niet gedaan?
- Waarom zou wil je meten met deze methodiek en niet met een andere? Wat zijn de voordelen van deze methode? Wat zijn de nadelen?
- Waarvoor zou volgens u de MDCO in moeten worden gezet, wat is hiervoor de geschiktheid en kan dit niet met een andere zandvanger worden gedaan?
- Zou u met de gegevens en inzichten van nu anders meten op de Zandmotor dan nu wordt gedaan? waarom wel of niet?
- Waarom is gekozen om te monitoren met de PVC zandvangers van dhr. S. Arens en niet een andere methode zoals de MDCO? (komen toch tot dezelfde resultaten?)
- Als het doel van de monitoring duinaangroei meten is welke zandvanger lijkt u dan het meest geschikt? en als het doel het meten van ecologische effecten (overstuiving) is? Verschilt dit per locatie (strand of duin) of topografisch of op tijdsschaal (korte of lange termijn)? (ook waarom?) (zijn er nog andere doelen waarvoor sedimentvangers kunnen worden ingezet?)
- Of zou u juist andere methodieken in plaats van sedimentvangers toepassen? Zoals het gebruik maken van laseraltimetrie voor duinaangroei? of het gebruik van de saltifoon om meer inzicht te krijgen in eolisch transport en op basis daarvan te werken met modellen?
- Wat kunnen zandvangers nu eigenlijk meten? (verticaal transport, horizontaal transport, depositie/accumulatie?) en welke zou je waar voor gebruiken?
- Hoe belangrijk is het meten van eolisch zandtransport eigenlijk?

B.3 Vragen voorafgaand aan gesprek met dhr. S. de Vries

- Het concept saltifoon waar is dat op gebaseerd? Uit de literatuur blijkt dat de saltifoon alleen geschikt is voor het meten van saltatie, is dat zo? waarom geen ander transport (niet in staat hiertoe?) geeft dit dan een compleet beeld van wat er afspeelt of ligt dit aan het doel wat je wil meten?
- Op welke hoogte meet je met de saltifoon? of verschillende hoogtes? Ligt dit aan het doel? Wat zegt een meting op een bepaalde hoogte? En wat kan hieruit geconcludeerd worden?
- Voor welke meetduur is de saltifoon geschikt? Is de saltifoon alleen geschikt voor het in kaart brengen van events? en hoe weet je wanneer je dan precies moet meten?. Is de saltifoon ook geschikt om een langdurige veldmeting mee te doen? Of is dit niet interessant?
- Wat is de output van de saltifoon? Zowel digitaal als analoog? en wat zegt welke output? Wanneer gebruik je welke output?
- Kan de saltifoon alleen de impact van korrels en dus de intensiteit van het transport worden bepaald of is het ook mogelijk om dit om te zetten naar een horizontale flux? (door ze boven elkaar te plaatsen en dan een verdeling van de hoogte te integreren?)

- Hoe meet je nu het optredend transport aan de hand van het aantal counts dat de saltifoon meet?
- Gebruik je ze ook boven elkaar om de verticale flux te bepalen? Voor welk doel is het handig om de verticale flux te bepalen, of is deze alleen benodigd om horizontale flux mee te bepalen? en wat kan aan de hand van een optredende horizontale flux worden gezegd?
- Op welke locatie wordt de saltifoon geplaatst?(waar op het stand of in het duin) op een transectlijn? (door ze achter elkaar te plaatsen en het transport te meten kan inzicht worden verkregen in waar er een toename in transport is en waar depositie plaatsvindt?) of kan ook naar duinaangroei worden gekeken door middel van het bepaalde horizontale transport (als de saltifoon dit kan meten)?
- Waarom zou je het horizontale transport willen meten? Waarom zou je het verticale transport willen weten? is dit gelijk aan depositie? Waarom zou je de concentratie over de hoogte willen weten? of alleen om het horizontale transport mee te kwantificeren?
- Wordt de saltifoon ingezet voor het in kaart brengen hoe eolisch transport plaatsvindt en onder welke omstandigheden? Wordt de saltifoon ook ingezet om te kwantificeren? of heeft de saltifoon nog andere toepassingsmogelijkheden?
- Wat wordt er gedaan met de gemeten data? (om een beeld te krijgen van de werkelijkheid?) (hoe vindt analyse van de resultaten plaats?) (met welke variabelen wordt rekening gehouden, hoe worden deze variabelen gemeten?)
- Vind omzetting plaats op basis van gemiddelde condities (korrelgrootte, windrichting, windsnelheid) en gemiddelde efficiëntie of wordt gekeken naar events binnen de meetperiode. (bij langere termijn metingen) (correcties voor efficiënties? hoe wordt de efficiëntie bepaald? of is deze onbekend?)
- Hoe wordt een goed beeld verkregen tussen data en werkelijkheid. Kan met de data het doel worden behaald?
- Met welk doel wordt de saltifoon ingezet? (bij de Zandmotor in de buurt) en hoe denk jij hierover?
- Welke winddata gebruik je? Genoemd wordt dat de windsnelheid en richting natuurlijk op het meetpunt (ook op dezelfde hoogte) moet plaatsvinden, hoe heb jij dit ondervangen?
- Hoe heb je de saltifoons gekalibreerd, ten opzichte van elkaar? en ook ten opzichte van de 100% optredende saltatie? (Of is dit niet nodig omdat geen totaal transport wordt gemeten?)
- Hoe frequent meet je? en waarom zo vaak en niet vaker? of gaat het alleen over onderzoek naar eolisch transport? (meer inzicht verwerven) Zou je vaker willen meten en is dat zinvol? waarvoor is dat dan zinvol? wat zegt de saltifoon meer dan de andere 2 meetmethodieken?
- Het gemeten eolische transport is dat ook het werkelijke optredende? Is er de mogelijkheid om te kwantificeren en wat zegt deze kwantificering? (efficiëntie speelt een rol?)
- Hoe weet je wat je meet ook is wat je daadwerkelijk wil weten? en meet de saltifoon dit doel ook?
- Zou je op basis van de meetresultaten de saltifoon kunnen concluderen, dat deze goed zijn werk doet of zie je ruimte tot verbetering van het concept?
- In welke situatie wordt de saltifoon ingezet (anders dan de Zandmotor) → zijn er ook gevallen waarin de saltifoon juist niet of juist wel worden toegepast (voorbeelden)? Zijn er nog andere toepassingsmogelijkheden?

- Wordt de saltifoon vaak als zelfstandig meetinstrument ingezet of wordt deze gecombineerd met anderen?
- Zou je jou methode combineren met een andere methode? In welke situatie zou je dit doen? En met welk doel?
- Waarom wil je meten met deze methodiek en niet met een andere? Wat zijn de voordelen van deze methode? Wat zijn de nadelen?
- Waarvoor zou volgens jou de saltifoon in moeten worden gezet, wat is hiervoor de geschiktheid en kan dit niet met een andere zandvanger worden gedaan?
- Hoe denk je dat optimaal gemeten zou kunnen worden? een combinatie van verschillende meetmethodieken? en welke dan? (alles hangt af van beschikbaar budget? of wat heeft invloed op de keuze om zo te meten?)
- Zou je met de gegevens en inzichten van nu anders meten op de zandmotor dan gebeurt? en in andere situatie? Wat zou de saltifoon voor aandeel kunnen hebben in de monitoring?
- Waarom wordt deze methodiek niet gebruikt voor constante monitoring? Zou dit moeten of is dit alleen een toevoeging? Zijn er meer gegevens nodig over de situatie?
- Waarom is gekozen om te monitoren met die van dhr. S. Arens? Meten die wel het juiste van dhr. M. Riksen hoorde ik dat dit niet het geval was?
- Als het doel duinaangroei meten is, welke zou je dan kiezen? Welke voor erosie? Welke voor ecologische effecten ecologie? Welke voor lange termijn? Welke voor korte termijn? Welke op het strand? welke in het duin? (ook waarom?)
- Wat is het aandeel van zandvangers of waarvoor zou jij deze gebruiken? Of zou je juist andere methodieken toepassen? Zoals het gebruik maken van laseraltimetrie voor duinaangroei? of het gebruik van de saltifoon om meer inzicht te krijgen in eolisch transport en op basis daarvan te werken met modellen?
- Wat kunnen zandvangers nu eigenlijk meten? (verticaal transport, horizontaal transport, depositie/accumulatie?) en welke zou je waar voor gebruiken?
- Hoe belangrijk is het meten van eolisch zandtransport eigenlijk?
- Van dhr. M. Riksen begreep ik dat zowel ruimtelijk als temporeel eolisch transport heel erg verschilt, over welke tijd en ruimte hebben we het dan over? (tot hoever zijn de metingen dus geldig voor het omliggende gebied?)

B.4 Vragen voorafgaand aan gesprek met dhr. S. Arens

- Het concept van de PVC zandvanger waar is dat op gebaseerd? Uit de informatie die u mij heeft gestuurd is af te leiden dat deze gebaseerd is op de Leatherman trap, echter is deze slechts inzetbaar op het strand? Hoe kwam u erop om deze aan te passen en achterin het duin te plaatsen? Waarom heeft u niet gekozen voor het monitoren met een bestaand concept? Heeft u dit nieuwe concept ook getest (in de windtunnel of in het veld)? Wat kwam hier uit?
- Op welke hoogte meet de PVC zandvanger op dit moment, en waarom op deze hoogte? Hoe groot is het vangoppervlak? en voor het meten van welk transport is de PVC zandvanger geschikt (in het duin en 100 mu gaas)? Meet deze short term suspension of welke mode van transport? Vindt er vangst van saltatie plaats of echt alleen overstuiving? Met welk doel wordt de overstuiving gemeten? Waarom meet u juist dit transport? Waren de PVC zandvangers ook opgenomen in het initiële monitoringsplan? Ik begreep van dhr. M. Riksen dat alleen de matjes waren opgenomen maar dat deze niet werkten, is de PVC zandvanger hier een vervanging voor of is die additioneel omdat de bewoners (later) klaagden over zand op de ramen? Wat meet de zandvanger nu eigenlijk? (geen depositie? maar een horizontale flux, deze is hier toch niet?) Waarom is gekozen om met de PVC zandvangers te gaan meten?
- Hoe vaak dient de PVC zandvanger geleege te worden, nu wordt om de twee weken gemeten waarom wordt zo vaak geleege? Wat ik uit de data opmaak en van dhr Riksen begreep was dat

de plek waarop gemeten wordt een minder dynamisch gebied is en daardoor niet veel transport daar plaatsvindt? Wordt om de twee weken gemeten om de impact van een storm beter in kaart te brengen of zit hier een andere reden achter?

- Wat is in het algemeen een geschikte plek om deze PVC zandvangers te plaatsen? Is dit op het strand, in het duin, te midden van vegetatie of ...?
- Over zandvangers in het algemeen: Waarom zou je het horizontale transport willen meten? Waarom zou je het verticale transport willen weten? Is dit gelijk aan depositie? Waarom zou je de concentratie over de hoogte willen weten?, of alleen om het horizontale transport mee te kwantificeren?
- Wat meten welke zandvangers? Welke zandvanger zou je op het strand inzetten en met welk doel? Welke in het duin? Welke om duinaangroei te kwantificeren? Welke om het effect op de ecologie te indiceren? (Dhr. M. Riksen zei dat de MDCO hier heel goed geschikt voor was? en de PVC zandvanger hier minder voor geschikt is, kan je dit beamen?)
- Wat is het verschil tussen het meten met de PVC zandvanger en de knikkerbakken? Hoe denkt u over de methode knikkerbakken?
- Heeft de PVC zandvanger nog andere toepassingsmogelijkheden?
- Ondervindt u met het meten met de PVC zandvanger nog problemen? Is er nog ruimte voor verbetering van het concept? Wat is het nadeel van het meten met de PVC zandvanger? en wat is het voordeel?
- Ik begreep van dhr. S. de Vries dat u ook vaak met de saltifoon gemeten hebt? Heb je hier alleen mee geprobeerd het aantal counts (intensiteit) aan een variabele te linken? Of heb je hiermee ook geprobeerd een transport volume te indiceren? Is dit mogelijk met de saltifoon? Hoe dan? Een verticale verdeling maken? Saltifoon ook geschikt voor het meten van duinaangroei? Wat vind je van de saltifoon?
- De gemeten data vertoont een sterke variatie maar de hoeveelheden blijven beperkt? Zegt dit iets?
- Hoe analyseert u de data? Maakt u nog gebruik van andere gegevens voor de efficiëntie? Wind data, korrel grootte, vochtigheid? Ik neem immers aan dat de efficiëntie niet 100% is en dat u juist geïnteresseerd bent in hoeveel er werkelijk plaatsvindt? (transport ofwel overstuiving?) Vertaald u dit naar sedimentatie per jaar? Als de wind van de zijkant komt vangt de PVC dan wel wat? Wordt hier rekening mee gehouden?
- Met welke variabelen wordt rekening gehouden, hoe worden deze variabelen gemeten?
- Vindt omzetting plaats op basis van gemiddelde condities (korrelgrootte, windrichting, windsnelheid) en gemiddelde efficiëntie? Of wordt gekeken naar events binnen de meetperiode? (bij langere termijn metingen) (correcties voor efficiëntie? hoe wordt de efficiëntie bepaald? of is deze onbekend?)
- Hoe wordt een goed beeld verkregen tussen data en werkelijkheid. Kan met de data het doel worden behaald? Het gemeten eolische transport is dat ook het werkelijke optredende? Is er de mogelijkheid om te kwantificeren en wat zegt deze kwantificatie?
- Dienen de vangst resultaten alleen om de gradiënt te bepalen of is de (absolute) hoeveelheid gevangen sediment ook van belang?
- Hoe weet je wat je meet ook is wat je daadwerkelijk wil weten?
- Wordt de PVC zandvanger vaak ingezet in combinatie met andere methodieken of werkt deze zelfstandig?

- Hebben er zich tijdens het meten nog veel problemen voorgedaan? Evalueert u het meten ook? Wat blijkt hier uit? Zijn er tekortkomingen van het concept? Kunt u het concept nog optimaliseren/verbeteren? Wat heeft u hiervoor nodig?
- Zou u de PVC zandvanger met de wetenschap van nu inzetten voor een ander doel? Zou u nu anders meten bij de zandmotor? Hoe zou u meten om een goed inzicht te krijgen in de effecten van de zandmotor, zowel op het gebied van ecologie als op het gebied van duinaangroei? Welke meetmethodieken zou u combineren en in welke situatie? en met welk doel?
- Wat zijn de lessen uit zandmotor monitoring? Wanneer werkt het wel, wanneer niet? Wat zijn ervaringen op andere plekken met deze methode? Wat is niet goed gegaan met het meten nu? Zou je nog steeds dezelfde methode gebruiken of een andere, of alleen een toevoeging van een andere. Met andere woorden wordt in het beoogde doel voorzien?
- Voor welk doel kan de PVC zandvanger allemaal worden ingezet? Voor welk doel zou je welke zandvanger willen inzetten?
- Tot waartoe beperkt zich de inzetbaarheid van zandvangers, is dit termijn of iets anders? Voor welk doel zijn zandvangers geschikt en waarvoor zou je andere meetmethodieken toepassen, zoals hoogteligging of JARKUS? Wat is het aandeel van zandvangers (duinaangroei meten?) of waarvoor zou u deze gebruiken? Of zou u daarvoor juist andere methodieken toepassen?, Zoals het gebruik maken van laseraltimetrie voor duinaangroei? of het gebruik van de saltifoon om meer inzicht te krijgen in eolisch zandtransport en op basis daarvan te werken met modellen?
- Moeten we voor het meten van duinaangroei wel eolisch transport meten of zijn laserbeelden genoeg in verband met golf afslag.
- Hoe belangrijk is het meten van eolisch zandtransport eigenlijk?

Bijlage C Uitwerking interviews

C.1 Interview Dhr. M. Riksen

1. Algemene informatie over het meten van eolisch zandtransport en de rol van (verschillende) meetmethodieken hierin

De rol van zandvangers bij het meten van eolisch zandtransport beperkt zich voornamelijk tot het meten van relatieve effecten door maatregelen (wat is het effect van een maatregel op de mate van transport), het meten van depositie, het meer inzicht verwerven in (factoren die een rol spelen bij) het optreden van eolisch zandtransport en tot het lokaal en tijdsgebonden meten. Zandvangers zijn afkomstig uit de landbouw om de invloed van bepaalde maatregelen op erosie ten opzichte van elkaar te vergelijken. Hiervoor is het niet nodig dat je zandvanger 100% efficiënt is. Er wordt slechts een relatieve vergelijking gemaakt. Door de afhankelijkheid van veel factoren, welke zelf sterk variëren, zijn zandvangers niet geschikt voor het meten van de absolute kwantiteit van het transport. Tevens is het proces eolisch zandtransport erg dynamisch. Dit maakt dat puntmetingen niet geëxtrapoleerd mogen worden over een afstand. Als een transport kwantiteit bepaald dient te worden, kan veel beter gekeken worden naar volume veranderingen in het gebied. De belangrijkste twee aspecten die bepalen of gemeten moet worden met een zandvanger en met welke, is het proces en het te meten doel.

2. Algemene informatie en kenmerken van de PVC zandvanger, “knikkerbakken” en de saltifoon)

De saltifoon is een meetinstrument voor de korte termijn en kan goed inzicht geven in het optreden van transport. Eventueel is deze ook geschikt voor het in kaart brengen van de hoeveelheid transport door er 5 boven elkaar te plaatsen en met de gemeten verdeling, te integreren over de hoogte. De PVC zandvangers zijn voor dhr. M. Riksen een raadsel. Deze zijn initieel op het strand getest voor het meten van saltatie en worden nu in het duin gebruikt om short term suspensie te meten, een ander proces is hier immers niet meetbaar. Voor het meten van short term suspensie ofwel overstuiving zou de MDCO beter voldoen. Deze is geschikt voor het meten van depositie in een laag dynamische omgeving (weinig transport) en kan helpen inzicht te geven in de bufferende werking van de overstuiving op de verhoogde atmosferische stikstof depositie. Dhr. Riksen heeft onlangs een nieuw ontwerp van de MDCO (Figuur 20) geïntroduceerd waarbij problemen met de bewerkelijkheid van de “knikkerbak” zijn verholpen. Ook is door een extern opvangreservoir het probleem rondom het vollopen van de bak met water verholpen.



Figuur 20: a) De "nieuwe MDCO" met extern opvangreservoir komt (foto's (13-11-2013) afkomstig van dhr. M.Riksen)

b) Het doorspoelen zodat alles in het opvangreservoir

3. Informatie en meetdata van de “methode knikkerbakken”

Uit de data blijkt dat de MDCO in staat is om depositie gedurende lange termijn te meten. Uit de data valt af te leiden dat niet te grote hoeveelheden gemeten worden, welke kenmerkend zijn voor het meten van short term suspensie.

4. Evaluatie van het meten met de meetmethodiek

Evaluerend gekeken heeft dhr. M. Riksen geen moment gehad dat de MDCO niet voldeed aan de verwachtingen. De nadelen die het originele concept van de MDCO had zijn inmiddels verholpen, zie punt 2. Verder voldoet de MDCO uitstekend in een situatie waarin de transport hoeveelheid laag is en waarin de MDCO wordt opgesteld te midden van een vegetatie bedekking van tenminste 90% (ter voorkoming van het invangen van spaterosie). Als de MDCO wordt ingezet op locaties waar de vegetatiebedekking minder dan 90% bedraagt dan wordt een kunststof grasmat om de MDCO heen geplaatst opdat het invangen van spaterosie wordt voorkomen (Figuur 21). Een laatste mogelijkheid om het invangen van spaterosie te voorkomen is door de MDCO op hoogte te plaatsen. Onder deze omstandigheden kan gesteld worden dat de efficiëntie van de MDCO 100% is.



Figuur 21: De “nieuwe MDCO” te midden van een kunstgrasmatje ter voorkoming van het invangen van spaterosie (foto's afkomstig van dhr. M.Riksen)

5. De toepasbaarheid van de meetmethodiek

De MDCO is geschikt voor het meten van depositie van “short-term suspension” en dus overstuiving in een gebied zonder grote hoeveelheden transport. Tevens dient de MDCO te midden van vegetatie of op hoogte te worden geplaatst opdat geen spaterosie wordt ingevangen. Voor het meten in een dynamisch gebied is deze niet geschikt. Het opvangreservoir komt dan te snel vol te zitten en beïnvloedt daarmee de efficiëntie. In deze situatie stelt dhr. M. Riksen voor om gebruik te maken van erosie pinnen. Door het hoogteverschil over de tijd te meten kan in deze hoog dynamische gebieden de hoeveelheid depositie worden bepaald.

6. Optimaliseren van het meten van eolisch zandtransport en de rol van de desbetreffende meetmethodiek daarbij

Voor soortgelijke projecten als de Zandmotor zijn de Jarkus metingen en andere topografische metingen uiterst relevant. Deze metingen geven een goed inzicht in lange termijn (volume) ontwikkeling in een gebied. Voor het meten van events zijn zandvangers redelijk betrouwbaar als rekening geprobeerd wordt te houden met de variabele omstandigheden. Tevens zijn opvangoppervlaktes en in het bijzonder de MDCO geschikt voor het meten van overstuiving. Voor lange termijn metingen zijn zandvangers niet geschikt. De efficiëntie is immers erg onderhevig aan variërende factoren in tijd, ruimte en locatie. Dit heeft tot gevolg dat meetdata lastig te interpreteren is.

7. Zandmotor monitoring en de eventuele toepassing van de MDCO in dat kader

De huidige monitoring op de Zandmotor kan in veel opzichten verbeterd worden in de ogen van dhr. M. Riksen. De grasmatjes bleken onderhevig aan de invloed van spaterosie en veroorzaakten problemen het “leggen” (zand ging verloren). Tevens is het doel en het proces wat gemeten wordt met de PVC zandvangers onduidelijk voor dhr. M. Riksen. De PVC zandvangers zijn ontworpen op saltatie maar op de plek waar ze nu staan kan alleen overstuiving worden gemeten. Voor overstuiving zou volgens dhr. M. Riksen de MDCO een betere indicatie geven dan de PVC zandvangers. In de meetdata (van beide methoden) zullen wel overeenkomsten te zien zijn. Dhr. M. Riksen twijfelt daarentegen aan de conclusies die getrokken kunnen worden uit de meetresultaten van de PVC zandvangers. Tevens zou volgens Dhr. M. Riksen de termijn van leggen verlengt kunnen worden aangezien de hoeveelheden (overstuiving) beperkt zijn. Door om de twee weken te meten

kan wel meer inzicht worden verkregen in de invloed van events, maar kostenefficiënt is het zeker niet.

8. Het meten van bepaalde doelen met bepaalde technieken

Ideaal zou het meten met zowel zandvangers als het doen van topografische metingen zijn. Op deze manier zouden eventuele events die goed te meten zijn met zandvangers gerelateerd kunnen worden aan lange termijn effecten. Tevens zou op deze manier meer inzicht verkregen kunnen worden in de relatie tussen de meetresultaten van beide methoden op de lange termijn (rekening houdend met enige onzekerheid in de resultaten van de zandvanger). Ook kan op deze manier een gedetailleerder inzicht worden verkregen in de bijdrage van eolisch zandtransport in de aangroei van duinen.

Het opzetten van modellen aan de hand van metingen door zandvangers is zeer lastig. Het vochtgehalte is immers in grote mate bepalend voor de hoeveelheid optredend transport. Deze parameter vertoont net als andere parameters zowel ruimtelijke als temporele variaties die “niet” te meten zijn. Hierdoor moeten gemiddelde waarden worden aangenomen, wat leidt tot een grote afwijking ten opzichte van de werkelijkheid.

C.2 Interview Dhr. S. de Vries

1. Algemene informatie over het meten van eolisch zandtransport en de rol van (verschillende) meetmethodieken hierin

Het proces eolisch zandtransport is afhankelijk is van veel variabelen die zelf variëren in zowel de tijd als ruimte, waardoor het meten hiervan ook lastig is. Volgens dhr. S. de Vries wordt er van het volume dat gesuppleerd wordt, in de ordegrrootte van ongeveer 10% door wind naar het duin getransporteerd. Het zand dat door de wind getransporteerd wordt, zorgt direct voor de versterking van het duin. Dit maakt het meten van eolisch zandtransport belangrijk. De rol van zandvangers beperkt zicht tot het meten op korte tijdsschaal van “kwantiteit”, het meten van overstuiving en het verbeteren van het inzicht in de werking van eolisch zandtransport. Het meten van lange termijn ontwikkelingen is niet goed mogelijk. Monitoring van soortgelijke projecten als de Zandmotor dient dus op een andere manier te geschieden. De meetresultaten van een zandvanger (op korte termijn) zijn namelijk niet te relateren aan effecten op de lange termijn.

2. Algemene informatie en kenmerken van de PVC zandvanger, “knikkerbakken” en de saltifoon)

Uit de locatie waar de PVC zandvangers zijn opgesteld, is af te leiden dat deze de mate van overstuiving meet (“short term suspension”) en geen inzicht geeft in saltatie of kruip. Saltatie en kruip vinden voornamelijk plaats op het strand. Dit komt wordt veroorzaakt door afzetting die bij de duinvoet wordt geïnitieerd door een toename in threshold, door een toename in hellingshoek. Tevens wordt in het duin de wind gebroken door vegetatie. Dit leidt er toe dat in het duin nauwelijks saltatie kan ontstaan. Aangezien saltatie het grootste deel van de duinaangroei bepaalt, bepaalt de PVC zandvanger geen duinaangroei. De saltifoon meet de saltatie intensiteit aan de hand van een microfoon die het “tikken” van korrels tegen het membraam registreert. Overige algemene verkregen informatie over de saltifoon is gelijk aan de in paragraaf 2.2.5 beschreven theorie.

3. Informatie en meetdata van de saltifoon

De saltifoon is zeer geschikt voor het bepalen van de omstandigheden waaronder eolisch zandtransport plaatsvindt, doordat op zeer kleine tijdschaal de intensiteit van het transport gemeten kan worden. Over de mogelijkheid tot kwantificeren durft dhr. S. de Vries geen uitspraak te doen. Dit komt door het gegeven dat de correlatie tussen intensiteit en het hoeveelheid transport nauwelijks is onderzocht. Dhr. de Vries constateert tevens het probleem dat een hogere gemeten intensiteit niet hoeft te betekenen dat er meer zandtransport heeft plaatsvindt. Een verhoging van de intensiteit hangt immers af van de snelheid van het transport die kan toenemen en/of de hoeveelheid transport. Twee keer zoveel registraties door de saltifoon hoeft dus niet twee keer zoveel zandtransport te betekenen. Als data van de saltifoon of andere zandvangers geanalyseerd moet worden, moet er gerealiseerd worden dat het gaat om een puntopname welke sterk kan variëren in de tijd en ruimte.

4. Evaluatie van het meten met de meetmethodiek

De saltifoon heeft een aantal logistieke nadelen. Ten eerste is bij het meten altijd een (stroom)kabel nodig. Dit maakt het moeilijk om een lang transect of op veel verschillende plaatsen te meten. Een ander logistiek nadeel is dat als men het verband wil onderzoeken tussen de gemeten intensiteit door de saltifoon en een hoeveelheid transport, de output van de saltifoon per seconden is en dat een meetbare hoeveelheid zand pas na een paar uur verzameld is. Door dit verschil in tijdschaal van meten zijn gemeten fluctuaties, in de tijd, door de saltifoon lastig te interpreteren. Een laatste nadeel van de saltifoon is dat deze slechts tot een maximale transportintensiteit instaat is om nauwkeurig te meten. Hierdoor kan gemeten data tijdens een (hevig) event het werkelijk plaatsvindende transport onderschatten (paragraaf 2.2.5).

5. De toepasbaarheid van de meetmethodiek

De saltifoon wordt voornamelijk gebruikt om inzicht te geven in het proces eolisch zandtransport. Een beter inzicht in het proces hoeft helaas niet te betekenen dat modellen direct verbeterd kunnen worden aan de hand hiervan. Opscaling van gemeten data is erg lastig. Voor modellen is het belangrijk dat nauwkeurig bepaald wordt wanneer het transport begint plaats te vinden, het verschil tussen geen transport en een beetje transport is immers oneindig groot. Dit betekent dat de threshold in een model zeer bepalend voor de uitkomst is. Dit maakt het zeker nuttig om met de saltifoon alle variabelen goed in kaart te brengen. Voor echte monitoring is de saltifoon niet geschikt volgens dhr. S. de Vries. Dit komt door het feit dat omzetting van counts naar kubieke meters een lastig verhaal blijft, zelfs al zou je een verticale verdeling meten (door meerdere saltifoons boven elkaar te plaatsen) dan nog kom je er niet dichterbij het kwantificeren van het transport.

6. Optimaliseren van het meten van eolisch zandtransport en de rol van de desbetreffende meetmethodiek daarbij &

8. Het meten van bepaalde doelen met bepaalde technieken

In de ideale situatie zou er gemeten moeten worden met zandvangers, zullen er topografisch metingen moeten worden gedaan en zal gebruik gemaakt moeten worden van modellen. Door dit te doen ontstaat een loop waarin resultaten kunnen worden vergeleken en eventueel aan elkaar gerelateerd kunnen worden. Zo kan worden gekeken naar de invloed van events (gemeten met zandvangers) op een lange termijn verandering. Tevens maakt dit het mogelijk om modellen te verbeteren door vernieuwde inzichten in korte termijn metingen in relatie tot lange termijn effecten.

Voor lange termijn projecten zijn zandvangers minder geschikt. Deze zijn te weten niet in staat om over een lange termijn goed te meten. Dit wordt veroorzaakt door het optreden van veel ruimtelijke en temporele variaties in het proces eolisch zandtransport. Duinaangroei kan volgens dhr. S. de Vries dan ook het beste gemeten worden doormiddel van topografische metingen.

Huidige modellen vertonen te veel afhankelijkheid van de wind, wat is terug te zien in het feit dat deze allen het transport overschatten. Dit wordt veroorzaakt doordat een derde machtsfunctie wordt gebruikt voor de wind in relatie tot transport en supply limiting factors niet direct worden meegenomen maar dat achteraf hier pas voor wordt gecorrigeerd. Daarnaast zijn er veel aannames over dat zandtransport eerst op gang moet komen. Dit bepaalt volgens de meeste onderzoekers het verschil in gradiënt over het strand. Dhr. S. de Vries stelt echter dat het transport wel op gang moet komen maar dan na een tiental aantal keer de saltatie afstand het “transportmaximum” is bereikt. Het transportmaximum vindt pas later plaats. Dit is volgens dhr. S. de Vries te wijten aan het feit dat aan het begin van het strand er slechts een beperkte hoeveelheid zand aanwezig is voor transport, maar dat naarmate verder landwaarts wordt gekeken de beschikbare hoeveelheid zand (voor transport) toeneemt.

7. Zandmotor monitoring en de eventuele toepassing van de saltifoon in dat kader

Over de huidige monitoring (paragraaf 1.3) had dhr. S. de Vries weinig op te merken. Wel gaf hij duidelijk het belang van het uitvoeren van topografische metingen ten behoeve van duinaangroei aan. De saltifoon kan daarnaast volgens dhr. S. de Vries wel degelijk bijdragen in het monitoren van een soortgelijk project als de Zandmotor, maar dan echt alleen door indicatie te geven wanneer transport optreedt. Een transport hoeveelheid valt niet met zekerheid te bepalen door te meten met een saltifoon.

C.3 Interview Dhr. S. Arens

1. Algemene informatie over het meten van eolisch zandtransport en de rol van (verschillende) meetmethodieken hierin

Het meten van eolisch zandtransport is een lastige opgave, in het bijzonder op het strand. Dit komt doordat het proces daar zeer dynamisch in zowel tijd als ruimte is en het meetinstrument altijd interfereert met het proces dat gemeten dient te worden. Ook hebben op het strand veel verschillende factoren invloed op het eolisch zandtransport welke het meten complex maken. Een andere moeilijkheid is dat nooit bekend is hoeveel een zandvanger meet van de totale zandkolom die getransporteerd wordt. Hierdoor is het niet mogelijk om een goede kwantificatie van het werkelijke transport te maken. Zandvangers zijn op het strand instaat om gedurende korte meetperiodes ((delen van)events) het plaatsvindende transport te bepalen, mits de efficiëntie in acht wordt genomen. Dat zandvangers slechts instaat zijn voor korte meetperiodes komt door de constatering dat de opslagcapaciteit beperkt is. In het duin kan wel op de lange termijn, jaren (als de vangers frequent worden gecontroleerd en geleege), worden gemonitord. Door in het duin te meten wordt inzicht gegeven in de mate van overstuiving en daarmee samenhangend de ecologie. De PVC zandvangers geven geen echte kwantificatie van het transport maar zijn ze wel instaat de gradiënt te bepalen over een transect en een grove inschatting te geven van het transport ofwel de depositie. Events bepalen in grote mate de jaarlijkse hoeveelheid zandtransport, wat van events dus erg belangrijk maakt. Het meten van events is juist lastig door de grote hoeveelheid transport die dan plaatsvindt en de grote invloed van verschillende omgevingsfactoren, zoals een verandering in

bodemhoogte, variaties in vochtigheid en windvariaties. Dhr. S. Arens heeft vaak geprobeerd om transportvolumes (uit laseraltimetrie) te correleren aan wind. Hierin is geen verband in te vinden stelt hij, waaruit is af te leiden dat factoren die invloed hebben op het proces eolisch zandtransport een zeer grote rol spelen.

2. Algemene informatie en kenmerken van de PVC zandvanger, “knikkerbakken” en de saltifoon)

Het concept PVC zandvangers is gebaseerd op de leatherman trap. Echter

wilde dhr. S. Arens met dit concept overstuiving ofwel short term suspension meten, over een lijn landwaarts. Om dit te bewerkstelligen diende de Leatherman traps op een hoogte van 1 meter geplaatst te worden. Het idee van dhr. S. Arens om dit transport te meten komt voort uit het verklaren van de relatie tussen de zeereep, (weers)omstandigheden, de mate van overstuiving en daarmee de invloed op de ecologie. Ook kunnen maatregelen (door dynamisch kust/duinbeheer) op deze manier in kaart worden gebracht en tevens de invloed hiervan op de overstuiving. Het idee was voornamelijk om inzicht te krijgen in de invloed van kustdynamiek, de mate van overstuiving en de factoren, zoals een suppletie, die hierbij nog meer een rol spelen op de ecologie in de grijze duinen. Er zou een meetprobleem kunnen zijn doordat het opvangdoek in de PVC zandvanger een maaswijdte van 100 μm heeft. In theorie worden hierdoor kleine deeltjes niet gevangen. Zekerheid heeft dhr. S. hier niet over omdat het concept niet in de windtunnel is getest. De ontwerpreden voor deze specifieke vanger is dat deze geschikt voor de lange duur, relatief goedkoop en niet heel bewerkelijk moest zijn.

De MDCO meet hetzelfde proces (short term suspension) als de PVC zandvanger alleen concentreert deze zich op de daadwerkelijke depositie, terwijl de PVC zandvangers het in lucht bevindende transport meet. Bas Arens ziet toch wat nadelen aan het meten met de MDCO, waardoor voor het meten met de PVC zandvangers gekozen is. Zo kan de MDCO, mits deze niet op hoogte is geplaatst of in een omgeving voldoende vegetatiebedekking, last hebben van ruis veroorzaakt door splash en dierlijke activiteit. Tevens bestaat de MDCO uit een kunstmatig oppervlak met harde elementen. Dit maakt het mogelijk dat uitstuiwing en het “afketsen” van zand kan optreden. Een laatste reden waarom voor de PVC zandvangers gekozen is, is dat deze een stuk goedkoper zijn, 80 euro per stuk tegenover 250 euro per stuk voor een MDCO. Na navraag bij dhr. M. Riksen, blijkt de “nieuwe” MDCO slechts 60 euro per stuk te kosten.

De saltifoon is in staat om de intensiteit van transport te meten met een maximum van 1000 korrels per seconden, wat in hevige stormen voor meetfouten kan zorgen. Volgens dhr. S. Arens is de saltifoon daarnaast niet in staat om gedurende regen te meten doordat de buis van de saltifoon dan verstopt raakt met zand. Hierdoor worden onjuiste waarden van transport gemeten. De saltifoon is vooral handig om correlaties tussen omstandigheden en transport proberen te bepalen. Zo heeft dhr. S. Arens met de saltifoon een correlatie gevonden tussen intensiteit en relatieve vochtigheid. Verder kan met de saltifoon in combinatie met monitoring van de omstandigheden een idee geven van de transportvergelijking die geldt op die plaats. Het probleem blijft dat er veel factoren zijn die onbekend zijn in zowel tijd als ruimte. Tevens is er nog geen duidelijkheid over de transitie van een brongelimiteerde situatie (lineair zoals dhr. S. de Vries beschrijft) naar een wind dominante situatie (derdemachtverhouding) is. Waarschijnlijk is dit te verklaren door het gegeven dat net boven de threshold de bron nog niet limiterend is (wind is limiterend) maar bij hoge windsnelheden de bron

wel limiterend wordt. Dit maakt het dus lastig om met modellen het eolisch zandtransport in te schatten en tevens in algemene zin een uitspraak te doen over de hoeveelheid transport.

3. Informatie en meetdata van de PVC zandvangers

Uit de informatie en data blijkt dat de PVC zandvanger geschikt is om de gradiënt in de overstuiving te meten. De gemeten kwantiteit geeft helaas slechts een relatieve indicatie van het werkelijke transport volgens Dhr. S. Arens. De precieze hoeveelheden zijn wel van belang om te meten, niet vanwege het veroorzaken van hoogte verschillen maar vooral van de impact op de ecologie. Een paar millimeter meer of minder overstuiving kan al leiden tot een verandering in de vegetatiesamenstelling. Geen enkele methodiek is hier helaas toe in staat. Verder is volgens dhr. S. Arens nog niet genoeg gemeten om een echte analyse te doen, met uitzondering van een paar events. Dit is volgens Dhr. S. Arens te wijten aan het feit dat de eerste kustverdedigingszone is versterkt (suppletie) en is ingepland met helm. Hierdoor kan overstuiving slechts beperkt optreden.

4. Evaluatie van het meten met de meetmethodiek

Gedurende de monitoring is één probleem geïndiceerd. Het probleem dat zich voordoet is dat kraaien het opvanggaas in de PVC zandvanger kapot maken. Dit maakt om data gays te voorkomen dat regelmatige controle vereist is. Om dit te voorkomen is daardoor gekozen om elke twee weken de vangers te legen. Een bijkomend voordeel hiervan is dat events, welke het grootste aandeel hebben in het jaarlijkse zandtransport, beter uitgelicht kunnen worden.

5. De toepasbaarheid van de meetmethodiek

De toepasbaarheid van zandvangers op het strand is beperkt tot het meten van events. Binnen events wordt zelfs slechts een relatief beeld verkregen van het transport. Dit wordt veroorzaakt door de grote rol die de factoren zoals genoemd bij punt 1 spelen. De toepasbaarheid van de PVC zandvanger (in het duin) strekt zich tot het meten van een globale transporthoeveelheid en de gradiënt van overstuiving over een langere termijn (jaren). Mits er regelmatige controle van de vanger plaatsvindt. Een nauwkeurig inzicht geven in het werkelijk optredende transport met zandvangers is niet mogelijk volgens dhr. S. Arens.

6. Optimaliseren van het meten van eolisch zandtransport en de rol van de desbetreffende meetmethodiek daarbij,
7. Zandmotor monitoring en de eventuele toepassing van de desbetreffende meetmethodiek in dat kader &
8. Het meten van bepaalde doelen met bepaalde technieken (zandvangers/meetmethodiek of modellen)

Voor het optimaliseren van het meten van eolisch zandtransport zouden idealiter verschillende methoden gebruikt moeten worden die deels met elkaar overlappen zodat een compleet beeld van de situatie kan worden geschetst. Rekening moet gehouden worden dat iedere methodiek zijn eigen nadeel heeft, waardoor de ideale situatie niet bestaat. Tevens is het doel dat gemeten dient te worden bepalend voor de methode die gebruikt moet worden. Voor het inzicht geven in de efficiëntie van een suppletie en de duinaangroei die daardoor plaatsvindt in de zeereep, is laseraltimetrie zeer geschikt. Deze methode is in dit gebied betrouwbaar genoeg om veranderingen in hoogte en volume te detecteren. Hierdoor kan een goed beeld wordt gecreëerd van het werkelijk

optredende transport. Achter de zeereep is de laseraltimetrie niet geheel betrouwbaar en ondervindt deze vooral problemen met het meten van hoogte, waar duindoorns staan. Verder zijn de hoeveelheden transport achter de zeereep niet van die grootte dat deze goed gedetecteerd kunnen worden. Door PVC zandvangers te plaatsen kan hier een redelijk goed beeld worden in verschaft. Vooral de gradiënt in transport is goed terug te vinden. Door PVC zandvangers ook in een meer dynamisch gebied te plaatsen dan nu gebeurt, zodat een overlap ontstaat tussen de hoeveelheden gedetecteerd door laseraltimetrie en die door de PVC zandvangers, kan een beeld worden gecreëerd van de kwantiteit van het transport (werkelijke depositie) in het duin. De PVC zandvangers geven nu een indicatie, maar door deze dus te koppelen aan laseraltimetrie zou een betrouwbaardere uitspraak kunnen worden gedaan over het werkelijke transport. Dit is ook een verbeterpunt voor de Zandmotor monitoring volgens Dhr. S. Arens. Hij zou graag zijn PVC zandvangers iets verder naar voren halen om meer inzicht te krijgen in het transport over de gehele zeereep. Tevens kan volgens Dhr. S. Arens met hoogte/volume metingen van het gehele gebied, ook morfologisch, bepaald worden waar hoeveel zand heen gaat. Met een model is dit lastig te doen doordat er veel factoren zijn die de mate van transport beïnvloeden. Door het feit dat deze factoren variëren in tijd en ruimte is het zeer moeilijk om deze überhaupt te meten laat staan te modelleren. Deze factoren, in het specifiek bodemvocht, spelen een zeer grote rol in de hoeveelheid transport die plaatsvindt. De onzekerheden in deze factoren zijn ook nog eens groot, wat er toe leidt dat een correct model maken zeer lastig/onmogelijk is.

Bijlage D Data, meetgegevens en locaties

D.1 Genormaliseerde data PVC Zandvangers

Genormaliseerde data op basis van de door dhr. S. Arens gemeten data achter de Zandmotor ten behoeve van de monitoring hiervan. Er is genormaliseerd naar de hoogste waarde die gemeten is.

		1A	1B	1D	1E	2A	2B	2D	2E	3A	3B	3D	3E
1-5-2012	15-5-2012	0,006	0,006	0,003	0,000	0,009	0,006	0,015	0,067	0,085	0,006	0,003	0,015
15-5-2012	11-6-2012	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,009	0,006	0,076	0,012	0,000	0,000
11-6-2012	26-6-2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,003	0,009	0,000	0,000	0,000	0,009
26-6-2012	10-7-2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10-7-2012	24-7-2012	0,003	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,003	0,003	0,012	0,000	0,003	0,003
24-7-2012	7-8-2012	0,003	0,000	0,000	0,003	0,035	0,003	0,003	0,003	0,006	0,003	0,003	0,000
7-8-2012	21-8-2012	0,003	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,003
21-8-2012	4-9-2012	0,038	0,015	0,015	0,018	0,000	0,000	0,009	0,041	0,062	0,000	0,009	0,018
4-9-2012	18-9-2012	0,006	0,003	0,003	0,006	0,015	0,012	0,006	0,006	0,015	0,012	0,006	0,006
18-9-2012	2-10-2012	0,000	0,000	0,000	0,006	0,006	0,000	0,000	0,000	0,006	0,003	0,000	0,000
2-10-2012	16-10-2012	0,006	0,009	0,009	0,009	0,012	0,003	0,009	0,009	0,015	0,006	0,006	0,015
16-10-2012	30-10-2012	0,015	0,041	0,044	0,006	0,023	0,006	0,026	0,003	0,015	0,015	0,012	0,015
30-10-2012	13-11-2012	0,003	0,003	0,000	0,006	0,006	0,003	0,012	0,006	0,026	0,032	0,000	0,000
13-11-2012	27-11-2012	0,003	0,006	0,003	0,003	0,003	0,003	0,023	0,003	0,155	0,009	0,006	0,009
27-11-2012	14-12-2012	0,029	0,006	0,003	0,000	0,044	0,003	0,003	0,000	0,396	0,009	0,000	0,000
14-12-2012	27-12-2012	0,000	0,003	0,103	0,000	-0,003	0,006	-0,003	0,003	0,021	0,000	0,000	0,003
27-12-2012	11-1-2013	0,000	0,003	0,003	0,003	0,003	0,006	-0,006	-0,003	0,003	0,006	-0,003	0,000
11-1-2013	8-2-2013	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,003	0,000	0,094	0,000	0,000	0,000
8-2-2013	22-2-2013	-0,003	-0,003	0,000	0,006	-0,003	-0,003	0,006	0,006	0,003	-0,006	-0,006	0,009
22-2-2013	8-3-2013	0,000	0,003	0,003	0,003	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003	0,003	0,003	0,000
8-3-2013	22-3-2013	0,009	0,006	0,000	0,003	0,009	0,006	0,000	0,009	0,018	0,006	0,006	0,003
22-3-2013	5-4-2013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5-4-2013	19-4-2013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,012	0,000	0,041	0,000	0,000	1,000
19-4-2013	3-5-2013	0,015	0,006	0,000	0,000	0,003	0,006	0,003	0,003	0,006	0,000	0,000	0,015
3-5-2013	17-5-2013	0,003	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,006	0,003	0,000	0,067
17-5-2013	31-5-2013	0,000	0,000	0,003	0,003	0,009	0,000	0,003	0,003	0,009	0,003	0,003	0,009
31-5-2013	14-6-2013	0,006	0,009	0,009	0,003	0,003	0,003	0,009	0,006	0,009	0,006	0,003	0,035
14-6-2013	28-6-2013	0,000	0,000	0,003	0,003	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,141
28-6-2013	12-7-2013	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003
12-7-2013	26-7-2013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26-7-2013	9-8-2013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9-8-2013	23-8-2013	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
23-8-2013	6-9-2013	0,003	0,003	0,006	0,009	0,006	0,006	0,006	0,009	0,003	0,006	0,003	0,000
6-9-2013	20-9-2013	0,006	0,006	0,003	0,006	0,120	0,003	0,006	0,003	0,035	0,003	0,009	0,006

Tabel 7: Genormaliseerde (t.o.v. maximale vangst) totale vangst per transect van 01-05-2012 tot 20-09-2013

Transect	Totaal ingevangen (genormaliseerd)
1	0,221
2	0,285
3	1
4	0,553
5	0,262

D.2 Genormaliseerde data MDCO meting Solleveld

Genormaliseerde data op basis van de door dhr. M. Riksen gemeten data bij Solleveld, mijn dank hiervoor. Er is genormaliseerd naar de hoogste waarde die gemeten is.

	Sedimentatie per val (g)	SedID	3002	3003	3004	3005	3006
		x	71713	71621	71759	71812	71918
		y	450370	450444	450322	450295	450187
25-2-2011	installatie in het veld		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19-8-2011	eerste leging		0,067	0,000	0,017	0,043	0,024
13-1-2012	2e leging		1,000	nieuw	0,048	0,050	0,040
4-5-2012	3e leging		0,519	0,108	0,037	0,031	opgeheven
24-8-2012	4e leging		verstoord	verstoord	0,014	0,255	opgeheven
7-5-2013	5e leging		0,000	0,076	0,024	verstoord	0,000
14-10-2013	6e leging		0,134	0,162	0,056	0,096	0,000

D.3 Winddata Hoek van Holland (Witteveen+Bos, 2014)

Alle hieronder gepresenteerde data is afkomstig uit het rapport Tussenevaluatie monitoring Pilot Zandmotor (Witteveen+Bos, 2014).

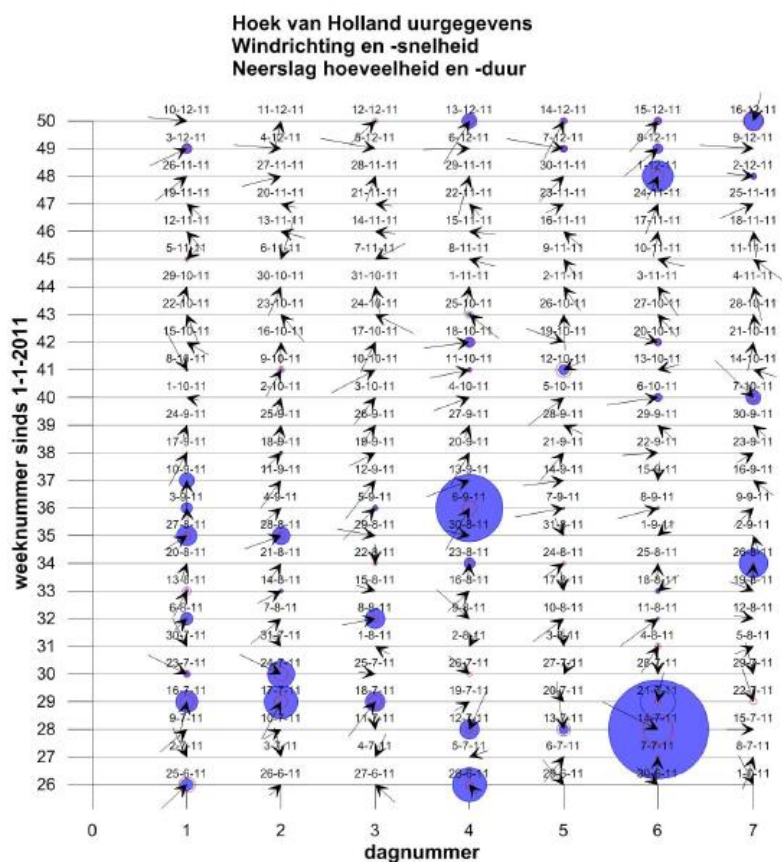
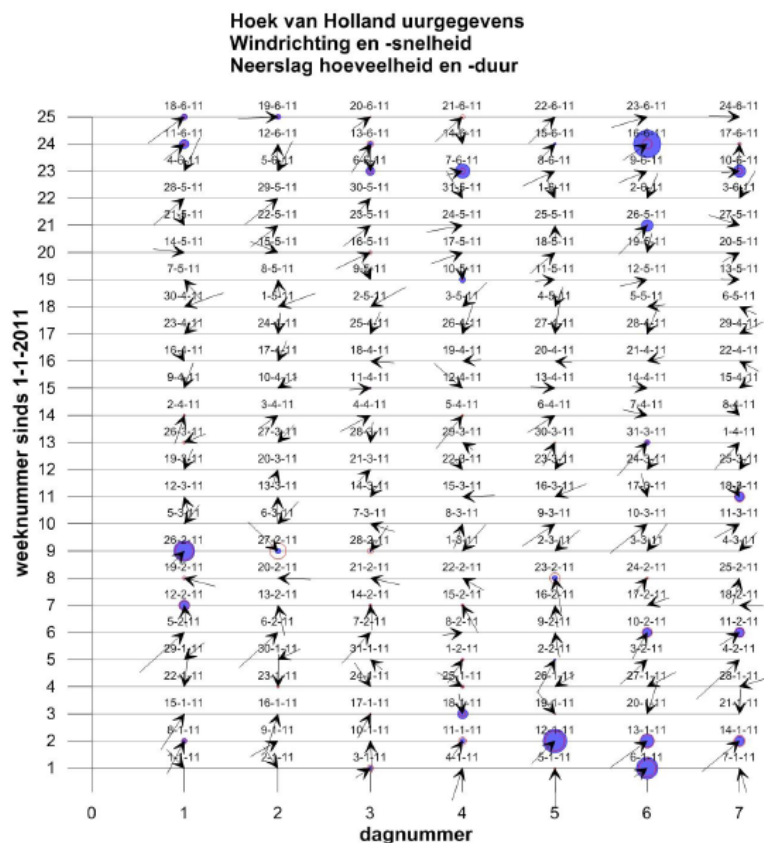
Verklaring:

De pijl wijst in de richting waar de wind naar toe waait.

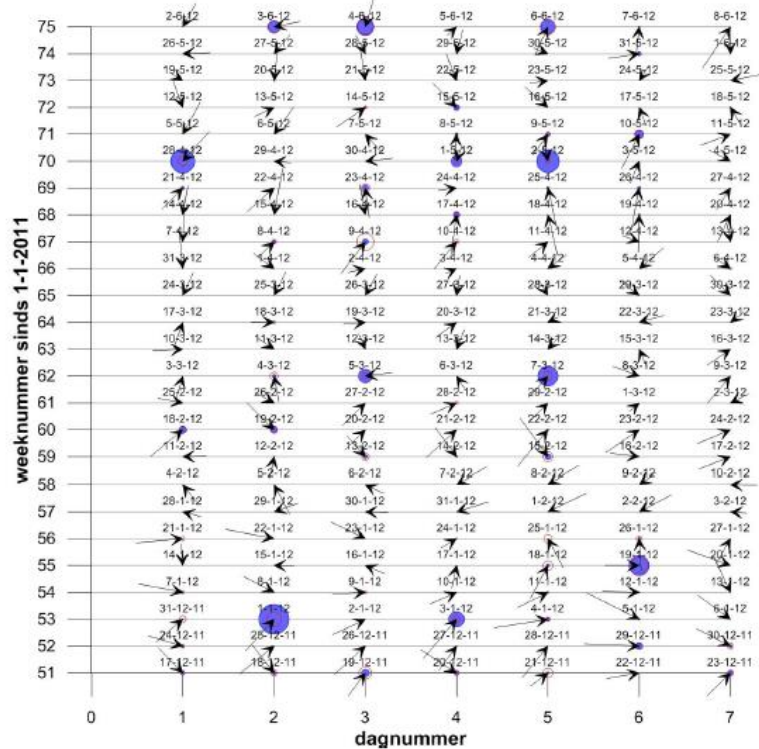
De lengte van de pijl geeft een maat voor de windsnelheid.

De blauwe cirkels geven de neerslaghoeveelheid, hoe groter, hoe meer neerslag.

De rode cirkels geven de neerslagduur, hoe groter, hoe langer.



Hoek van Holland uurgegevens
Windrichting en -snelheid
Neerslag hoeveelheid en -duur



Hoek van Holland uurgegevens
Windrichting en -snelheid
Neerslag hoeveelheid en -duur

